

**Departamento del Valle del Cauca
Junio de 2018**

CVC - Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca - CIAT

**Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del
Cauca PICC**



CIAT

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

www.ciat.cgiar.org

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

www.cgiar.org

CVC

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

www.cvc.gov.co

Gobernación Valle del cauca, Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca

El Departamento del Valle del Cauca a través de la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca actúa como ente articulador entre la nación y el municipio prestando sus servicios de: Gerencia del desarrollo sostenible del sector agropecuario y pesquero, apoyo y asesoría a los municipios en programas productivos del sector rural, asesoría a las organizaciones de productores, fortalecimiento a las diferentes formas asociativas de productores, facilitador de alianzas estratégicas para el desarrollo de encadenamientos productivos, generación – estructuración de un sistema de información, fomentar sistemas de producción limpia, promover programas de seguridad alimentaria y gestión de recursos para el sector; cumpliendo con la coordinación, la complementariedad y la intermediación.

www.valledelcauca.gov.co

CODEPARH

El Consejo Departamental de Política Ambiental y Gestión Integral del Recurso Hídrico (CODEPARH), su principal objetivo es fortalecer la Gobernabilidad Departamental y Municipal en el sector ambiental y de gestión integral de los recursos hídricos, complementando el ejercicio de la Autoridad Ambiental Y Sanitaria en el Valle del Cauca; para facilitar la coordinación institucional y lograr que los planes, programas y proyectos públicos se ejecuten en forma complementaria, eficiente y eficaz.

www.valledelcauca.gov.co

**Etapa de planificación y preparación para la
elaboración del Plan Integral de Cambio Climático
(PICC) para el Valle del Cauca.
Fase de formulación.**



Este es un estudio de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), La Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca de la Gobernación del Valle del Cauca, con el apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

Dilian Francisca Toro Torres

Gobernadora del Valle del Cauca

María Milena Banguero Carabalí

Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca

Rubén Echeverría

Director General, CIAT

Rubén Darío Materón Muñoz

Director, CVC

Moisés Cepeda Restrepo

Subsecretario de Asuntos Agropecuarios y pesca

**Comité Técnico Convenio CIAT-CVC 084 de 2017 Y Contrato No. 0122-18-11-4866 CIAT -
Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca de la Gobernación del Valle del cauca.**

Andrés Carmona Tobar

Profesional Especializado CVC

Supervisor del Convenio

CIAT-CVC 084 de 2017

Carlos Humberto Gordillo Lorza

Profesional Universitario

Secretaría de Ambiente,

Agricultura y Pesca.

Supervisor del Contrato No.

0122-18-11-4866 CIAT

Jeimar Tapasco

**Coordinador del Convenio Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca –CIAT y del Convenio
CVC-CIAT**

Coordinadores Técnicos

Nilton Díaz

Samy Mafla

CVC, Secretaría de Ambiente,
Agricultura y pesca - CIAT

Equipo de investigadores principales

Jeimar Tapasco

Nilton Díaz

Samy Mafla

José Monsalve

Julian Solis

Juliana Lozano

Jesús David Martínez



Agradecimientos

Este documento cuenta con información destacada aportada por diferentes personas e instituciones, a las cuales se le agradece su participación y aportes, a través de las diferentes reuniones y talleres, también se destaca su compromiso, tiempo, interés y motivación en la construcción de este instrumento.

Agradecimientos a las Gobernadora del Valle del Cauca, Dilian Francisca Toro Torres, por el apoyo brindado al fortalecimiento del Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca, por medio de la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca.

Agradecimientos especiales a los diferentes grupos de trabajo de la CVC: grupo de gestión del riesgo y cambio climático, grupo de sistemas de información geográfica y el grupo de biodiversidad; los cuales apoyaron en la consolidación de la información necesaria para las diferentes modelaciones, discusiones metodológicas y resultados. De igual manera se destaca el apoyo en la consolidación de la información a la Unidad Ejecutora de Sanear el Valle del Cauca (UES); así como la colaboración del Consejo Departamental de Política Pública en Ambiente y Gestión del Recurso Hídrico (CODEPARH) por el constante acompañamiento y la facilitación para el intercambio de información con diferentes actores e instituciones departamentales.

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	6
Listado de tablas.....	10
Listado de mapas.....	12
Listado de Figuras.....	16
Introducción.....	18
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.....	20
Avance en el plan integral de cambio climático para el Valle del Cauca.....	21
Descripción Línea Base Climatológica.....	24
Proyección de Cambio Climático.....	25
Análisis de Sensibilidad del Recurso Hídrico frente al cambio climático en el Valle del Cauca.....	27
Introducción.....	28
Zona de Estudio.....	28
Cuenca del río Cauca.....	30
Cuenca del Litoral Pacífico.....	31
Metodología.....	33
Descripción del modelo hidrológico SWAT.....	33
Modelación hidrológica de línea base.....	35
Datos de entrada para el modelo.....	36
Consolidación de la información.....	43
Asignación de la cobertura vegetal y uso del suelo:.....	43
Edición de la información de suelos:.....	43
Estructuración de la Información Hidrometeorológica:.....	43
Análisis de sensibilidad, Calibración y Validación del modelo hidrológico.....	44
Coeficiente de Nash-Sutcliffe.....	45
Coeficiente R ²	45
Coeficiente PBIAS.....	45
Modelación de escenario de Cambio Climático.....	46
Descripción Línea Base.....	49
Proyección de Cambio Climático.....	51
Resultados y discusión.....	52

Análisis de Sensibilidad, Calibración y Validación	52
Producción hídrica por HRU	59
Cuencas del Litoral Pacífico:	64
Cuencas que drenan al río Cauca:	66
Parámetros que intervienen en el aporte de agua al caudal	68
Subzonas hidrográficas del Valle del Cauca.....	71
<i>Análisis de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico frente al Cambio Climático en el Valle del Cauca.....</i>	77
Marco metodológico.....	78
Proceso metodológico	79
Selección de variables:	79
Construcción de bases de datos	80
Análisis estadístico, ACP.	80
Construcción del indicador por pixel	81
Mapeo del indicador	82
<i>Análisis de Sensibilidad del Ecosistema de páramo frente al Cambio Climático en el Valle del Cauca</i>	85
Contexto resumido	86
Metodología.....	91
Concepto	91
Área de estudio	92
Modelación de Distribución Potencial	94
Modelación de Distribución Potencial Orobioma Alto de los Andes – piso Páramo	95
Selección y tratamiento de registros.....	96
Componente de biodiversidad: especies de fauna y flora	96
Elaboración de modelos	99
Resultados.....	100
Modelación distribución geográfica del Orobioma Alto de los Andes – Piso Páramo	100
Escenario Actual	101
Escenario Futuro.....	105
Componente de biodiversidad: especies de fauna y flora	108
Discusión.....	122
Ecosistema de Paramo	122
Cambios de idoneidad climática y factores antrópicos influyentes en los páramos del Valle del Cauca	124
Desplazamiento zonas de páramo	125
Conclusión.....	133

Análisis de Vulnerabilidad del ecosistema de páramo frente al cambio climático en el Valle del Cauca.....	134
Marco metodológico y proceso metodológico	135
Análisis del impacto del Sector Agrícola frente al cambio climático en el Valle del Cauca	137
Contexto	138
Metodología.....	139
Modelación con EcoCrop.....	139
Modelación con MaxEnt.....	141
Resultados	145
Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de plátano	148
Impacto potencial del cambio climático sobre los cítricos.....	151
Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de la piña.....	157
Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de Aguacate	162
Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de pastos.....	166
Análisis del impacto del sector salud frente al cambio climático en el Valle del Cauca	172
Metodología	175
Resultados	176
Medidas de Adaptación al Cambio Climático para el Valle del Cauca	179
Estructuración de medidas de adaptación.	181
Líneas estratégicas	182
Programas	184
Gestión integral del recurso hídrico.	185
Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.	185
Salud pública y planificación territorial.	185
Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.....	185
Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo.....	186
Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo.....	194
Gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico.....	200
Restauración ecológica de ecosistemas de páramo	205
Creación de parcelas de monitoreo en los páramos.	210
Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad.	215
Observatorio regional de cambio climático.	219
Fortalecimiento de estrategias de PSA y otros incentivos.	223
Restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua.	227
Fortalecimiento de los lineamientos para el uso del agua en cuencas altamente vulnerables al cambio climático.	233
Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera.	237
Mejoramiento de la red de medición hidrométrica de cuencas.	242
Fortalecimiento de los nodos regionales (Pacífico Sur y Eje cafetero).....	247

Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico.....	250
Restauración de suelos para uso agrícola.	255
Sistema de alertas agroclimáticas tempranas.	263
Sistemas silvopastoriles de baja intensidad	267
Servicios climáticos para el sector salud	270
Programa:	270
Líneas estratégicas:.....	270
Objetivo:	270
Descripción:.....	270
Acciones Requeridas:	270
Tiempo de implementación:	270
Co-beneficios:.....	271
Posibles fuentes de financiación:.....	271
Entidades responsables:	271
Costo estimado:.....	271
Control y manejo de vectores	273
Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud	276
Restauración y enriquecimiento de bosques riparios en zonas planas	280
Fuente: Elaboración propia.	281
Anexos	283
Bibliografía	307

Listado de tablas

Tabla 1. Listado de Cuencas en el Valle del Cauca	28
Tabla 2. Fuente de la información seleccionada para la modelación en SWAT.	36
Tabla 3. Interpretación predictiva de los parámetros estadísticos para la calibración y la validación	46
Tabla 4. Parámetros obtenidos del análisis de sensibilidad	52
Tabla 5. Resultados de la calibración Cuencas del litoral Pacífico.....	52
Tabla 6. Resultados de la calibración Cuencas que drena al río Cauca.....	52
Tabla 7. Resultados obtenidos de la Calibración y Validación de la estación Bendiciones en la cuenca de Dagua.....	55
Tabla 8. Resultados obtenidos de la Calibración y Validación de las estaciones de las cuencas del río Cauca.	59
Tabla 9. Características generales de las cuencas modeladas.....	59
Tabla 10. Condiciones de producción hídrica de algunos municipios del departamento del Valle del Cauca.	63
Tabla 11. Variables bioclimáticas seleccionadas para relocalizar modelación de distribución de especies	98
Tabla 12. Variables bioclimáticas seleccionadas para relocalizar Modelación de Distribución de los Páramos del Valle del Cauca	99
Tabla 13. Área de modelación ocupada por los páramos del Duende, Farallones de Cali y Hermosas en comparación a lo registrado con el polígono de distribución real.	101
Tabla 14. Cambio de temperatura y precipitación anual mínima y máxima en los páramos del Valle del Cauca, escenario actual y futuro RCP 4.5.	108
Tabla 15. Cambio de cobertura de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas y Chilí Barragán escenario actual y RCP 4.5.	108
Tabla 16. Cambio cota altitudinal de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas y Chilí-Barragán escenario actual y RCP 4.5.....	108
Tabla 17. Especies seleccionadas para el análisis de impacto del cambio climático en especies de alta montaña.	109
Tabla 18. Valores de AUC obtenidos durante el proceso de modelación para todas las especies.	111
Tabla 19. Estimación de las áreas en hectáreas- de idoneidad climatológica presente y futura, en conjunto con los valores de pérdida y ganancia.....	112
Tabla 20. Información de los cultivos priorizados para del Departamento del Valle del Cauca	140

Tabla 21. Conjunto de variables bioclimática usadas en la modelación de nicho ecológico	143
Tabla 22. Variables bioclimáticas seleccionadas para la modelación de la distribución de cultivos.	144
Tabla 23. Medidas de adaptación por programa.....	184
Tabla 24. Áreas y lugares de implementación	189
Tabla 25. Costos estimados de la medida (Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo).....	191
Tabla 26. Áreas y lugares de implementación (Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo).....	197
Tabla 27. Costos estimados de la medida (Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas estratégicos).	197
Tabla 28. Lugares de aplicación de la medida según el grado de vulnerabilidad.	202
Tabla 29. Costos estimados para la medida (gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico).....	203
Tabla 30. Costos estimados de la medida (restauración ecológica de ecosistemas de páramo).....	208
Tabla 31. Costos estimados para la implementación de la medida (Creación de parcelas de monitoreo en los ecosistemas de páramo)	213
Tabla 32. Costos estimados para la implementación de la medida (Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad).....	218
Tabla 33. Costos de implementación de la medida (Observatorio regional de cambio climático)	221
Tabla 34. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de estrategias de PSA y otros incentivos).....	225
Tabla 35. Subzonas hidrográficas para implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua).	230
Tabla 36. Municipios de implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua).....	231
Tabla 37. Costos de implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua).....	231
Tabla 38. Costos estimados para la implementación de la medida (fortalecimiento de los lineamientos para el uso del agua en cuencas altamente vulnerables).....	235
Tabla 39. Subzonas hidrográficas para implementación de la medida (recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)	239

Tabla 40. Municipios para implementación de la medida (recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)	240
Tabla 41. Costos estimados para la implementación de la medida (Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)	240
Tabla 42. Costos estimados para implementación de la medida (mejoramiento de la red hidrométrica de las cuencas)	245
Tabla 43. Costos estimados de la medida (fortalecimiento de los nodos regionales).....	248
Tabla 44. Veredas para implementación de la medida.	252
Tabla 45. Costos estimados de implementación de la medida (Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico).....	253
Tabla 46. Lugares de implementación de la medida (restauración de suelos para uso agrícola).	258
Tabla 47. Costos estimados para la implementación de la medida (restauración de suelos para uso agrícola).....	261
Tabla 48. Costos estimados para le implementación de la medida (Sistema de alertas agroclimáticas tempranas) en la fase 1.....	264
Tabla 49. Costo de implementación de la medida (Sistemas silvopastoriles de baja intensidad).....	268
Tabla 50. Costos de implementación (Servicios climáticos para el sector salud)	271
Tabla 51. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud).....	278
Tabla 52. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud).....	281

Listado de mapas

Mapa 1. Subzonas hidrográficas del Valle del Cauca.	30
Mapa 2. Cuencas modeladas con SWAT y estaciones hidrométricas.....	35
Mapa 3. Suelos en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca.	38
Mapa 4. Modelo digital de elevación.....	39
Mapa 5. Cobertura vegetal de la cuenca del río Cauca y el departamento del Valle del cauca.....	40
Mapa 6. Estaciones Meteorológicas IDEAM.	42
Mapa 7. Indicador de capacidad de adaptación a partir de variables de erosión, áreas protegidas, bosques y demanda hídrica total.....	82

Mapa 8. Vulnerabilidad del recurso hídrico.	83
Mapa 9. Delimitación de páramos según fuente cartográfica facilitada por la Corporación Autónoma del Valle del Cauca. En cada acercamiento se puede observar la unidad de páramo del Duende, Farallones de Cali y Hermosas-Chilí Barragán con el valor del área ocupada por cada uno de estos.....	93
Mapa 10. Áreas de modelación utilizadas representadas por la sombra de color morado que cubre la cordillera. A. Representa las áreas de modelamiento para las especies de rango más restringido. B. Representa las áreas de modelamiento para las especies con distribución más amplia.	97
Mapa 11. Modelo de Distribución Potencial continuo para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Hermosas (C) en el escenario actual. Los puntos blancos son las localidades utilizadas para entrenar el modelo en el escenario climático actual. Las áreas en azul indican idoneidad, mientras las áreas en café representan zonas pocas o nada idóneas.....	102
Mapa 12. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas en el escenario actual.....	103
Mapa 13. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Hermosas (C) en el escenario actual.	104
Mapa 14. Modelo de Distribución Potencial continuo de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Los puntos blancos son las localidades utilizadas para entrenar el modelo en el escenario climático actual. Las áreas en azul indican idoneidad, mientras las áreas en café representan zonas pocas o nada idóneas.....	105
Mapa 15. Modelo de distribución potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Hermosas (C) en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Las áreas verdes representan áreas climatológicamente idóneas en el escenario futuro, mientras que las áreas rojas representan pérdida de áreas que en el presente se catalogaron como idóneas.....	106
Mapa 16. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Hermosas (C) en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Las áreas verdes representan áreas climatológicamente idóneas mientras que las áreas rojas representan pérdida.	107
Mapa 17. Distribución geográfica de los registros biológicos de ocurrencia de las especies evaluadas.	110
Mapa 18. Distribución geográfica de los registros biológicos de ocurrencia de las especies evaluadas en el Valle del Cauca.....	111
Mapa 19. Mapa obtenido para la especie Calamagrostis effusa.	113
Mapa 20. Mapa obtenido para la especie Cyrtochilum ramosissimum.....	114

Mapa 21. Mapa obtenido para la especie Espeletia hartwegiana.....	115
Mapa 22. Mapa obtenido para la especie Centrolene buckleyi.	116
Mapa 23. Mapa obtenido para la especie Pristimantis uranobates.	117
Mapa 24. Mapa obtenido para la especie Eriocnemis derbyi.	118
Mapa 25. Mapa obtenido para la especie Leptosittaca branickii	119
Mapa 26. Mapa obtenido para la especie Cuniculus taczanowskii.....	120
Mapa 27. Mapa obtenido para la especie Tapirus pinchaque.	121
Mapa 28. Mapa obtenido para la especie Thomasomys aureus.	122
Mapa 29. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de frijol.	146
Mapa 30. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de frijol.....	147
Mapa 31. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Plátano.....	149
Mapa 32. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Plátano.	150
Mapa 33. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Limón.	152
Mapa 34. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Limón.....	153
Mapa 35. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Mandarina.	154
Mapa 36. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Mandarina.....	155
Mapa 37. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Naranja	156
Mapa 38. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Naranja.....	157
Mapa 39. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Piña.....	159
Mapa 40. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Piña en zonas con aptitud actual según la UPRA.....	160
Mapa 41. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Piña	161
Mapa 42. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Aguacate.	163
Mapa 43. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Aguacate en zonas con aptitud actual según la UPRA.	164
Mapa 44. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Aguacate.	165
Mapa 45. Cambio en la Idoneidad climática para el Pasto Brachiaria.....	166
Mapa 46. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Brachiaria.	167
Mapa 47. Cambio en la Idoneidad climática para el Pasto Estrella.....	168
Mapa 48. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Estrella.	169
Mapa 49. Cambio en la Idoneidad climática para el Pasto Kikuyo.	170
Mapa 50. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Kikuyo.	171



Mapa 51. Cambio en la distribución potencial de Aedes Aegypti para el escenario de Cambio Climático RCP4.5 para el año 2040.....	177
Mapa 52. Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo.	188
Mapa 53. Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo.	196
Mapa 54. Gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico.	202
Mapa 55. Restauración ecológica de ecosistemas de páramo.	207
Mapa 56. Creación de parcelas de monitoreo en los ecosistemas de páramo.....	212
Mapa 57. Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad.	217
Mapa 58. Restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua.	228
Mapa 59. Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera.....	238
Mapa 60. Mejoramiento de la red hidrométrica de las cuencas.	243
Mapa 61. Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico.	251
Mapa 62. Restauración de suelos para uso agrícola.	257
Mapa 63. Control y manejo de vectores.....	274

Listado de Figuras

Figura 1. Precipitación acumulada para el departamento del Valle del Cauca para los periodos DJF, MAM, JJA y SON para el periodo 1981-2010.	24
Figura 2. Temperatura máxima y mínima diaria anual para el departamento del Valle del Cauca.	25
Figura 3. Perfil general longitudinal del río Cauca.....	31
Figura 4. Diagrama de Flujo metodológico en la modelación SWAT.....	35
Figura 5. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la Estación Bajo Calima. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 6. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en el centro del Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 7. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación Tenerife.	48
Figura 8. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación El Vínculo.	48
Figura 9. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación Cent Admon La Unión.	49
Figura 10. Precipitación acumulada para el departamento del Valle del Cauca para los periodos DJF, MAM, JJA y SON para el periodo 1981-2010.	50
Figura 11. Temperatura máxima y mínima diaria anual para el departamento del Valle del Cauca.....	51
Figura 12. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Bendiciones en la Cuenca de Dagua.....	54
Figura 13. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Bendiciones en la Cuenca de Dagua.....	54
Figura 14. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Anacaró para la Cuenca del río Cauca.	56
Figura 15. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Anacaró para la Cuenca del río Cauca.	56
Figura 16. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación La Balsa para la Cuenca del río Cauca.....	57
Figura 17. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación La Balsa para la Cuenca del río Cauca.....	58
Figura 18. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Paso de la Torre para la Cuenca del río Cauca.	58

Figura 19. Producción hídrica anual por HRU del Departamento del Valle del Cauca para el escenario actual.	60
Figura 20. Producción hídrica anual por HRU del Departamento del Valle del Cauca para el escenario de cambio climático RCP4.5.....	61
Figura 21. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para el Departamento del Valle del Cauca.	62
Figura 22. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para las cuencas del Litoral Pacífico.....	65
Figura 23. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para las cuencas que drenan al río Cauca.	67
Figura 24. Parámetros que interviene en el aporte de agua por HRU anual para las cuencas del Litoral Pacífico.	69
Figura 25. Parámetros que interviene en el aporte de agua por HRU anual para las cuencas que drenan al Río Cauca.....	70
Figura 26. Proceso metodológico para la construcción del indicador de capacidad de adaptación.....	79
Figura 27. Velocidades máximas a las que se pueden desplazar las especies a través de los paisajes en comparación con las velocidades a las que se proyecta que las temperaturas avancen a través de los paisajes. Las columnas blancas con listones negros indican rangos y medianas de velocidades de desplazamiento máximo para los árboles, mamíferos, insectos herbívoros y moluscos de agua dulce. Respecto a los escenarios RCP 2.6, RCP4.5 y RCP8.5 para 2050-2090, las líneas horizontales muestran la velocidad climática para el promedio de las áreas terrestres globales y para las grandes regiones llanas o semillanas. Se prevé que las especies que estén bajo las distintas líneas no serán capaces de seguir el ritmo del calentamiento global.....	87
Figura 28. Metodología de modelación de distribución de especies (SDM) y de los páramos del Valle del Cauca en el presente y futuro escenario RCP 4.5.	95
Figura 29. Vulnerabilidad de los ecosistemas de páramo.	135
Figura 30. Metodología de la modelación de la distribución de especies (SDM) para los cultivos priorizados en el Departamento del Valle del Cauca en el presente y futuro bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5.....	142
Figura 31. Líneas estratégicas y programas del PICC Valle del Cauca.	182

Introducción

La variabilidad y el cambio climático se constituyen en una de las principales amenazas que afectan los ecosistemas, la población y los sectores productivos, lo que podría llegar a comprometer la base ecológica del territorio y la productividad y competitividad del país. Colombia es un país altamente vulnerable frente a los impactos que se derivan de la variabilidad y el cambio climático; ha sido catalogado como el tercer país con mayor población ubicada en zonas de riesgo, tanto climáticas como físicas, como: deslizamientos, terremotos, inundaciones y ciclones¹.

De acuerdo con los escenarios de cambio climático de la Segunda Comunicación Nacional del IDEAM, al año 2040 el Departamento de Valle del Cauca presentaría un incremento superior a 1°C de la temperatura media, y una reducción de la precipitación mayor o igual al 10%². El mayor impacto se reflejaría en el aumento de la intensidad y frecuencia de los fenómenos de variabilidad climática. En los últimos 50 años se han presentado 16 fenómenos de la niña y 19 fenómenos del niño³ que han dejado incuantificables pérdidas económicas en todos los sectores del país. Debido a que estos fenómenos continuarán manifestándose en los próximos años con mayor intensidad, es necesario que el Departamento de Valle del Cauca cuente con un instrumento orientador que permita desarrollar e implementar acciones encaminadas a reducir su vulnerabilidad e incrementar su nivel de resiliencia ante los fenómenos de variabilidad y cambio climático, de tal forma que se reduzcan los daños causados y se potencialicen las oportunidades benéficas.

El Gobierno Colombiano en su INDC propuso una meta de 100% del territorio Nacional cubierto con planes de cambio climático formulados y en implementación. La CVC y la Gobernación del Valle tienen dentro de sus objetivos formular el Plan Integral de Cambio Climático del Departamento de Valle del Cauca. En este sentido se han identificado tres etapas en el proceso de formulación del plan: i) Planificación y preparación, ii) Análisis de Vulnerabilidad, y iii) Formulación del plan de acción. La etapa de planificación y preparación incluye la recopilación de información secundaria, construcción de una línea base, generación de inventarios de GEI, caracterización del clima actual, construcción de escenarios de cambio climático para la región, conformación del comité técnico para gobernanza del Plan, diagnóstico de mitigación y adaptación y estrategia de articulación del Plan con los instrumentos de planificación. La segunda etapa abarca el análisis de sensibilidad, impacto en los principales sistemas y su capacidad de adaptación. La etapa

¹ http://www.preventionweb.net/files/9929_MRIA3.pdf.

² “Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. IDEAM. Bogotá D.C. 2010.

³ Tomado de “Condiciones Hidroclimáticas Actuales y Predicción Climática para los Próximos Meses”. IDEAM. 2014.

tres corresponde a la identificación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático y su plan de financiamiento. Se tiene previsto un componente transversal de socialización, fortalecimiento de capacidades y comunicación. En este informe se incluye la segunda y tercera etapa del proceso de formulación del plan en tres líneas estratégicas claves como lo son el recurso hídrico y los ecosistemas de páramo. De acuerdo con esto, el siguiente documento presenta el desarrollo del análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico y los ecosistemas de páramo frente al cambio climático, igualmente se realizará una evaluación y monitoreo de los cambios de coberturas mediante informes periódicos de alertas tempranas de deforestación.

El Plan Integral de Cambio Climático (PICC) para el Valle del Cauca es una iniciativa por la que ha venido trabajando CVC con el acompañamiento técnico de CIAT desde el año 2016 con el convenio 101, donde se desarrolló la etapa de planificación y preparación, en la cual se compiló información de diferentes sectores (recurso hídrico, ecosistemas, coberturas, suelos, sector agropecuario, salud, infraestructura y vivienda, entre otros). Posteriormente se realizó la etapa de caracterización climática y la proyección de escenarios de cambio climático para el departamento del Valle del Cauca. En el año 2017 mediante el convenio 084 (CVC - CIAT) se llevó a cabo la evaluación de impactos así como el estudio de vulnerabilidad para el recurso hídrico, el ecosistema de páramo y sus servicios ecosistémicos frente al cambio climático, además de la identificación de medidas de adaptación al cambio climático para el departamento. Este primer acercamiento contó con el apoyo de actores estratégicos como el CODEPARH, IDEAM, DAGMA, Universidad del Valle, Gobernación del Valle del Cauca, Parques Nacionales Naturales, entre otros. Posteriormente a finales del año 2017 la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle del Cauca suma esfuerzos para la estructuración del PICC, por medio del contrato No 0122-18-114866 con el CIAT denominado “Fortalecimiento a la adaptación y mitigación al cambio climático en el departamento del Valle del Cauca”, dicho estudio se centró principalmente en el análisis del impacto del cambio climático sobre el sector agrícola y salud, además de la formulación de medidas de adaptación.

Objetivo general

Realizar un análisis de vulnerabilidad al cambio climático para los sectores priorizados por CVC (recurso hídrico y ecosistema de páramo), un análisis de impacto del cambio climático para los sectores priorizados por la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca y CODEPARH (Agricultura y Salud) así como la estructuración de medidas de adaptación.

Objetivos específicos

- Realizar el análisis del impacto del sector agrícola frente al cambio climático en el Valle del Cauca, mediante la evaluación de siete cultivos priorizados.
- Realizar el análisis del impacto en la salud frente al cambio climático en el Valle del Cauca, mediante la evaluación del comportamiento actual y futuro del vector *Aedes Aegypti*.
- Identificar medidas de adaptación para el sector salud, en relación con los cambios en la distribución del vector *Aedes Aegypti*.
- Realizar el análisis de vulnerabilidad del Recurso Hídrico y del ecosistema de páramo frente al cambio climático en el Valle del Cauca
- Identificar medidas de adaptación para el recurso hídrico, ecosistemas de páramo, agricultura y salud.
- Realizar la estructuración del plan de financiamiento de medidas de adaptación enfocadas en el recurso hídrico, ecosistemas de páramo, agricultura y salud.

Avance en el plan integral de cambio climático para el Valle del Cauca.

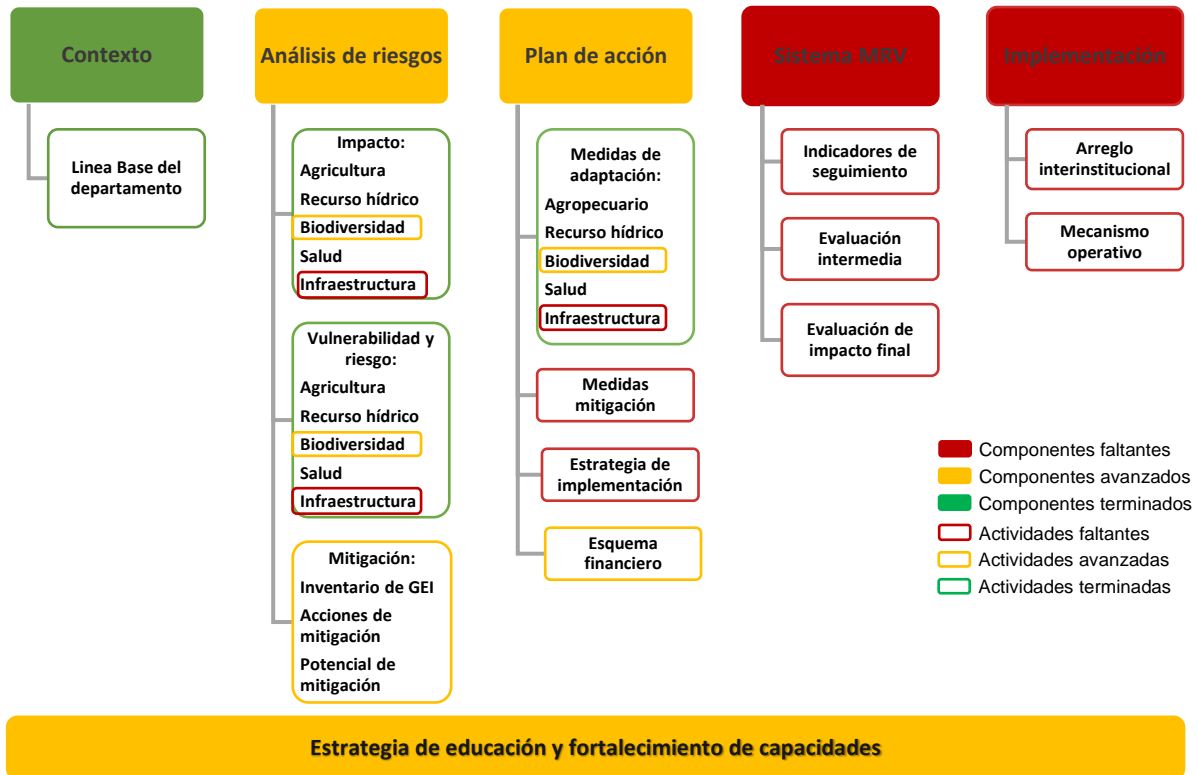


Figura 1. Esquema de avance en la estructuración del PICC para el Valle del Cauca.

El trabajo que ha venido realizando CVC, la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca de la Gobernación, el CODEPARH y el CIAT mediante apoyo técnico, ha sido un avance significativo en la estructuración del PICC para el Valle del Cauca, toda vez que se han desarrollado varios de los programas más complejos en cuanto a análisis. Inicialmente mediante el convenio No 101 del 2016 entre CIAT - CVC se realizó la recolección de línea base, identificación de actores y generación de la base climática con la que posteriormente se proyectó el escenario de cambio climático para el RCP 4.5, posteriormente mediante el convenio 084 de 2017 entre las mismas entidades se abordó el análisis de los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático, al igual que medidas de adaptación y financiamiento para el recurso hídrico y el ecosistema de páramo. Finalmente a través del convenio CIAT – Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca por medio del contrato No. 0122-18-11-4866, se desarrolló el análisis del sector agrícola mediante el estudio de los impactos del cambio climático en diez cultivos modelados (frijol, plátano, naranja, limón, mandarina, piña, aguacate, y tres variedades de pastos), también se analizó el cambio en la distribución potencial del vector *Aedes aegypti* con escenarios de cambio climático, al igual que se diseñaron medidas de adaptación que atienden las necesidades de los programas analizados.

En la Figura 1 se muestra un resumen de la estructuración del PICC a manera de esquema y se evidencia la estructura completa del plan, destacando programas y actividades completados, avanzados y terminados, en relación con los convenios antes mencionados. Es importante conocer el estado actual del PICC, entendiendo que ya se ha adelantado un arduo trabajo, pero existen componentes faltantes que son importantes para que el análisis sobre el cambio climático y las acciones a implementar a nivel departamental atiendan las necesidades de los sectores más importantes y se pueda garantizar una correcta articulación entre sectores en pro de la adaptación y la mitigación al cambio climático.

Componentes de PICC para el Valle del Cauca:

Contexto

Este componente fue un trabajo resultado del convenio 101 de 2016 entre CIAT – CVC, por lo cual actualmente se cuenta con una línea base climatológica completa y con el escenario de cambio climático proyectado para el año 2040 y con el RCP 4.5.

Análisis de riesgos

Dicho componente está subdividido en actividades por programas, los primeros análisis corresponden al impacto y a la vulnerabilidad y riesgo al cambio climático, el cual ha sido analizado desde el punto de vista agrícola, recursos hídricos, salud y biodiversidad en el ecosistema de páramo, por lo cual es relevante realizar futuros análisis que abarquen otros ecosistemas estratégicos, por su parte el programa de infraestructura aún no ha sido incluido en el análisis a pesar de ser relevante para la estructuración del PICC. En cuanto a mitigación, el CIAT, CVC y el Dagma por medio del convenio No. 110 de 2015 y No. 033 de 2014 han adelantado estudios sobre inventarios de GEI en los municipios de Buga, Palmira, Dagua, La Cumbre, Restreo y Santiago de Cali, al igual que se ha estudiado la implementación de acciones de mitigación en los municipios de Alcalá, Buenaventura, Cartago, Jamundí y Santiago de Cali. Según lo anterior, es necesario llevar el tema de mitigación a nivel departamental y es crucial trabajar en la creación de acciones que contribuyan a la mitigación y que sean aplicables a nivel de departamento.

Plan de acción

En cuanto a este componente, se ha trabajado sobre la elaboración de medidas de adaptación al cambio climático de los programas a los cuales ya se les ha realizado un análisis de riesgos, por lo que aún queda pendiente la generación de medidas de adaptación para ecosistemas estratégicos diferentes a los de páramo y a infraestructura.

Las medidas de mitigación por su parte no han sido desarrolladas hasta el momento, pero se ha avanzado en algunos temas que pueden aportar en gran manera a la estructuración de estas, igualmente es necesario realizar un IGEI para todo el departamento y establecer unas metas de mitigación que puedan ser monitoreadas en el tiempo luego de la implementación de las medidas.

La estrategia de implementación es un proceso que podrá llevarse a cabo una vez se tengan planteadas todas las acciones de adaptación y mitigación del plan, por lo cual ya cuenta con un terreno ganado en este aspecto. Por su parte el esquema financiero ha sido adelantado para las medidas de adaptación que se han planteado desde los programas prioritarios y será modificado una vez se incluyan nuevas medidas de mitigación y se incluyan análisis de otros programas.

Sistema MRV

El componente de medición, reporte y verificación incluye actividades como: indicadores de seguimiento, evaluación intermedia y evaluación de impacto final, estas acciones deben quedar plasmadas en un documento que servirá de apoyo para el monitoreo de la implementación del plan.

Implementación

Para la etapa de implementación es necesario dejar estipulado los roles y compromisos de los actores más relevantes del plan, de manera que se deleguen responsabilidades interinstitucionales que garanticen la implementación, la vigilancia y control en el desarrollo de las medidas de adaptación y mitigación. Adicional se debe diseñar un mecanismo de operación, que articule todas las acciones y proporcione información sobre la forma en la que se irá implementando el plan.

Estrategia de educación y fortalecimiento de capacidades

Este es un componente transversal al plan, el cual se ha ido trabajando desde el planteamiento de las actividades propuestas en las medidas de adaptación, sin embargo se requiere crear toda una estrategia que propenda por la difusión de información relacionada con el plan, además del fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático.

Descripción Línea Base Climatológica

En la Figura 2 se muestra la precipitación acumulada por trimestre siendo **DJF**: Diciembre – Enero – Febrero, **MAM**: Marzo – Abril – Mayo, **JJA**: Junio – Julio – Agosto, **SON**: Septiembre – Octubre – Noviembre, se destaca una variabilidad espacial en la precipitación entre el pacífico vallecaucano y el valle del río Cauca, puesto que hacia el pacífico la precipitación acumulada mensual puede llegar a superar los 9000 mm al año, mientras que en el valle del río Cauca estos valores oscilan entre 800 y 3000 mm al año.

La distribución de la precipitación a lo largo del año presenta una alta estacionalidad. Para el pacífico vallecaucano se presenta un máximo de precipitación durante el periodo SON, mientras que en el valle geográfico se presentan dos máximos en MAM y SON.

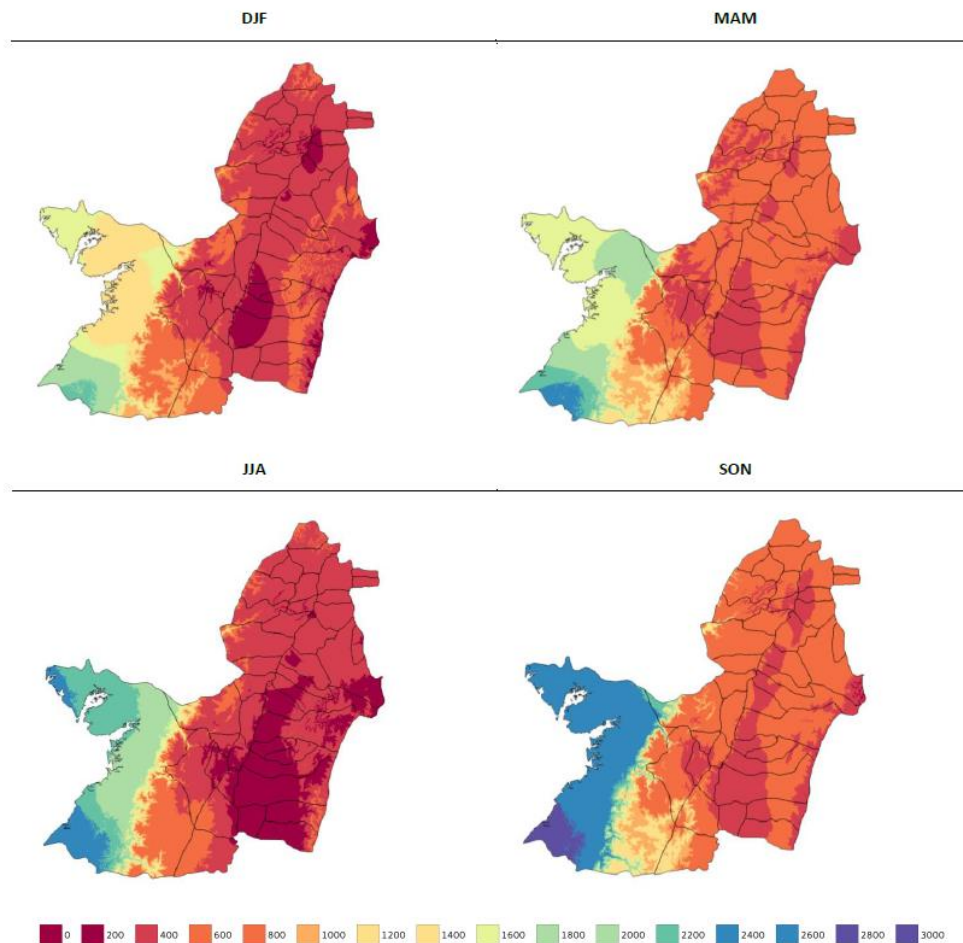


Figura 2. Precipitación acumulada para el departamento del Valle del Cauca para los periodos DJF, MAM, JJA y SON para el periodo 1981-2010.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el mapa de temperatura media anual, donde es posible apreciar un claro gradiente con la altitud en la zona de la Cordillera Central y la Cordillera Occidental, a la vez se observan temperaturas homogéneas en las zonas planas del de la llanura del pacífico. Las temperaturas más suaves se presentan en la zona pacífica donde oscila entre 24 y 32 grados a lo largo del año, mientras que en la zona del valle del río Cauca en rango de oscilación es mayor entre 18 y 30 grados.

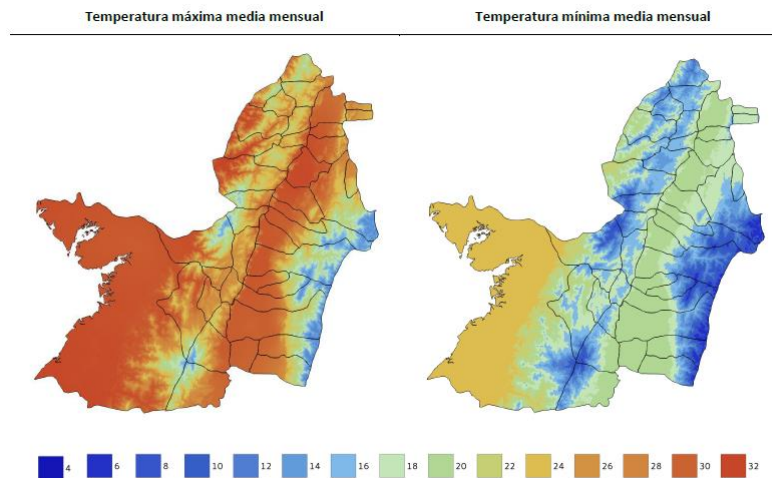


Figura 3. Temperatura máxima y mínima diaria anual para el departamento del Valle del Cauca.
Fuente: *Elaboración propia.*

Proyección de Cambio Climático

En las figuras del apartado de anexos se muestra el resultado de las proyecciones climáticas que fueron halladas con anterioridad mediante el uso de 14 modelos globales climáticos (GCM) empleados por IDEAM para desarrollar la tercera comunicación de cambio climático (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería, 2015). En estos se puede apreciar la distribución espacial de las anomalías de precipitación acumulada mensual, temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual para el Valle del Cauca.

En cuanto a la precipitación acumulada (Anexo 1) se observan cambios porcentuales que oscilan entre -3 y 15%, en su mayoría positivos, a excepción de los meses de octubre y noviembre, que son precisamente los meses en los que la precipitación es mayor. Los gradientes de anomalía presentan una tendencia al aumento en dirección suroeste para todos los meses del año.

La anomalía de temperatura máxima diaria (Anexo 2) presenta una oscilación entre 1 y 1.5 °C a lo largo del año, las zonas que presentan una anomalía mayor se encuentran en el



noreste, aunque los valores se suavizan al acercarse a la zona costera. La anomalía de temperatura mínima diaria (Anexo 3) oscila entre 1 y 1.4 °C, levemente inferior a la temperatura máxima diaria. Según los datos proyectados, se espera mayor frecuencia en fenómenos de temperatura extrema y un rango más amplio de temperaturas.

Mediante el análisis del comportamiento del balance hidrológico ante el escenario de cambio climático evaluado, fue posible identificar los principales impactos asociados al recurso hídrico en lo que respecta a aguas superficiales. El impacto sobre el rendimiento hídrico de las cuencas en la zona de interés.



Análisis de Sensibilidad del Recurso Hídrico frente al cambio climático en el Valle del Cauca

Introducción

Los efectos que pueda acarrear el Cambio Climático comprenden cambios importantes en el régimen hidrológico reflejado tanto en excesos de humedad como en sequías extremas, dichos efectos alterarán de manera directa la demanda y la disponibilidad del recurso hídrico. De acuerdo a lo anterior, se destaca la importancia de conocer el comportamiento histórico del clima, al igual que las proyecciones que se contemplan para el año 2040 en el departamento del Valle del Cauca, de igual manera sus implicaciones en los procesos hidrológicos y las alteraciones que el cambio climático pueda generar.

Este será un elemento clave para la planificación territorial en el corto, mediano y largo plazo, de igual manera para que los tomadores de decisiones identifiquen áreas prioritarias de intervención, a través del conocimiento del potencial grado de afectación de las cuencas y la predicción de las tendencias de los caudales.

El uso de modelos hidrológicos ha sido más frecuente durante los últimos años, ayudando a entender el comportamiento de los diferentes factores que inciden en el ciclo del agua y apoyando la gestión de actividades que intervienen en una cuenca hidrográfica. Para este análisis se empleó el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Neitsch, 2011) para cuantificar las variables del balance hídrico del flujo del agua en el suelo (producción de agua, agua en el suelo y recarga de acuífero profundo) y agua en la vegetación (Evapotranspiración potencial y actual) para un periodo diario de 35 años (1981-2015).

Zona de Estudio

El Valle del Cauca cuenta con 47 cuencas hidrográficas a lo largo de todo el territorio, de las cuales 12 son de primer orden y cuyo cauce drena directamente al Océano Pacífico, están ubicadas en el litoral pacífico que es el área comprendida entre las orillas del Océano Pacífico y la Cordillera Occidental en los Farallones de Cali, las 35 cuencas restantes son de tercer orden y drenan directamente en el cauce del Río Cauca (CVC, 2007).

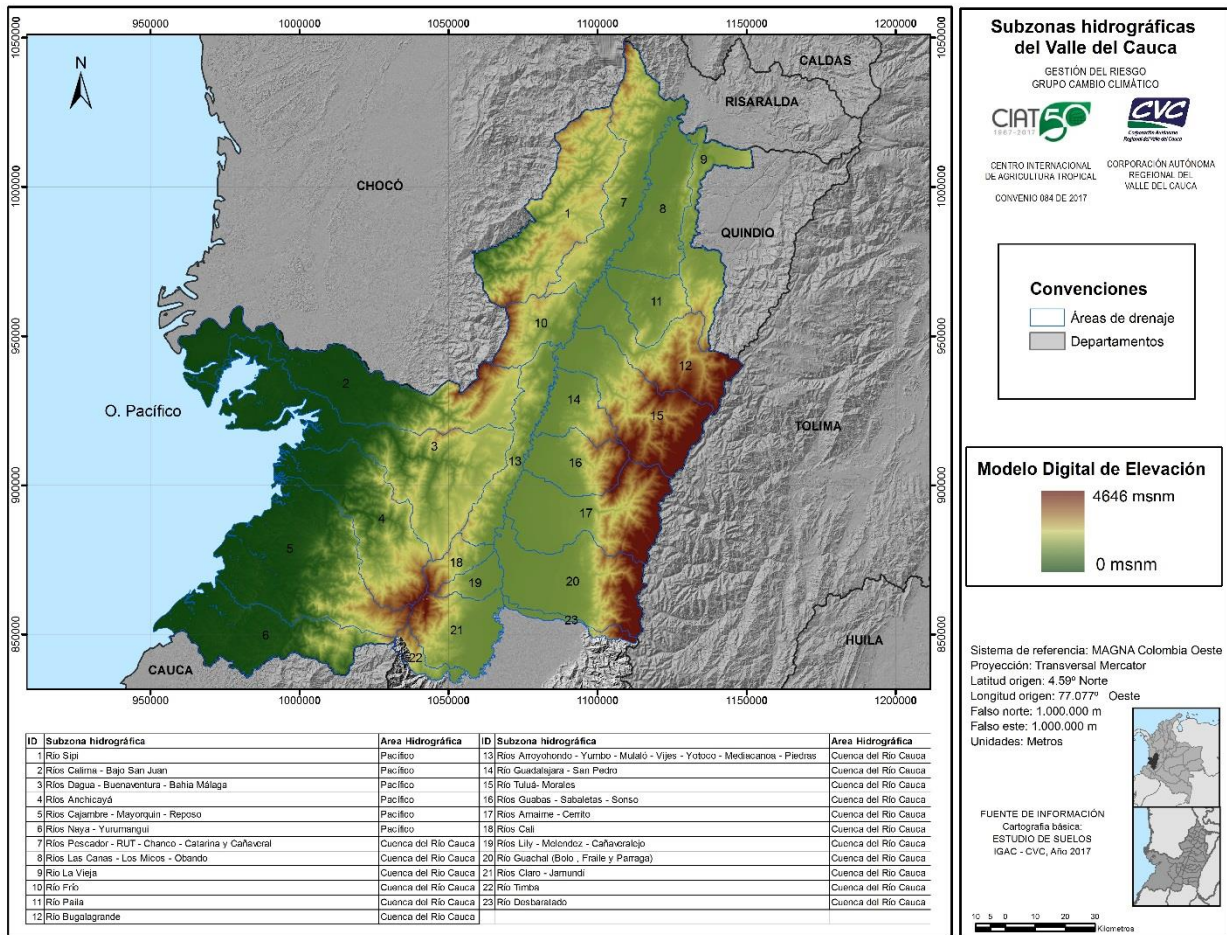
Tabla 1. Listado de Cuencas en el Valle del Cauca

Litoral Pacífico		Río Cauca			
		Margen Derecha		Margen izquierda	
Cuenca	Área (ha)	Cuenca	Área (ha)	Cuenca	Área (ha)
Naya	79.775,04	Desbaratado	10.636,15	Timba	15.366,75
Yurumanguí	64.979,68	Bolo-Fraile	116.140,85	Claro	32.223,18
Cajambre	134.204,27	Amaime	104.225,84	Jamundí	34.403,86
Raposo	45.031,98	Cerrito	12.612,18	Meléndez	18.998,35
Anchicayá	131.199,43	Sabaletas	17.616,77	Cali	21.497,16
Dagua	142.200,52	Guabas	23.748,34	Arroyohondo	6.475,67

Litoral Pacífico		Río Cauca			
		Margen Derecha		Margen izquierda	
Cuenca	Área (ha)	Cuenca	Área (ha)	Cuenca	Área (ha)
Mayorquín	14.004,16	Sonso	13.734,36	Yumbo	6.673,43
Calima	137.402,4	Guadalajara	30.979,31	Mulalo	4.737,65
Bahía Málaga	45.889,65	San Pedro	11.640,77	Vijes	8.609,09
Bajo San Juan	34.564,19	Tuluá	91.363,47	Yotoco	10.458,36
Bahía Buenaventura	30.257,67	Morales	20.385,41	Mediacanoa	13.795,18
Garrapatas	137.342,29	Bugalagrande	91.001,02	Piedras	11.605,15
		La Paila	43.998,37	Río frío	47.746,13
		Las Canas	20.156,19	Pescador	1.9833,3
		Los Micos	27.939,87	RUT	43.345,38
		Obando	28.014,57	Chancos	16.356,77
		La Vieja	62.044,78	Catarina	17.715,99
				Cañaveral	14.625,37

Fuente: (CVC, 2007)

De acuerdo con la zonificación de unidades hidrográficas de IDEAM, las subzonas hidrográficas del Valle del Cauca (Mapa 1) hacen parte de dos áreas hidrográficas diferentes, la primera es el área hidrográfica del pacífico que comprende seis subzonas hidrográficas: Sipi, Calima – Bajo San Juan, Dagua – Buenaventura – Bahía Málaga, Anchicayá, Cajambre – Mayorquín – Reposo, Naya – Yurumangui. La segunda es el área hidrográfica del Magdalena-Cauca, dentro de la cual se encuentran integradas 18 subzonas hidrográficas: Pescador – RUT – Chanco – Catarina – Cañaveral, Las Canas – Los Micos – Obando, La Vieja, Río Frío, Río Paila, Río Bugalagrande, Arroyohondo – Yumbo – Mulaló – Vijes – Yotoco – Mediacanoa – Piedras, Guadalajara – San Pedro, Tuluá – Morales, Guabas – Sabaletas – Sonso, Amaime – Cerrito, Cali, Lili – Meléndez – Cañaveralejo, Guachal (Bolo, Fraile y Parraga), Claro – Jamundí, Timba, Desbaratado (IDEAM, 2013).



Mapa 1. Subzonas hidrográficas del Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM.

Cuenca del río Cauca

La cuenca del río Cauca es una de las más importantes del país, su área de drenaje es de aproximadamente 633.00 km², lo que representa casi un 5% del total del territorio nacional y su cauce principal tiene una longitud total de 1.350 km. El río Cauca nace al sur del país en el departamento de Cauca cerca al páramo de Sotará y desemboca en el brazo de Loba en el río Magdalena en el departamento de Bolívar, al norte del país. Sobre la cuenca del río Cauca reposa la industria azucarera colombiana, zonas de desarrollo minero y agropecuario de Antioquia y el bajo Cauca, un sector importante de la industria manufacturera del país y gran parte de la zona cafetera (CVC, 2000). Durante el recorrido del río Cauca a lo largo del país se identifican cuatro zonas: Alto Cauca, Valle Alto, cañón del Cauca o Cauca Medio y Bajo Cauca.

El Alto Cauca comprende desde su nacimiento en el Macizo Colombiano hasta el sitio llamado La Balsa, este tienen una longitud aproximada de 153 km y una cambio de nivel

de 4.000 m.s.n.m. a 1000 m.s.n.m., en el tramo se encuentra el embalse la Salvajina. El Valle Alto recorre un trayecto aproximado de 425 km entre el municipio de Timba en el departamento del Cauca y La Virginia en el departamento de Risaralda, durante de este trayecto confluyen cerca de 39 tributarios que generan un incremento de hasta tres veces el caudal medio del río. El Cauca Medio recorre un trayecto de 390 Km a través de un cañón estrecho y profundo, desde La Virginia Risaralda hasta Tarazá Antioquia, que se ubica a una altura de 90 m.s.n.m., significando un descenso de 800 m en relación con La Virginia. El Bajo Cauca inicia luego de 960 km después del nacimiento del río, hace un recorrido de 245 km en una zona plana y finalmente desemboca en el río Magdalena (ver **Figura 4**) (CVC, 2007).

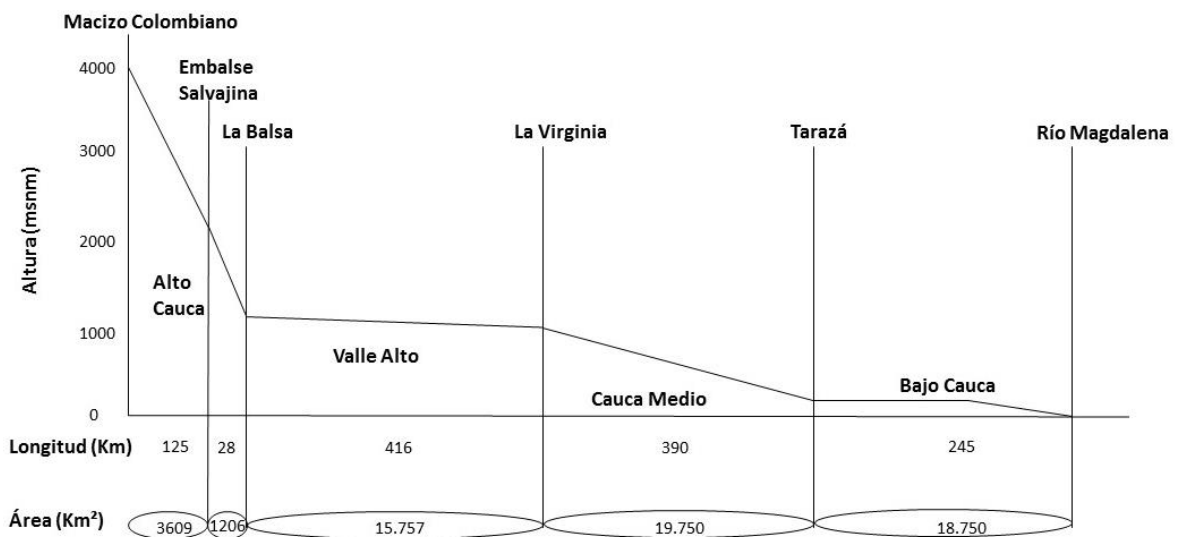


Figura 4. Perfil general longitudinal del río Cauca

Fuente: (CVC, 2007).

Cuencas del Litoral Pacífico

Calima: El río Calima nace en el Alto Las Nieves (páramo del Duende) sector del Cerro Calima en la Cordillera Occidental y riega la mayor parte de la zona norte del municipio de Buenaventura, cuenta con un área de drenaje de 137.402 ha, su ubicación es al noroeste del departamento del Valle del Cauca en jurisdicción de los municipios de Calima-Darién, Buenaventura, Restrepo y Yotoco, al norte limita con el departamento del Chocó, al sur con la cuenca del río Dagua, al oriente con las cuencas de los ríos Yotoco, Mediacanoa y Piedras y al occidente con las cuencas Bahía Buenaventura, Bahía Málaga y bajo San Juan (CVC, 2012).

Las aguas del río Calima son represadas en el embalse con el mismo nombre para la generación de energía, después continúa su recorrido hasta desembocas en el río San Juan.

Dagua: El río Dagua nace a una altura aproximada de 2000 m.s.n.m. en el corregimiento de San Bernardo, jurisdicción del municipio de Dagua y finalmente entrega sus aguas directamente en el Océano Pacífico, cuenta con un área aproximada de 142.200 ha. La cuenca del río Dagua se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental, en jurisdicción de los municipios de Restrepo, La Cumbre, Dagua, Buenaventura, Yotoco y Vijes. Limita al norte con la cuenca del río Calima, al sur con la cuenca del río Anchicayá y la cuenca del río Cali, al occidente con el Océano Pacífico y al oriente con las cuencas de los ríos Yotoco, Vijes, Arroyohondo y La Quebrada (CVC, 2012).

Anchicayá: La cuenca del río Anchicayá cuenta con un área de drenaje aproximada de 131.200 ha, el río Anchicayá nace a una altura aproximada de 2.230 m.s.n.m., está ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción de los municipios de Buenaventura y Dagua, la elevación o cota de cierre está a 875 m.s.n.m. Al occidente limita con el Océano pacífico, al suroccidente limita con la cuenca del río Raposo, al sur con la cuenca del río Cajambre y cuenca del río Claro, al suroriente con la cuenca del río Cali y al nororiente con la cuenca del río Dagua (CVC, 2009).

Cajambre: La cuenca del río Cajambre cuenta con un área de drenaje total hasta la desembocadura de 134.204 ha, se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción del municipio de Buenaventura. Limita al occidente con el Océano pacífico, al sur con las cuencas de los ríos Yurumanguí, Naya y Timba, al oriente con las cuencas del río Claro, Anchicayá y Raposo y al Norte limita con la cuenca del río Mayorquín (CVC, 2009).

Mayorquín: La cuenca el río Mayorquín cuenta con un área de drenaje de 14.000 ha, se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción del municipio de Buenaventura. Limita al occidente con el Océano Pacífico, al sur con la cuenca del río Cajambre y al nororiente con la cuenca del río Raposo (CVC, 2009).

Raposo: La cuenca del río Raposo cuenta con un área de drenaje de 45.000 ha, se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción del municipio de Buenaventura. Limita al occidente con el Océano Pacífico, al suroccidente con la cuenca del río Mayorquín, al sur con la cuenca del río Cajambre y al oriente con la cuenca del río Anchicayá, al igual que al norte (CVC, 2009).

Naya: La cuenca del río Naya tiene un área de drenaje aproximada de 79.775 ha, se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción del municipio de Buenaventura. Limita al occidente con el Océano

Pacífico, al sur con el departamento del Cauca, al oriente con la cuenca del río Timba y al norte con las cuencas de los ríos Yurumanguí y Cajambre (CVC, 2009).

Yurumanguí: La cuenca del río Yurumanguí cuenta con un área de drenaje aproximada de 64.980 ha, se encuentra ubicada en el pacífico vallecaucano en la vertiente de la Cordillera Occidental en área de jurisdicción del municipio de Buenaventura. Limita al noroccidente con el Océano Pacífico, al suroriente con la cuenca del río Naya y al nororiente con la cuenca del río Cajambre (CVC, 2009).

Metodología

Descripción del modelo hidrológico SWAT

La modelación hidrológica se realizó con SWAT (Soil and Water Assessment Tool), esta herramienta permite proyectar los impactos que el cambio climático puede tener sobre el recurso hídrico para el RCP 4.5 proyectado el año 2040 en el departamento del Valle del Cauca.

El modelo SWAT fue desarrollado por el USDA-ARS (Agricultural Research Service de Estados Unidos) y es ampliamente utilizado para simular diferentes procesos hidrológicos considerando cierto nivel de heterogeneidad espacial y temporal. Con base en este modelo es posible evaluar la oferta y la demanda hídrica tanto en la actualidad como en el futuro, permitiendo generar políticas de conservación y manejo de cuencas hidrográficas. El modelo se utiliza principalmente para la simulación del componente biofísico de las cuencas, a partir de la interacción entre aspectos relacionados con la topografía, suelos, cobertura e información hidrometeorológica. Adicionalmente, SWAT es un modelo continuo en el tiempo, es decir que funciona a largo plazo y no es idóneo utilizarlo para modelar eventos de flujo detallado; está integrado por diferentes componentes, entre ellos la escorrentía superficial (método SCS- Curver Number); erosión (método MUSLE), prácticas agrícolas y manejo del suelo, evapotranspiración, entre otros. Es un modelo semi-distribuido, divididos en Unidades de Respuesta Hidrológica (URH's), por tanto es útil para modelar cuencas con amplia variación de suelos, uso de suelo y condiciones de manejo. El balance hídrico es simulado para intervalos diarios durante un periodo continuo de tiempo, basado en la ecuación general de balance hídrico.

Ecuación 1. Ecuación general de balance hídrico.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde SW_t es el contenido final de agua en el suelo (mm H₂O); SW_0 es el contenido de agua inicial en el día i (mm H₂O); t es el tiempo (día); R_{day} es la cantidad de precipitación

en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$); E_a es la evapotranspiración en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$); Q_{surf} es la escorrentía superficial o exceso de lluvia en el día i ; W_{seep} es el agua acumulada en la zona no saturada del perfil del suelo en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$); Q_{gw} es la cantidad de flujo de retorno en el día i ($\text{mm H}_2\text{O}$) (Arnold, 1998).

SWAT requiere una amplia información de entrada, entre la que se destaca el clima (radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento), propiedades del suelo (textura, grupo hidrológico, profundidad, densidad aparente, etc.), cartografía reciente (DEM, uso y cobertura del suelo, etc.), vegetación y prácticas de manejo, tal y como se observa en la Figura 5, que presenta el diagrama de flujo metodológico para la modelación hidrológica en SWAT (Neitsch, 2011).

Al igual que cualquier modelo, las simulaciones implican incertidumbres generadas principalmente por errores que se puedan presentar en las variables de entrada, por limitaciones propias del modelo para representar procesos físicos en determinadas condiciones ambientales, o por la incertidumbre que pueda generar el cálculo de los parámetros por parte del modelo, es importante tener presente que la mayor incertidumbre puede generarse luego del ajuste automático de los parámetros para la calibración del modelo (Tucci, 2005).

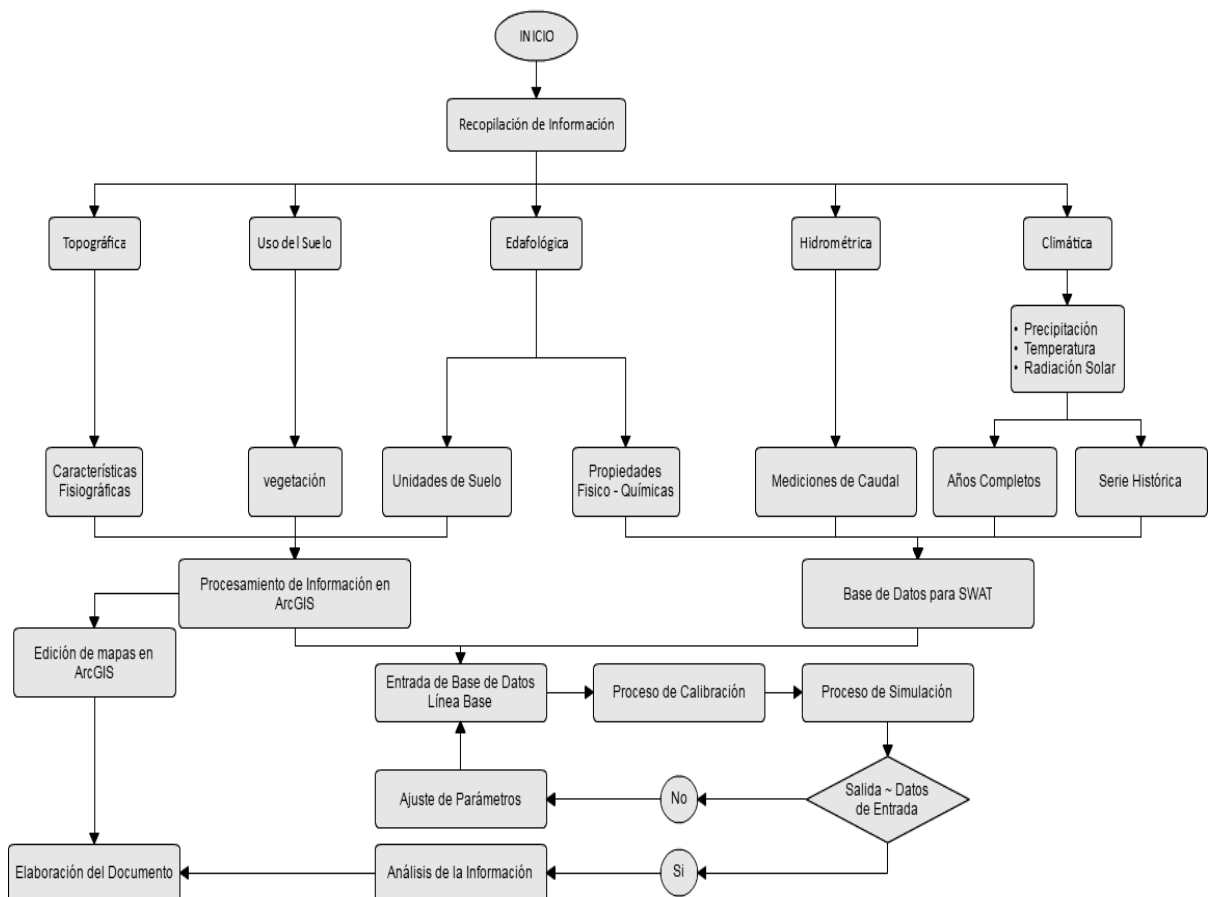


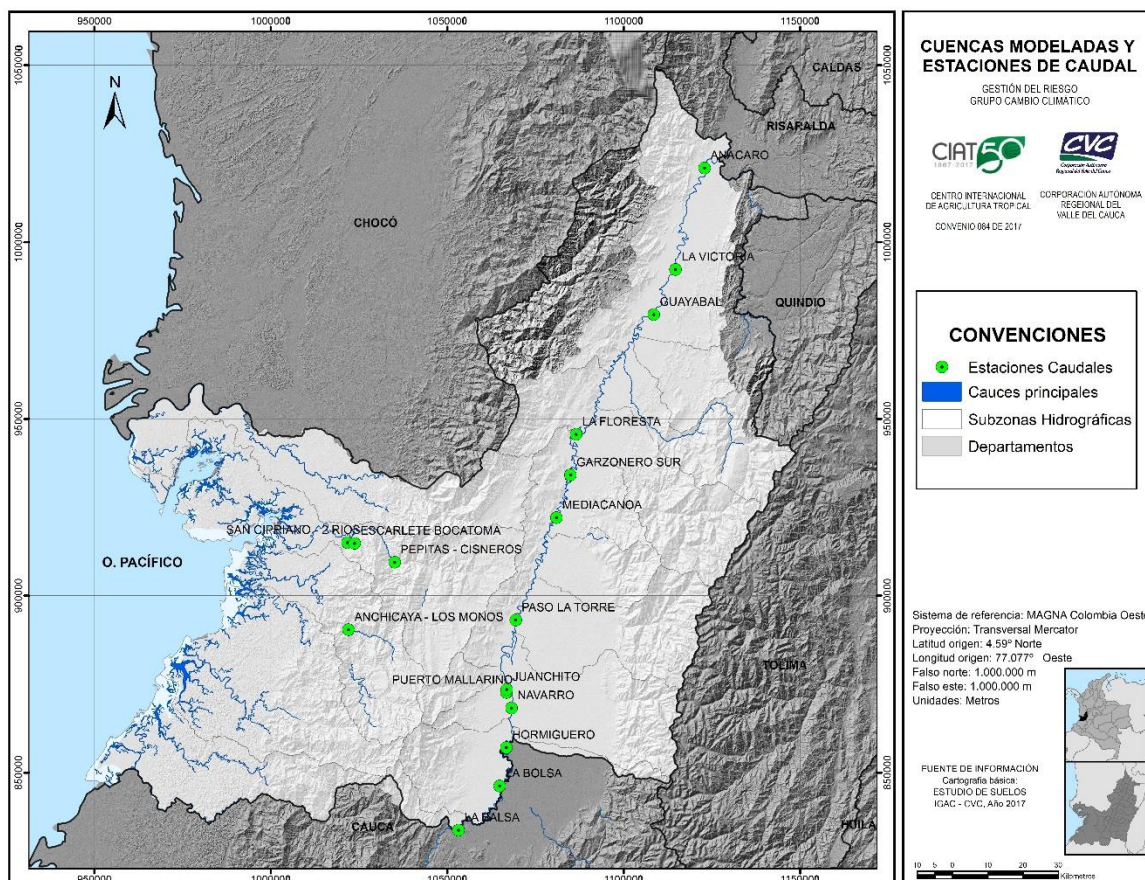
Figura 5. Diagrama de Flujo metodológico en la modelación SWAT.

Fuente: Neitsh (2011)

Modelación hidrológica de línea base

La modelación hidrológica sobre el departamento del Valle del Cauca, incluye las cuencas que drenan directamente al Océano Pacífico, al igual que las cuencas que drenan directamente al río Cauca, desde la salida del embalse La Salvajina hasta donde el río Cauca entrega sus aguas en el departamento de Risaralda, en el municipio de La Virginia (Mapa 2).

En el siguiente mapa se muestran las cuencas modeladas y las estaciones hidrométricas que serán evaluadas en cuanto a continuidad y calidad de datos para la calibración del modelo.



Mapa 2. Cuencas modeladas con SWAT y estaciones hidrométricas.

Fuente: Elaboración propia.

Datos de entrada para el modelo

Dado que un modelo hidrológico es una representación aproximada de la realidad, es importante que los datos de entrada sean cuidadosamente revisados de manera tal que el modelo pueda recrear satisfactoriamente las dinámicas actuales de las cuencas modeladas, en la Tabla 2 se presentan la información que fue recolectada y procesada para las modelaciones con SWAT.

Tabla 2. Fuente de la información seleccionada para la modelación en SWAT.

Nombre	Formato	Descripción
DEM (Modelo Digital de Elevación)	GRID	SRTM 1 ASTER resolución 30m
Mapa de cobertura y Uso del Suelo	Shape (.shp)	Corine Land Cover adaptado por CVC (uso del suelo), 1:25.000.
Mapa de suelos	Shape (.shp)	<ul style="list-style-type: none"> Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, Escalas 1:25.000 y 1:50.000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento del Cauca, Escala 1:100.000.
Cartografía base	Shape (.shp)	Áreas de drenaje, bancos de arena, centros poblados, clasificación climática, drenaje doble, drenaje sencillo, drenaje total, humedales, municipios, páramos, veredas y corregimientos.
Información hidroclimatológica	Texto (.Txt)	Registro diario de Estaciones Hidrometeorológicas (Precipitación, Temperatura máxima y mínima y aforos de caudal), suministrada por IDEAM.

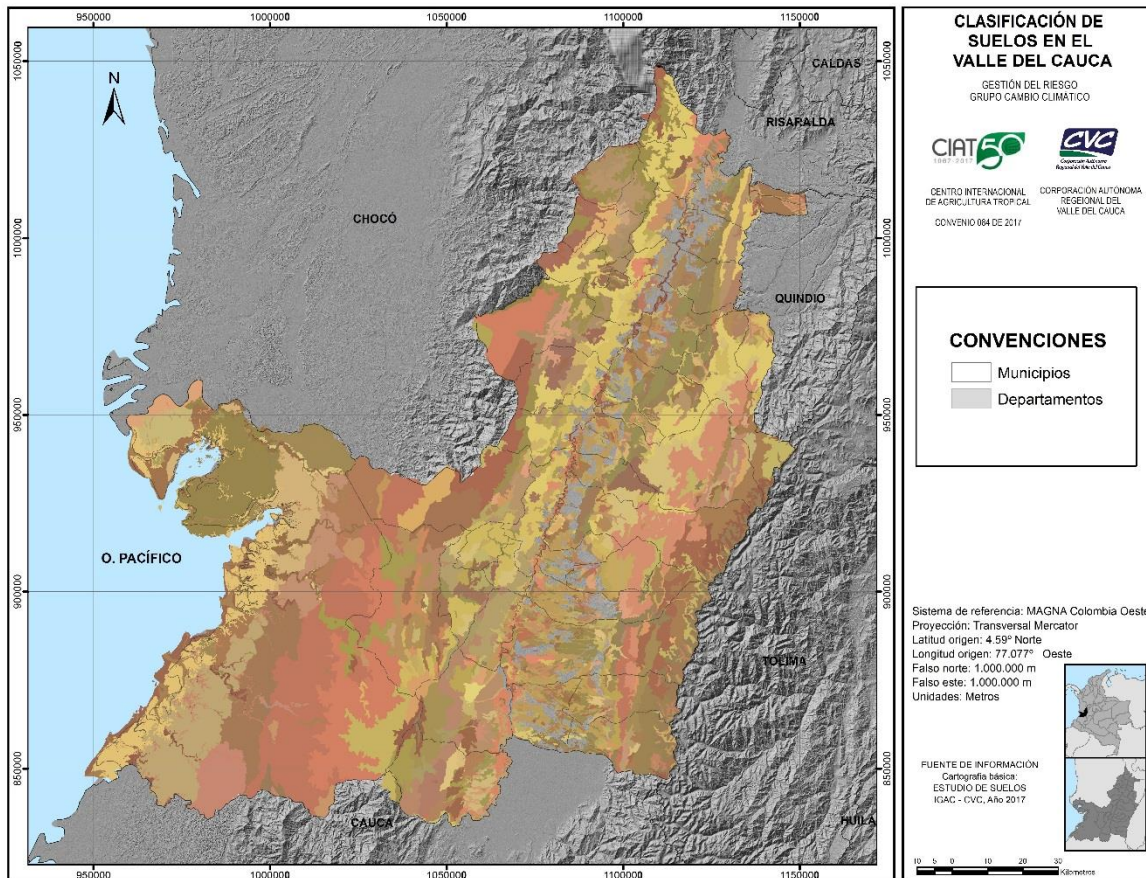
Fuente: *Elaboración propia.*

La información descrita en la tabla anterior se recopiló gracias a la colaboración de diferentes entidades tales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Esta información fue analizada y depurada de acuerdo a las necesidades del modelo, a continuación se muestra a detalle la información recopilada y procesada:

Información de suelos: El modelo hidrológico SWAT requiere de información georreferenciada de los suelos de la zona de estudio, para este fin se utilizaron mapas en formato shape (.shp), al igual que las memorias técnicas asociadas a los estudios de suelos. En el Mapa 3 se representan los suelos de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca, el primero con una escala de levantamiento de 1:25.000 en zona plana y 1:50.000 en zona de ladera, desarrollado por la CVC y el IGAC en el año 2004; el estudio de suelos del departamento del Cauca tiene una escala de levantamiento de 1:100.000 y fue



desarrollado por el IGAC en el año 2009. En total se procesaron 566 diferentes clases de suelos para los dos departamentos, en el caso del departamento del Cauca solo se ingresaron los suelos de las cuencas que drenan al cauce del río Cauca después de su paso por el embalse la salvajina.



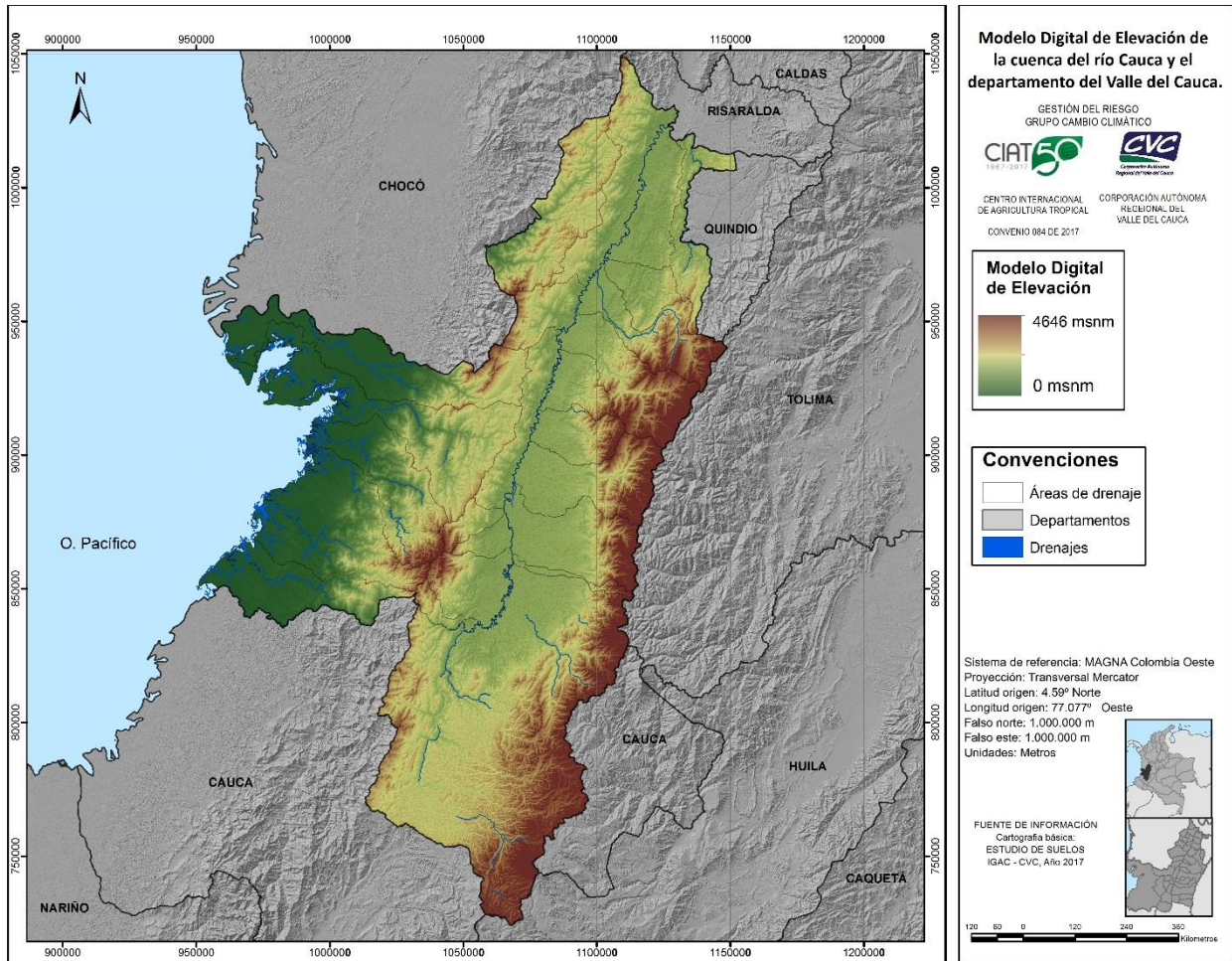
CLASIFICACIÓN DE SUELOS

(GL-PM)ar	JNar	LUDf1	MGAf1	MKCG	MQAe1	MQBg2	MQGf1	MRF3	PMa
(RJ-PO)ar	LUAe	LUEai	MGAg	MLAf1	MQAe2	MQCd1	MQKf2	MRIf2	RUAai
AMa	LUAe1	LUFg1	MKAe1	MLBf2	MQAf1	MQCe1	MQLf3	MRNf2	RUBai
CA	LUAf	LUGf	MKAf	MLCf1	MQAf2	MQCf1	MRAf2	MUAF1	RUCai
CFa	LUAf1	LWAe2	MKAf1	MLCf2	MQAg2	MQCf2	MRCf2	MUAg1	RUDc1
CKa	LUBf	LWAf2	MKBf1	MLDf2	MQBf1	MQDe2	MRDf3	MUBf	VUAai
GLar	LUDe1	LWBf3	MKBg1	MNa	MQBf2	MQDf1	MRDg3	MVAf	ZAd2
GUa	LUDf	MEAg	MKCF2	MPAf	MQBg1	MQDf2	MREe2	PLa	ZAE2

Mapa 3. Suelos en los departamentos del Valle del Cauca y Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

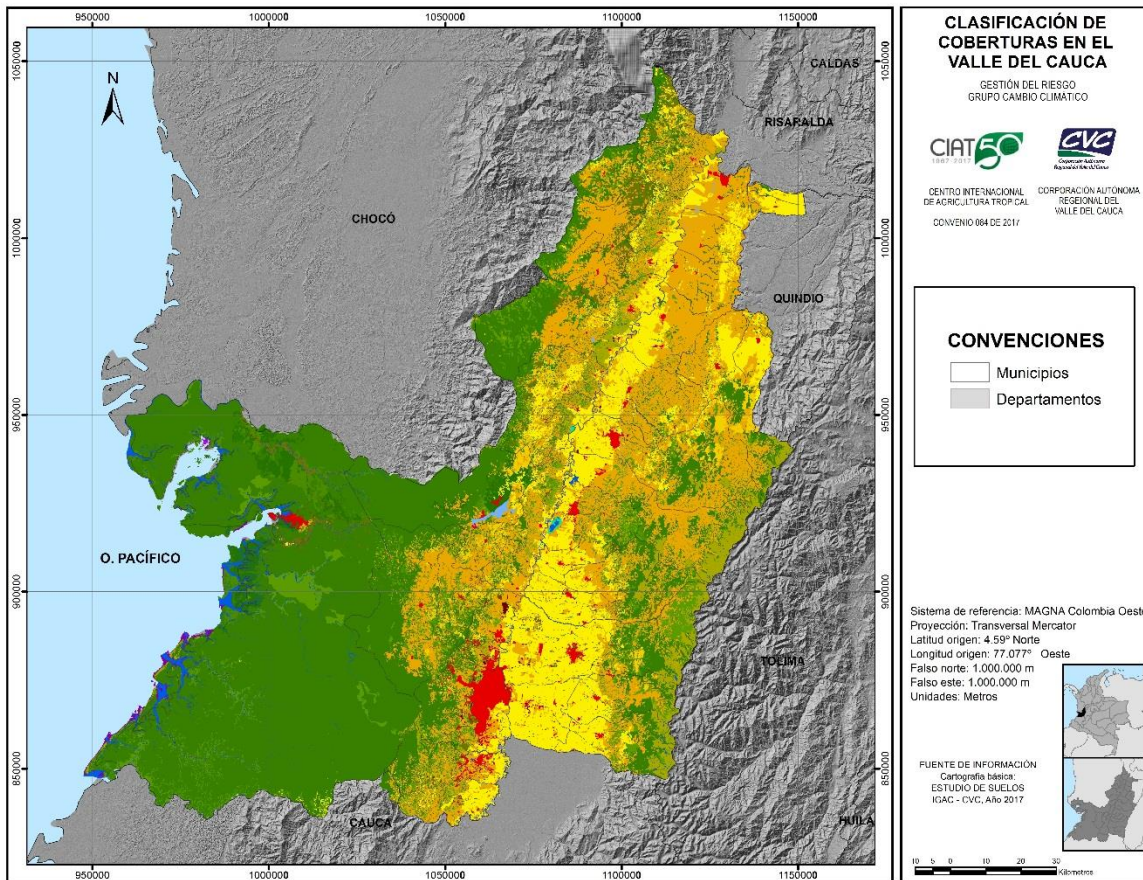
Modelo digital de elevación: El modelo digital de elevación es usado por el modelo hidrológico para el cálculo de la red hídrica de las cuencas, con este fin se contó con el (DEM) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución espacial de 30m, que hace parte de la base de datos de CIAT (Mapa 4).



Mapa 4. Modelo digital de elevación.

Fuente: Elaboración propia.

Cobertura y uso del suelo: La información georreferenciada que se usó para representar la cobertura en el modelo hidrológico se generó a partir de los mapas de cobertura Corine Land Cover para el año 2010 en formato shape (.shp) ajustados por CVC para el Valle del Cauca, la cobertura para el departamento del Cauca en el área de drenaje del río Cauca contigua al embalse la Salvajina se generó a partir de los shapes generados por IDEAM e IGAC con la metodología de Corine Land Cover para el año 2010 para toda Colombia.



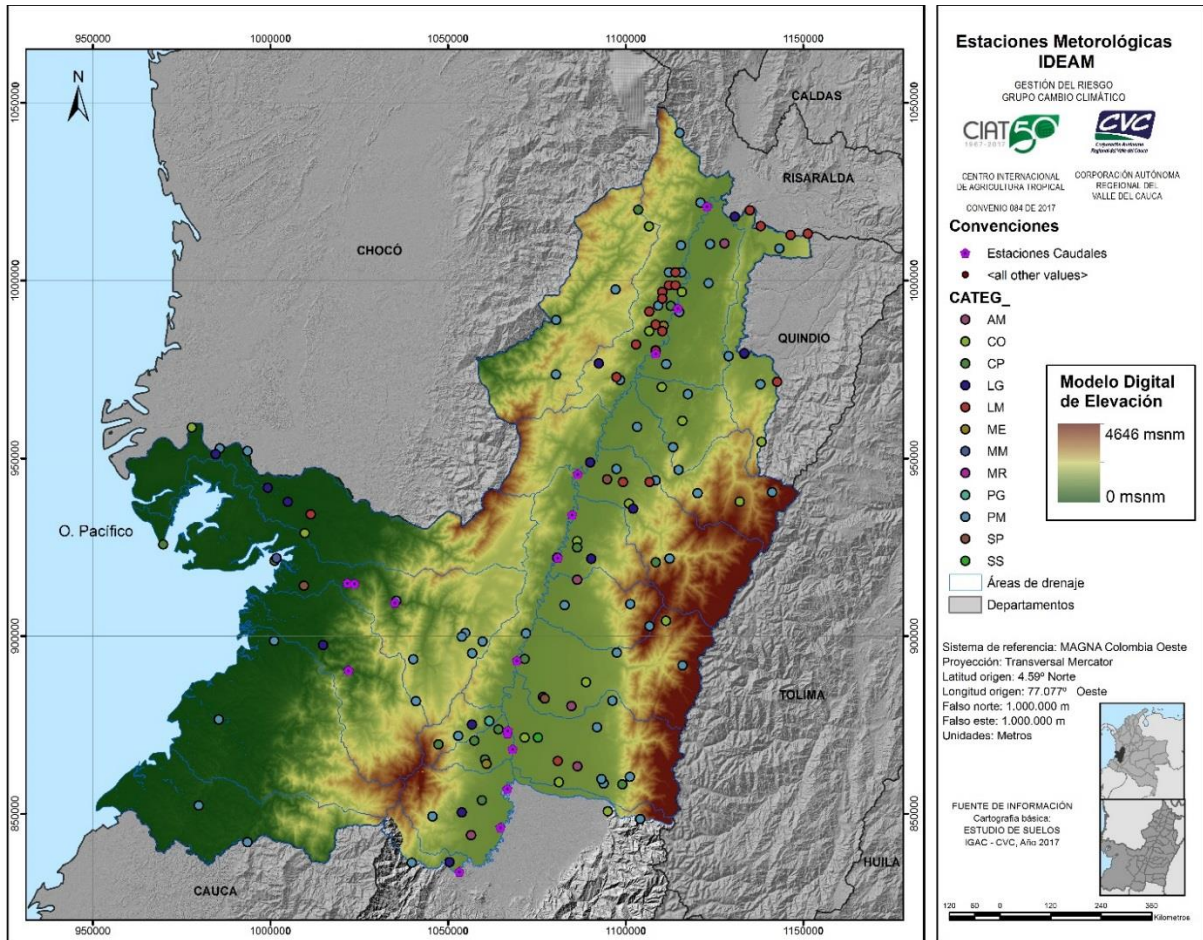
CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS					
	Aguas continentales artificiales		Cultivos arbóreos plantados densos		Superficies inundables continentales
	Aguas continentales naturales		Cultivos confinados		Superficies sedimentarias continentales
	Arbustal y matorral abierto		Cultivos herbáceos plantados abiertos		Superficies sedimentarias marítimas
	Arbustal y matorral denso		Cultivos herbáceos plantados densos		Vegetación secundaria o transición
	Bosque natural abierto		Cultivos o pastos inundados		Zonas urbanas continuas
	Bosque natural denso		Herbazal natural abierto		Zonas urbanas discontinuas
	Bosque natural fragmentado		Herbazal natural denso		Áreas de cultivo con suelo desnudo
	Cultivos arbustivos plantados abiertos		Misceláneos de superficies plantadas		Áreas naturales con poca vegetación
	Cultivos arbustivos plantados densos		Otras superficies artificiales con construcción		Áreas naturales sin vegetación
	Cultivos arbóreos plantados abiertos		Otras superficies artificiales sin construcción		

Mapa 5. Cobertura vegetal de la cuenca del río Cauca y el departamento del Valle del cauca.
Fuente: Elaboración propia con información de IGAC & CVC.

Información hidrometeorológica: Para la generación de la línea base climatológica que requiere el modelo hidrológico, se utilizaron estaciones meteorológicas de IDEAM, CVC y Cenicaña (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia) distribuidas sobre el departamento del Valle del Cauca según se observa en el Mapa 6.

En el caso de IDEAM y CVC se obtuvieron datos de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa media diaria, mientras que Cenicaña sólo proporcionó información de precipitación mensual. La base de datos contiene para la variable de precipitación 63 estaciones del IDEAM, 99 estaciones de CVC y 27 estaciones procedentes de Cenicaña, en cuanto a la temperatura máxima y mínima diaria se dispusieron de 11 estaciones del IDEAM y 6 estaciones de CVC, respecto a humedad relativa se obtuvieron 76 estaciones del IDEAM y 5 estaciones de CVC.

En lo referente a caudales, se obtuvieron sólo las estaciones que monitorean el cauce del río Cauca en su paso por el departamento del Valle del Cauca, lo que corresponde a 17 estaciones hidrométricas; y en cuanto a los drenes que entregan sus aguas al pacífico, se contó con información de tres estaciones hidrométricas en la cuenca del río Dagua y una en la cuenca del río Anchicayá. A partir de esta información se hizo un análisis estadístico para determinar porcentaje de datos faltantes, datos atípicos, período en común y completar datos faltantes; al finalizar este proceso se seleccionaron 122 estaciones de precipitación puesto que contaban con un amplio registro histórico (1981-2015), menor porcentaje de datos faltantes y menor presencia de datos atípicos; en cuanto a la variable climática de temperatura luego de hacer un filtro similar al anterior, se determinó que sólo 14 estaciones eran idóneas para representar la temperatura máxima y mínima; en cuanto a las estaciones hidrométricas se seleccionaron tres sobre el río Cauca, de manera que se pudiera monitorear el caudal en la entrada del Valle del Cauca, en la zona media y al salir del departamento; en la cuenca del río Dagua se seleccionó una estación hidrométrica que cumplía las características mínimas para realizar una calibración, en cuanto a la cuenca del río Anchicayá la estación hidrométrica no cumplió con un registro de datos completos que permitiera la calibración en el afluente.



Mapa 6. Estaciones Meteorológicas IDEAM.

Fuente: Elaboración propia con información de IDEAM, CVC y Cenicaña.

Consolidación de la información

Inicialmente la información cartográfica pasó por un proceso de re-proyección al sistema de referencia MAGNA Colombia Oeste, con proyección Transversal Mercator, latitud origen de 4.59° Norte, longitud origen de 77.077° Oeste, coordenadas falsas N: 1'000.000 m y E: 1'000.000 m y EPSG: 3115. Debido a que inicialmente la información cartográfica provenía de distintas fuentes fue necesario estandarizar los sistemas de referencia.

En el proceso de recolección de información, se obtuvo un shape (.shp) de suelos por departamento (Valle del Cauca y Cauca), estos se unieron de manera tal que quedarán representadas las cuencas a modelar; de igual forma se procesaron los shapes de cobertura vegetal, en este caso se unió el mapa de usos del suelo del Valle del Cauca con el mapa de coberturas para Colombia de Corine Land Cover (2010); en el caso del modelo digital de elevación (DEM 30m), este fue recortado para el departamento del Valle del Cauca y la Cuenca del río Cauca .

Una vez procesada la información cartográfica, se da paso a la edición de las bases de datos de cobertura vegetal y suelos; este proceso se realiza directamente en la base de datos de SWAT y lo que se pretende es ajustar los parámetros de cada uno de los componentes para que la representación del mismo se ajuste más a la realidad.

Asignación de la cobertura vegetal y uso del suelo: En este caso se relacionaron los códigos de las coberturas de las bases de datos de SWAT con las coberturas de la zona de estudio, con esto se pretende encontrar coberturas por defecto de la base de datos SWAT que puedan homologarse a las coberturas de la zona debido a su similitud, las demás coberturas se crearon en la base de datos SWAT y los principales parámetros que requiere el modelo fueron calculados para que la cobertura vegetal ingresada representara en una mejor manera las condiciones reales.

Edición de la información de suelos: Se contó con información físico química de los estudios de suelos por parte del IGAC y CVC para el Valle del Cauca y parte del departamento del Cauca, aunque variables como: conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y disponibilidad de agua en el suelo, se determinaron mediante el uso del triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool” (Saxton, Rawls, Romberger, & Papendick, 1986).

Estructuración de la Información Hidrometeorológica: Una vez seleccionadas las estaciones que cuentan con un número satisfactorio de datos, además de una buena calidad y continuidad de la información de precipitación y temperatura, se hace un completado de datos faltantes con apoyo de información satelital de la base de datos climatológica de CHIRPS por sus siglas en inglés “The Climate hazards infrared precipitation with stations” (Funk, 2015), estos datos ya han sido interpolados para Colombia y por lo tanto representan satisfactoriamente el comportamiento de la precipitación a nivel diario.

Mediante el análisis de la información hidrométrica se determinó el uso de tres estaciones sobre el cauce del río Cauca (La Balsa, Paso La Torre y Anacaro) en su paso por el departamento del Valle del Cauca y la estación Bendiciones en la cuenca del río Dagua; las estaciones antes mencionadas serán usadas para la calibración y validación del modelo hidrológico, adicional a esto se procesó el caudal afluente y efluente del embalse la Salvajina con el fin de alimentar el modelo y representar el proceso regulador del embalse, la caracterización del embalse la Salvajina en el modelo hidrológico permite generar un flujo base a partir de la salida del embalse, esto hace que no sea necesario representar la cuenca en su totalidad, en este orden de ideas y gracias a la calidad de la información proporcionada por CVC la modelación de la cuenca del río Cauca podrá iniciar en la salida de la salvajina y finalizar en la estación hidrométrica Anacaro al norte del departamento de Valle del Cauca.

Análisis de sensibilidad, Calibración y Validación del modelo hidrológico

Según Nearing, Deer-Ascough, & Laflen, (1990), el análisis de sensibilidad permite conocer los parámetros que tienen mayor influencia sobre la simulación hidrológica, a partir de una evaluación de los cambios en las respuestas del modelo en función de los cambios en los valores de entrada del mismo. Este análisis se realizó mediante el software SWAT- CUP, permitiendo así identificar los parámetros que más afectaban el balance hídrico de las cuencas (Tabla 4) y los cuales posteriormente fueron utilizados en el proceso de calibración.

La calibración del modelo consistió en lograr un ajuste satisfactorio entre los valores observados y los simulados, mediante cambios en los parámetros de mayor influencia en la variable del caudal de salida. Este proceso se realizó de manera manual ajustando los parámetros obtenidos del análisis de sensibilidad, en aquellas subcuencas que tuviesen al menos una estación hidrométrica con un registro de caudales continuo y concordante con el periodo de estudio.

Una vez se determinaron los valores de los parámetros que permitieron un mejor ajuste de los caudales simulados con respecto a los medidos, se realizó una nueva corrida para un periodo fuera del periodo de calibración, con el fin de corroborar que el modelo está en la capacidad de representar las condiciones reales de las cuencas.

Para el caso de las cuencas del Litoral Pacífico, se realizó la calibración en la cuenca baja del río Dagua en la estación Bendiciones, ubicada en la zona intermedia de la cuenca, entre los corregimientos de Córdoba y Loboguerrero, con un periodo de tiempo comprendido entre 1992-2001 (9 años) y un periodo de validación de 2002-2003 (2 años). En cuanto a las cuencas que drenan al río Cauca, la Calibración se realizó en la estación hidrométrica Anacaro; ubicada en el municipio de Cartago para un periodo de tiempo comprendido entre 1992 – 1998 (7 años) y un periodo de validación de 1999 – 2000 (2 años).

Para la calibración y la validación, se estableció un tiempo determinado de carga, el cual le permite al modelo tener un periodo de equilibrio o calentamiento de tal forma que pueda comprender la dinámica del ciclo hidrológico de la zona de estudio.

Los resultados de los procesos de calibración y validación de caudales se compararon con los caudales observados y se evaluaron a través de los siguientes coeficientes estadísticos:

Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Este indicador mide cuanto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación, estableciendo la eficiencia del modelo para predecir los caudales en comparación con la utilización de la media como predictor de la variable. Varía entre $-\infty$ y 1, donde la simulación es perfecta si el valor del indicador es uno, un valor negativo indica que la media es un mejor predictor y un valor mayor a cero implica que el modelo es mejor predictor que la media. Usualmente, un valor de 0,7 o más corresponde a una modelación adecuada (Moriasi, et al., 2007). El coeficiente se calcula según la Ecuación 2.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - m_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - o_{prom})^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Coeficiente R^2

El coeficiente de determinación corresponde a una medida estadística que indica la bondad del ajuste o fiabilidad del modelo a los datos observados, indicando cuál es la proporción de la variación total en la variable dependiente, que es explicada por el modelo de regresión estimado, es decir, mide la capacidad explicativa del modelo aplicado (Moriasi, et al., 2007). El coeficiente se estima a través de la Ecuación 3.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i) * (m_i - \bar{m}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 * (m_i - \bar{m}_i)^2}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Coeficiente PBIAS

El coeficiente PBIAS o porcentaje de sesgo, mide la tendencia de que el promedio de los valores simulados sea mayor o menor que los valores observados. El valor óptimo de sesgo es cero, o valores pequeños que indican que el modelo es preciso. Valores positivos indican

una subestimación por parte del modelo, mientras que valores negativos indican una sobreestimación (Moriassi, et al., 2007). Este coeficiente se calcula según la Ecuación 4

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - m_i) * 100}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad \text{Ecuación 4}$$

En la Tabla 3 se consideran los rangos de algunos de los parámetros estadísticos y su respectiva interpretación.

Tabla 3. Interpretación predictiva de los parámetros estadísticos para la calibración y la validación

PBIAS	NS	Interpretación predictiva del modelo
PBIAS < ±10%	0.75 < NS < 1.0	Muy bueno (MB)
±10% < PBIAS < ±15%	0.65 < NS < 0.75	Bueno (B)
±15% < PBIAS < ±25%	0.5 < NS < 0.65	Satisfactorio (S)

Fuente: Adaptado de Ocampo & Vélez, (2014)

Modelación de escenario de Cambio Climático

Para el análisis hidrológico de las cuencas anteriormente descritas se planteó el escenario actual, llamado también línea base, con registros históricos de precipitación y temperatura entre los años 1981 – 2015, este primer escenario ayuda a conocer las condiciones actuales de las cuencas modeladas y en especial el comportamiento de la producción hídrica por HRU a nivel mensual y anual.

El segundo escenario es bajo las condiciones climáticas planteadas por el RCP 4.5 para el año 2040, sirve para apreciar la sensibilidad del sistema hidrológico ante dichas condiciones en cuanto a producción hídrica por HRU a nivel mensual y anual. Adicionalmente sirve para calcular los cambios porcentuales de la producción hídrica por HRU, donde se puede ver con más detalle los impactos que el escenario de Cambio Climático del RCP 4.5 para el año 2040 genera sobre la producción hídrica de las cuencas que son objeto de estudio.

En las siguientes figuras se puede observar el comportamiento de la precipitación y la temperatura para la línea base climática y para el escenario RCP 4.5 proyectado para el año 2040, en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8, se muestra el comportamiento de estas variables para el Valle geográfico de la cuenca del río Cauca; en la Figura 9 y Figura 10 se muestra el comportamiento de la temperatura y precipitación para el escenario de línea base y para el RCP 4.5.

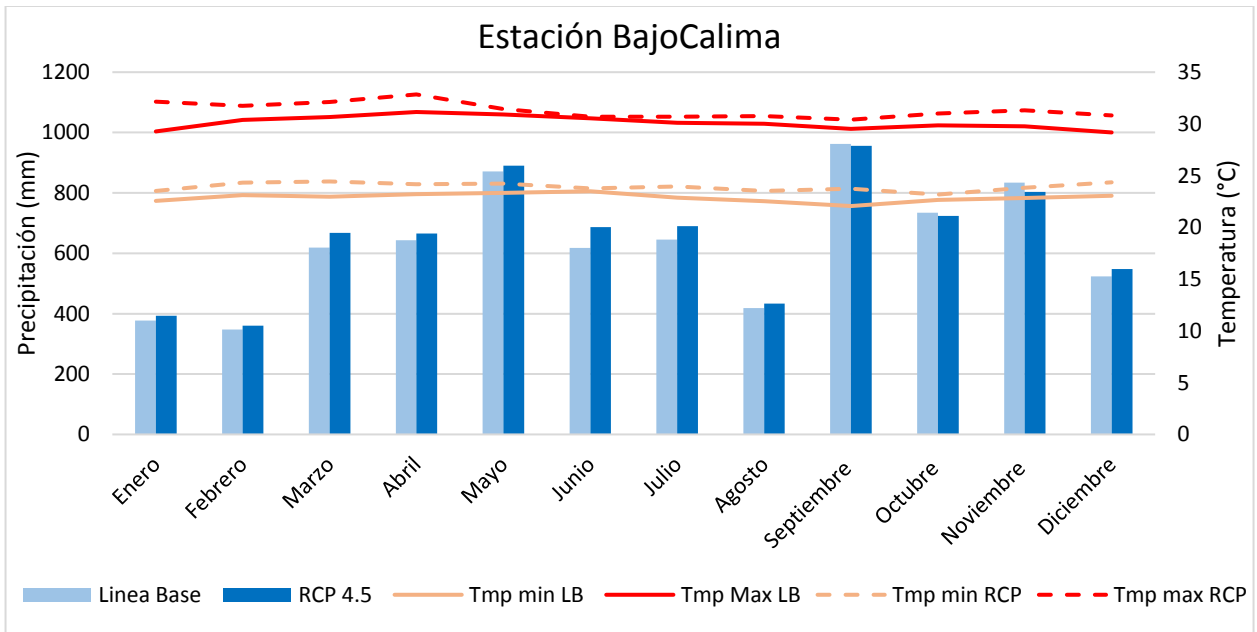


Figura 6. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la Estación Bajo Calima. Fuente: Elaboración propia.

Fuente: *Elaboración propia.*

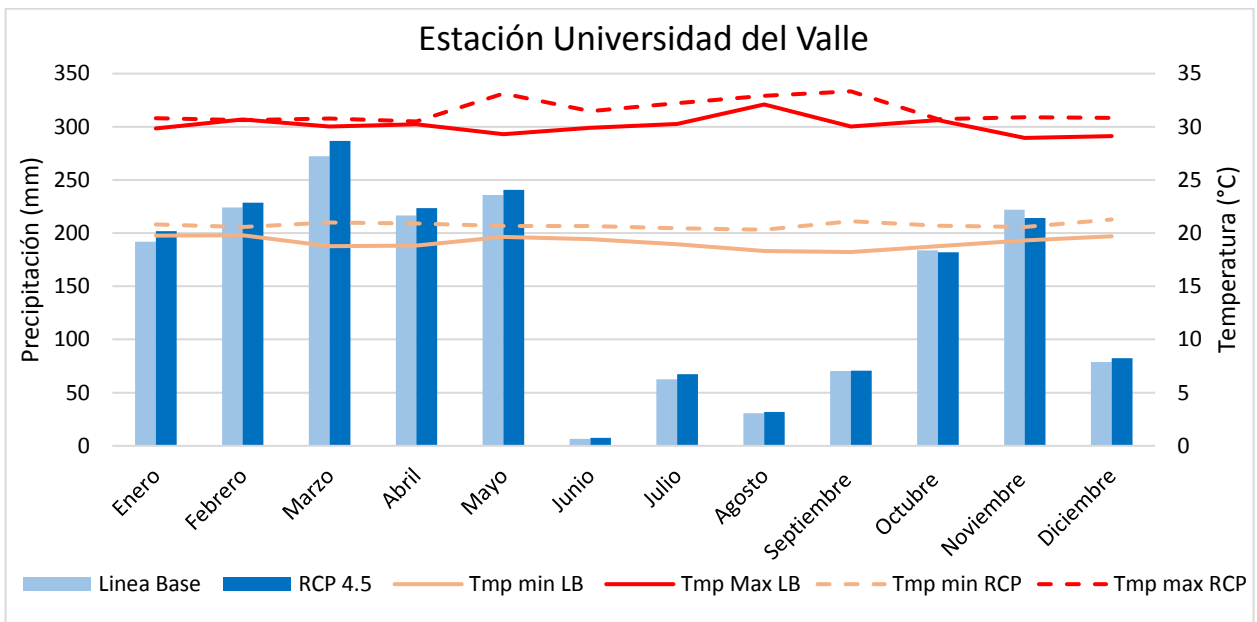


Figura 7. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en el centro del Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia.

Fuente: *Elaboración propia.*

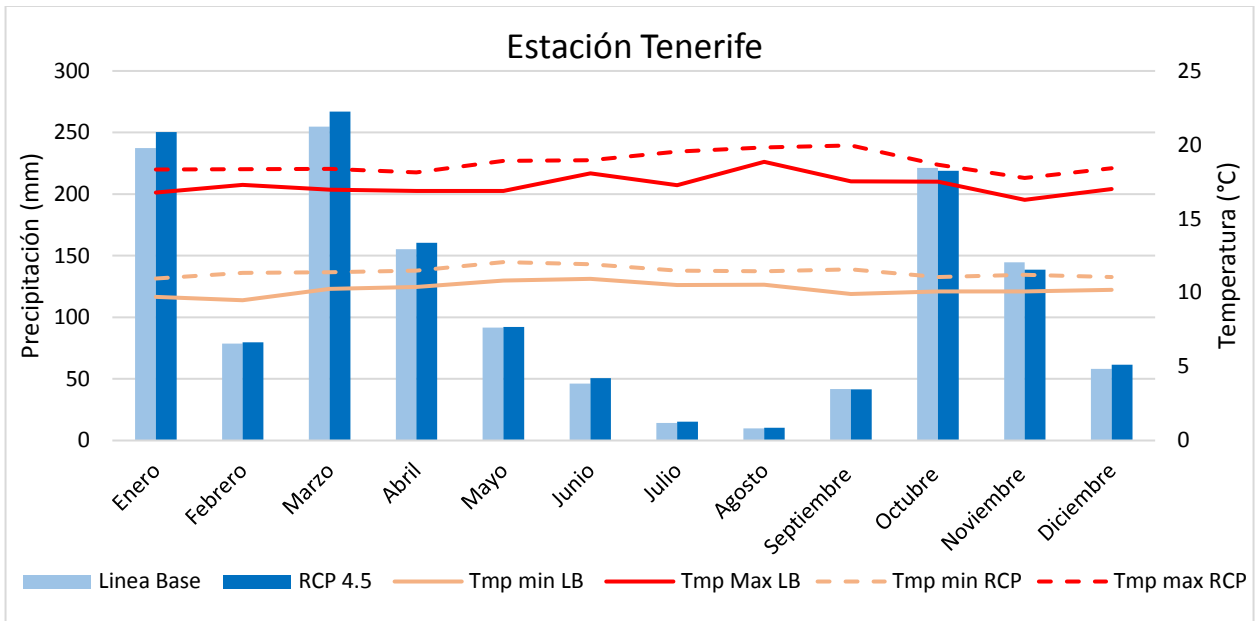


Figura 8. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación Tenerife.

Fuente: Elaboración propia.

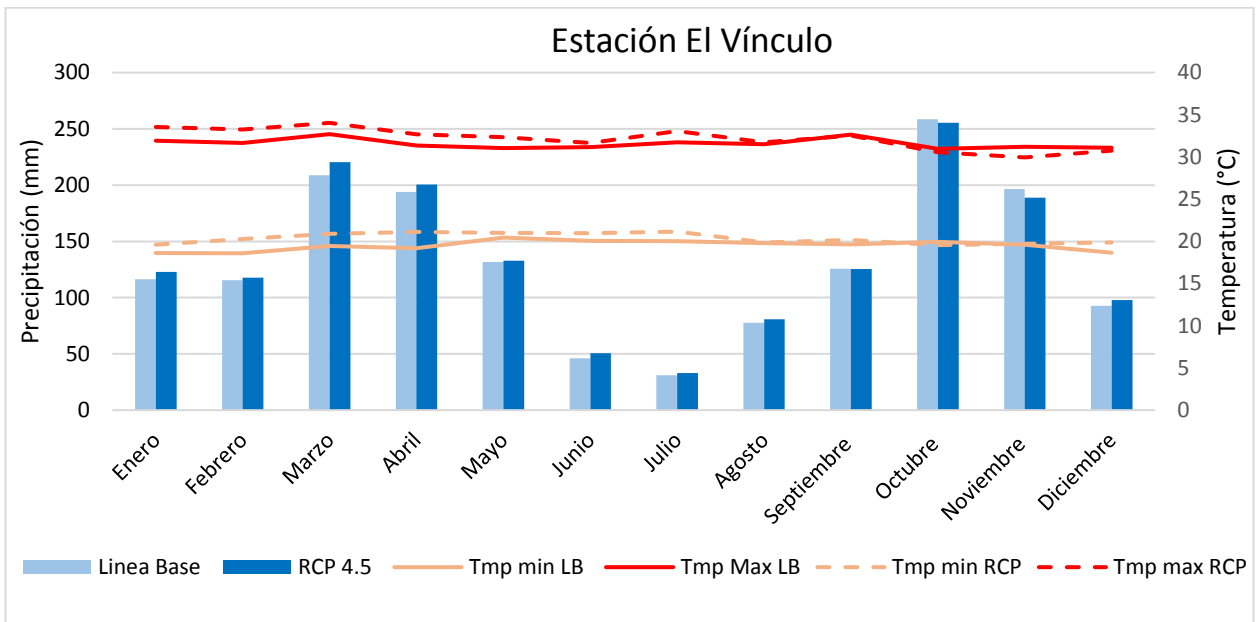


Figura 9. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación El Vínculo.

Fuente: Elaboración propia.

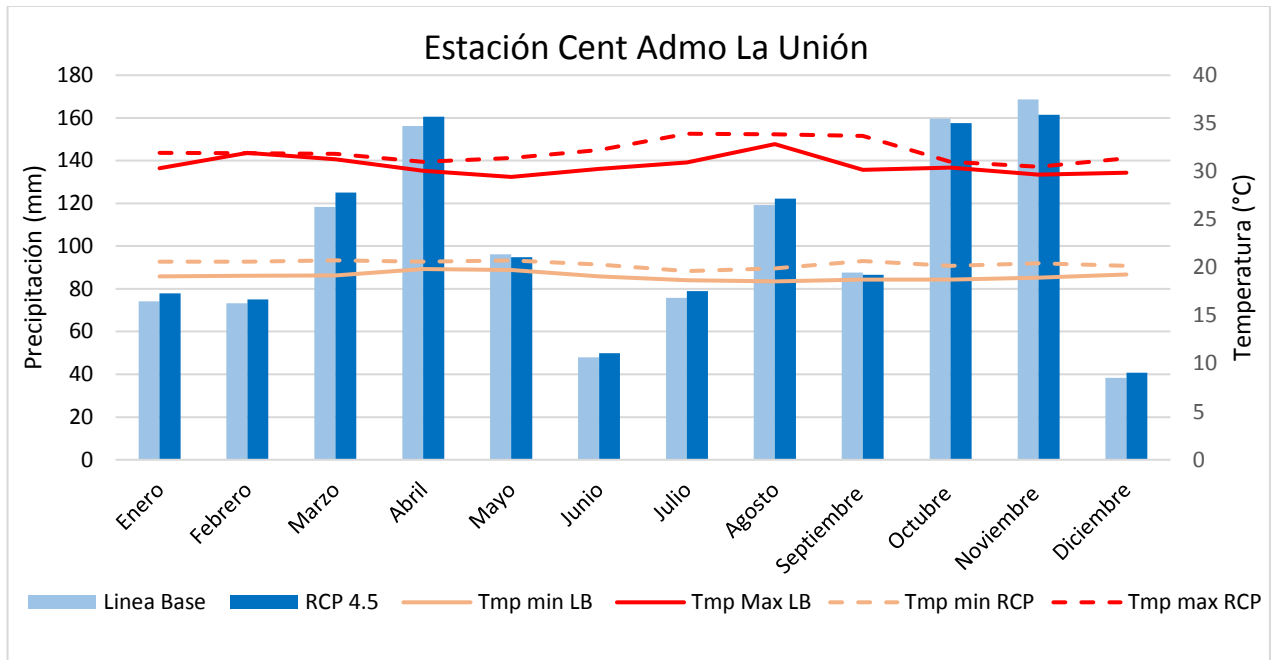


Figura 10. Precipitación y Temperatura máxima y mínima de línea base y RCP 4.5 en la estación Cent Admon La Unión.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción Línea Base

En la **Figura 2** se muestra la precipitación acumulada por trimestre siendo **DJF**: Diciembre – Enero – Febrero, **MAM**: Marzo – Abril – Mayo, **JJA**: Junio – Julio – Agosto, **SON**: Septiembre – Octubre – Noviembre, se destaca una variabilidad espacial en la precipitación entre el pacífico vallecaucano y el valle del río Cauca, puesto que hacía el pacífico la precipitación acumulada mensual puede llegar a superar los 9000 mm al año, mientras que en el valle del río Cauca estos valores oscilan entre 800 y 3000 mm al año.

La distribución de la precipitación a lo largo del año presenta una alta estacionalidad. Para el pacífico vallecaucano se presenta un máximo de precipitación durante el periodo SON, mientras que en el valle geográfico se presentan dos máximos en MAM y SON.

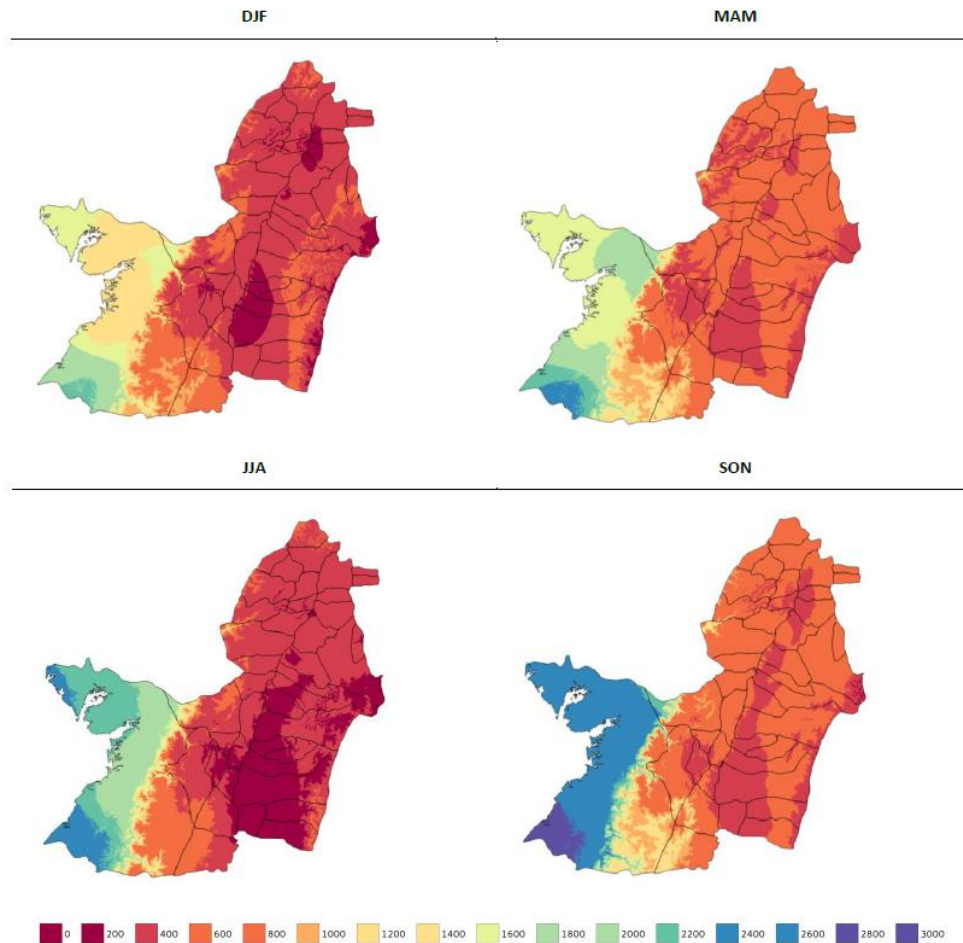


Figura 11. Precipitación acumulada para el departamento del Valle del Cauca para los periodos DJF, MAM, JJA y SON para el periodo 1981-2010.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el mapa de temperatura media anual, donde es posible apreciar un claro gradiente con la altitud en la zona de la Cordillera Central y la Cordillera Occidental, a la vez que se observan temperaturas homogéneas en las zonas planas del pacífico y el valle. La diferencia entre temperatura máxima y mínima es menor en la zona pacífico donde oscila entre 24 y 32 grados a lo largo del año, mientras que en la zona del valle geográfico del Río Cauca el rango de oscilación es mayor, pues se presentan temperaturas entre los 18 y 30 grados.

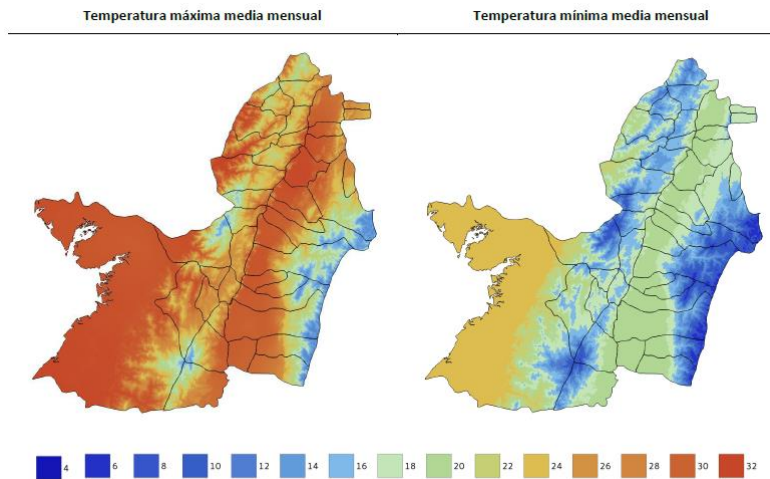


Figura 12. Temperatura máxima y mínima diaria anual para el departamento del Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Proyección de Cambio Climático

En las siguientes figuras se muestra el resultado de las proyecciones climáticas que fueron halladas en un convenio anterior mediante el uso de 14 modelos globales climáticos (GCM) empleados por IDEAM para desarrollar la tercera comunicación de cambio climático (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería, 2015). En los anexos se puede apreciar la distribución espacial de las anomalías de precipitación acumulada mensual, temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual para el Valle del Cauca.

En cuanto a la precipitación acumulada esperada a futuro (Anexo 1), se observan cambios porcentuales que oscilan entre -3 y 15%, en su mayoría positivos, a excepción de los meses de octubre y noviembre, que son precisamente los meses en los que la precipitación es mayor. Los gradientes de anomalía presentan una tendencia al aumento en dirección suroeste para todos los meses del año.

La anomalía de temperatura máxima diaria (Anexo 2) presenta una oscilación entre 1 y 1.5 °C a lo largo del año, las zonas que presentan una anomalía mayor se encuentran en el noreste, aunque los valores se suavizan al acercarse a la zona costera. La anomalía de temperatura mínima diaria (Anexo 3) oscila entre 1 y 1.4 °C, levemente inferior a la temperatura máxima diaria. Según los datos proyectados, se espera mayor frecuencia en fenómenos de temperatura extrema y un rango más amplio de temperaturas.

Mediante el análisis del comportamiento del balance hidrológico ante el escenario de cambio climático evaluado, fue posible identificar los principales impactos esperados asociados al recurso hídrico en lo que respecta a aguas superficiales, es decir el impacto sobre el rendimiento hídrico de las cuencas en la zona de interés.

Resultados y discusión

Análisis de Sensibilidad, Calibración y Validación

El análisis de sensibilidad se realizó para el mismo periodo de la simulación tanto para las cuencas del litoral pacífico como para las cuencas que drenan al río Cauca, donde solo se tuvieron en cuenta aquellos parámetros que tuvieran una gran influencia en el caudal de salida en las zonas de estudio. Los resultados obtenidos de este proceso se encuentran consignados en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros obtenidos del análisis de sensibilidad

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN	PROCESO
CN2	Número de curva de escorrentía Inicial en condiciones de humedad II	Flujo base
ALPHA_BF	Factor Alpha de flujo base	Flujo base
SOL_AWC	Disponibilidad de agua del suelo	Suelo
GW_DELAY	Retraso de agua subterránea	Flujo base
CH-N2	Valor del coeficiente de Manning	Evaporación
SOL-K	Conductividad hidráulica	Suelo

Fuente: Elaboración propia con base al manual del Modelo SWAT

Para la calibración se modificaron los parámetros más sensibles del modelo según los resultados del análisis de sensibilidad hasta llegar al mejor ajuste. Los valores obtenidos de este proceso se encuentran consignados en la Tabla 5 y Tabla 6 para las cuencas del litoral pacífico y las cuencas que drenan al río Cauca respectivamente.

Tabla 5. Resultados de la calibración Cuencas del litoral Pacífico

PARAMETRO	RANGO	VALOR POR DEFECTO	OPERACIÓN	VALOR CALIBRACIÓN
CN2	35 - 98	Varia por HRU	Multiplicación	0.49
ALPHA_BF	0 - 1	0.048	Reemplazo	Pendiente < 33%; 0.01
			Reemplazo	Pendiente > 33%; 0.0004
GW_DELAY	0 - 500	31	Reemplazo	12
CH_N2	0.01 - 30	0.014	Reemplazo	0.150
SOL_K	0 - 2000	Varia por HRU	Multiplicación	0.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resultados de la calibración Cuencas que drena al río Cauca.

PARAMETRO	RANGO	VALOR POR DEFECTO	VALOR CALIBRACIÓN
CN2	35 - 98	Varia por HRU	*0.372
ALPHA_BF	0 - 1	0.048	Slope < 16%; 0.0006
			Slope > 16%; 0.048

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de sensibilidad y calibración, se obtuvo que el parámetro con mayor influencia en el caudal de salida del modelo bajo las condiciones actuales de las cuencas corresponde al número de curva (CN2), el cual afecta directamente a la textura del suelo

(permeabilidad), y por ende a la contribución por parte del agua subterránea y de la escorrentía superficial al caudal.

Siguiendo el nivel de importancia de sensibilidad, se tiene el parámetro Alpha de flujo base (ALPHA_BF), el cual, es un índice directo de la respuesta del flujo de agua subterránea al cambio en la recarga. En este caso los valores de Alpha variaron entre 0,0004 – 0,01 y 0,0006 – 0,048 para las cuencas que drenan al Pacífico y al río Cauca respectivamente, lo que significa que las cuencas estudiadas tienen una respuesta lenta en cuanto a la recarga de acuíferos, indicando la presencia de suelos profundos, lo cual afecta directamente a la contribución del agua subterránea al caudal.

En cuanto a los rangos de los parámetros de disponibilidad de agua (SOL_AWC) y conductividad hidráulica del suelo (SOL_K) se observó una gran variabilidad en las zonas de estudio. Las cuencas se caracterizaron por tener altas variaciones en las características hidráulicas del suelo. Estos incrementos, en especial el del contenido del agua en el suelo, durante el proceso de calibración se relacionó con la presencia de microporos, favoreciendo la capacidad de retención de agua del suelo, lo cual se ve reflejado en una disminución en el aporte de agua por parte de las cuencas al cauce principal, ya que gran parte se queda retenida en el suelo.

Por último, se tiene el tiempo de retraso del agua subterránea (GW_DELAY), es decir, el tiempo que demora el agua desde que entra al perfil del suelo hasta convertirse en recarga superficial del acuífero, lo cual dependerá de la profundidad del nivel freático y de las propiedades hidráulicas de las formaciones geológicas en las zonas de agua subterránea. Para las cuencas que drenan al río Cauca se tienen los mayores retrasos, diferente de las cuencas del litoral pacífico donde se presentó una disminución significativa respecto al valor por defecto

Una vez realizado el ajuste de los parámetros mencionados anteriormente, se representó gráficamente la correlación entre los datos observados y simulados (ver Figura 13 y Figura 14), tanto para la calibración como la validación respectivamente, asociados a la estación Bendiciones presente en la Cuenca del río Dagua.

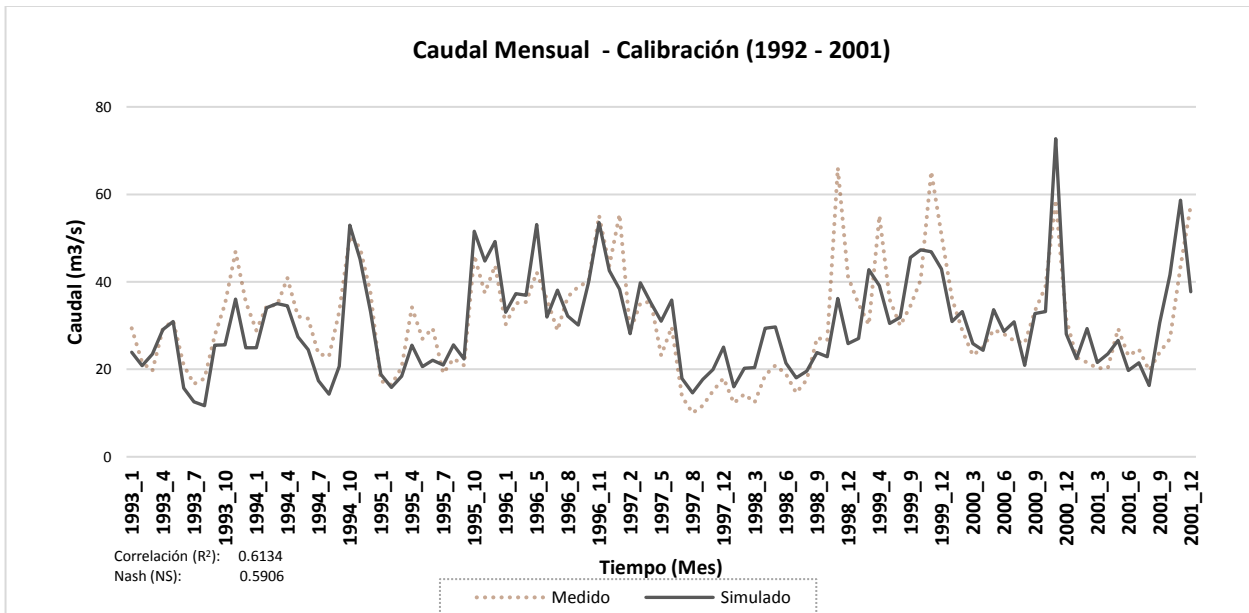


Figura 13. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Bendiciones en la Cuenca de Dagua.

Fuente: Elaboración propia

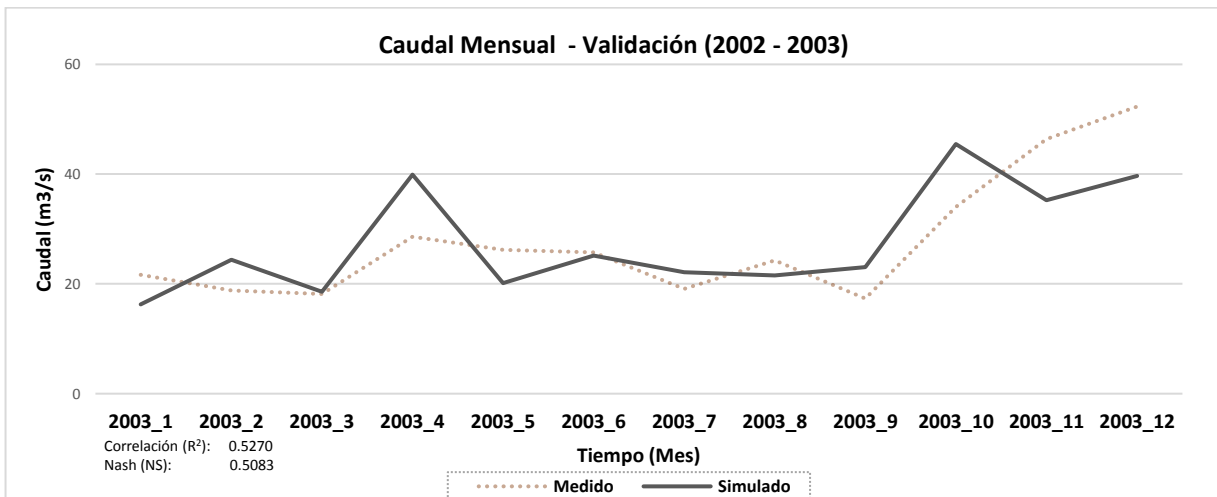


Figura 14. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Bendiciones en la Cuenca de Dagua.

Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos descritos anteriormente permiten corroborar el desempeño del modelo, su capacidad predictiva al representar la estacionalidad de los caudales, y la dispersión existente entre los valores simulados y medidos. Los resultados de los indicadores de eficiencia se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados obtenidos de la Calibración y Validación de la estación Bendiciones en la cuenca de Dagua.

Estación	NS		PBIAS		R2	
	Calibración	Validación	Calibración	Validación	Calibración	Validación
Bendiciones	0,5906	0,5083	2,3517%	0,3158%	0,6134	0,5270

Fuente: *Elaboración propia.*

De acuerdo a la Figura 13, el comportamiento de los caudales simulados con respecto a los caudales medidos representan un buen ajuste, donde la mayor diferencia entre estos se puede observar en los puntos máximos de caudal para ciertos eventos, con lo cual se demuestra la buena capacidad predictiva del modelo en las condiciones actuales de la cuenca. Sin embargo, en la validación (ver Figura 14), el modelo no logró representar de manera adecuada la estacionalidad de los caudales, ya que tuvo limitaciones para la modelación de los eventos mínimos, presentando una mayor dispersión.

Según los resultados consignados en la Tabla 7, se muestra una pequeña subestimación de los valores por parte del modelo de acuerdo a los valores del coeficiente PBIAS, sin embargo, al observar la Figura 13 y Figura 14, se presentan épocas en las que el modelo sobreestima los valores, precisamente para aquellos meses donde se tienen eventos extremos. Esto se debe, a que SWAT al ser un modelo continuo, no está diseñado para simular un solo evento de flujo detallado, sino para hacer una representación continua de la distribución de la lluvia y la generación de caudales en las cuencas, tal como se puede observar en las figuras. Por otra parte, en cuanto al coeficiente de Nash – Sutcliffe, el rendimiento de la modelación se encuentra entre los rangos aceptables, tanto para la calibración como para la validación.

Debido a la falta de estaciones hidrométricas de las cuencas hidrográficas que drenan al Océano pacífico, como lo son: Calima y bajo San Juan, Anchicayá, Cajambre, Naya & Yurumanguí, y teniendo en cuenta que estas cuencas presentan un comportamiento similar en cuanto a la precipitación, tipo de cobertura, tipo de suelo y pendientes, se espera que en esta zona haya una similitud en cuanto a su comportamiento hidrológico, permitiendo así ajustar la calibración realizada en la cuenca de Dagua a las cuencas vecinas. Sin embargo se debe tener en cuenta que esta suposición se hace por efecto de análisis, ya que la falta de estaciones impide validar dicha información.

Una vez calibrada y validada las Cuencas del Litoral Pacífico, se realizó el mismo procedimiento para las cuencas que drenan al río Cauca y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 15 y Figura 16.

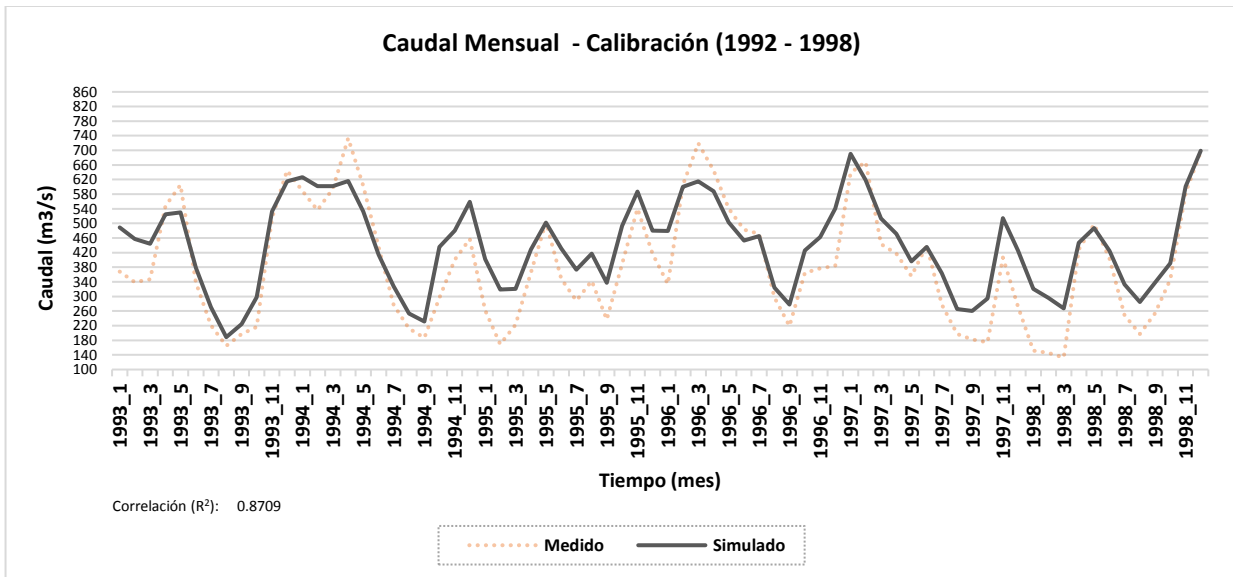


Figura 15. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Anacaro para la Cuenca del río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

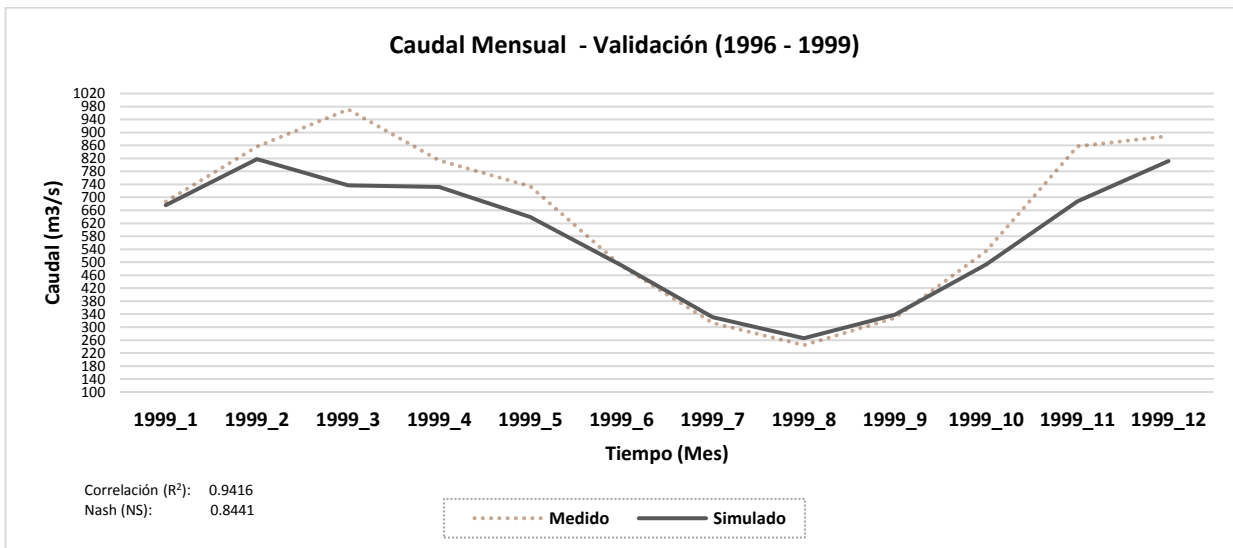


Figura 16. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Anacaro para la Cuenca del río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la Figura 15, muestran una concordancia en cuanto al régimen hidrológico de la cuenca del río Cauca, presentándose un buen ajuste entre los caudales simulados y los medidos, donde la mayor diferencia se observa en los caudales máximos y mínimos para ciertos eventos, ya que el modelo no puede predecir de una manera exacta los eventos extremos. Los valores del coeficiente de correlación y la eficiencia de Nash tanto para la calibración como para la validación (ver Tabla 8) muestran un muy buen ajuste para el periodo de análisis, considerando la capacidad predictiva del modelo según Nash y

Sutcliffe, (1970) como muy buena. En general el modelo sobreestima en la mayor parte del periodo de estudio los caudales, pero siempre manejando un sesgo muy pequeño con respecto a los caudales medidos.

Con la finalidad de validar la simulación en varios puntos a lo largo del río Cauca diferentes al punto de cierre de la cuenca; se realizó la validación de los resultados de los caudales obtenidos de la simulación en dos estaciones, la primera es la estación de la balsa ubicada en el municipio de Suarez, Cauca para un periodo de simulación comprendido entre 1992 - 1998 y un periodo de validación de 1999 – 2000. La otra estación es Paso la Torre, ubicada entre los municipios de Yumbo y Palmira, para un periodo de simulación comprendido entre 2004 – 2010 y un periodo de validación de 2011 – 2012. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 17, Figura 18, al igual que los coeficientes estadísticos respectivos, los cuales se encuentran consignados en la Tabla 8.

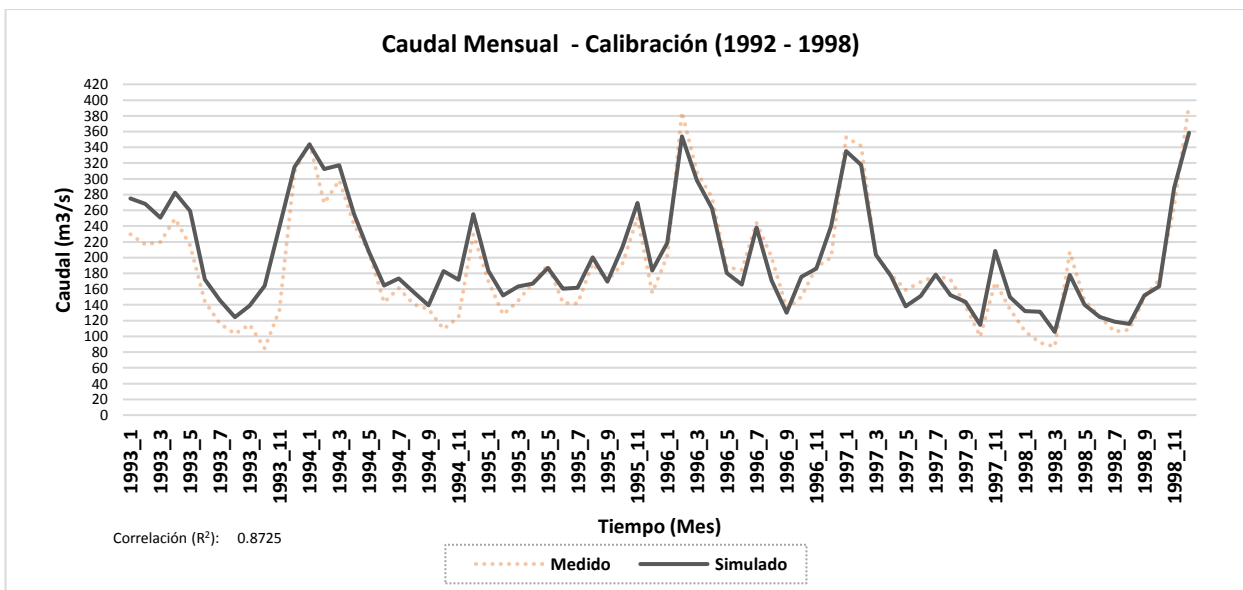


Figura 17. Calibración - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación La Balsa para la Cuenca del río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

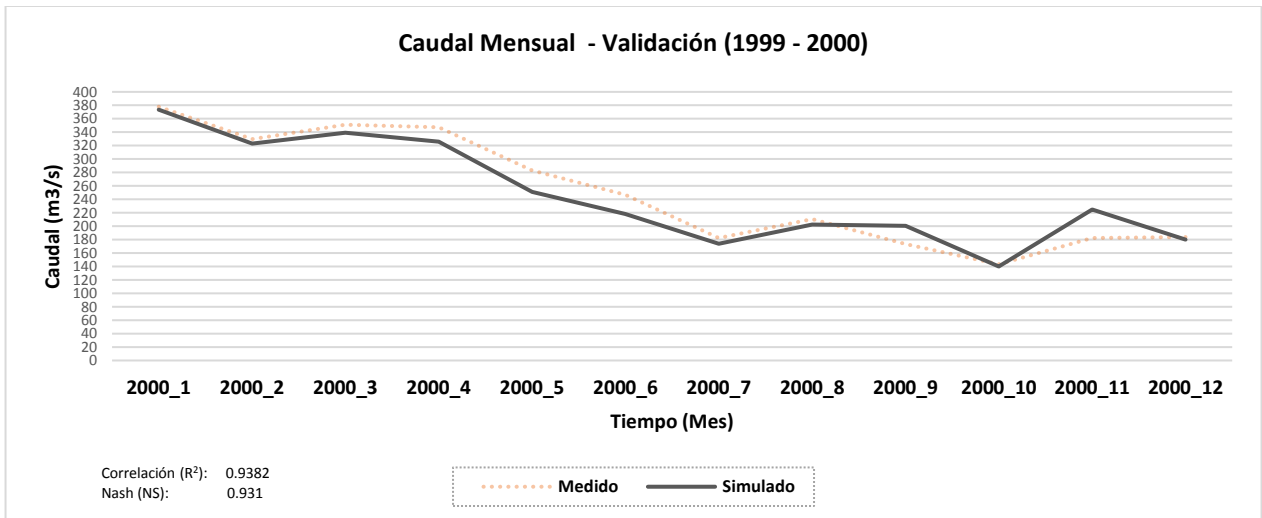


Figura 18. Validación - Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación La Balsa para la Cuenca del río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

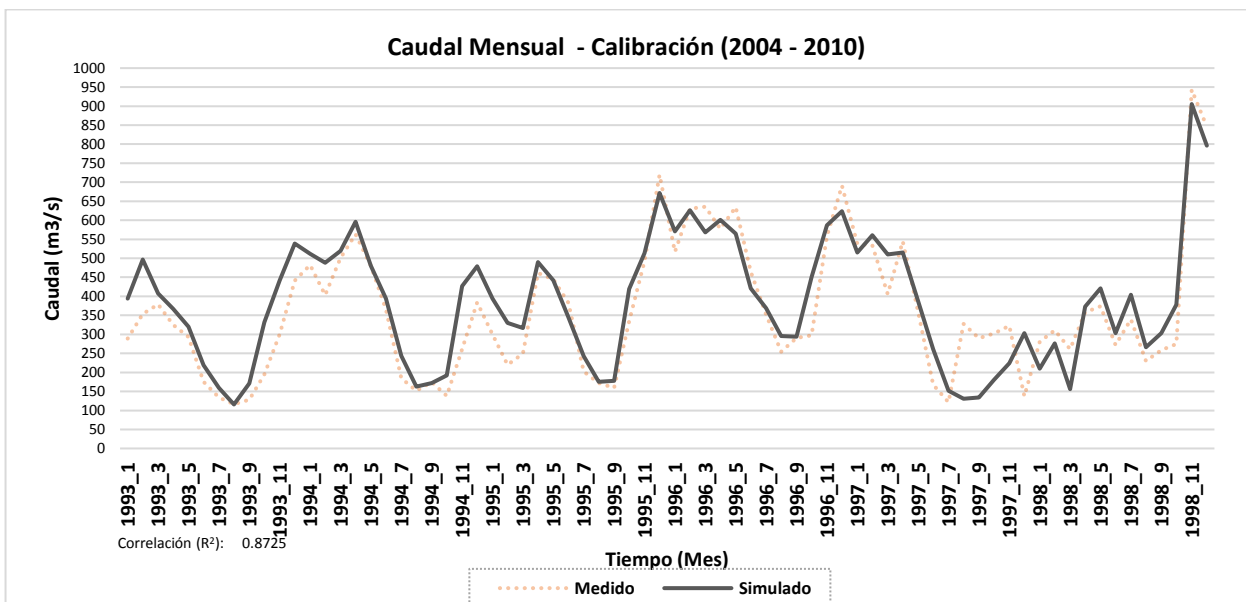


Figura 19. Calibración – Promedio mensual del caudal medido Vs simulado de la estación Paso de la Torre para la Cuenca del río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Resultados obtenidos de la Calibración y Validación de las estaciones de las cuencas del río Cauca.

Estación	NS		PBIAS		R2	
	Calibración	Validación	Calibración	Validación	Calibración	Validación
La Balsa	0,840	0,931	-6,8068	1,96	0,8725	0,9382
Paso la Torre	0,813	0,777	-19,0087	-6,6170	0,8336	0,9254
Anacaro	0,739	0,844	-13,1969	9,0355	0,8759	0,9416

Fuente: *Elaboración propia.*

Según los resultados obtenidos, se muestra un alto grado de correlación en las dos estaciones escogidas como puntos de monitoreo para la validación de los caudales. En cuanto al coeficiente de correlación y la eficiencia de Nash, se presentan valores muy altos (ver Tabla 8), lo cual demuestra la gran capacidad del modelo para representar la dinámica del ciclo hidrológico de la cuenca, sobre todo en zonas donde existe una homogeneidad topográfica tal como ocurre en la cuenca del río Cauca. Del mismo modo se analizaron los valores del coeficiente de PBIAS, indicando una sobreestimación de los caudales por parte del modelo con respecto a los caudales medidos.

Por último, se observó que el modelo si logró representar de una forma más aproximada los caudales mínimos y máximos para la mayor parte de los eventos presentados en las estaciones La balsa y Paso la Torre. Lo cual se puede explicar teniendo en cuenta que para este caso se realizó la modelación del proceso de regulación del caudal de salida al río Cauca de la Salvajina, presentándose así una mejor representación de la estacionalidad de los caudales, en las estaciones más próximas al embalse.

Producción hídrica por HRU

De acuerdo a los resultados anteriores es posible asumir que el modelo representa satisfactoriamente los procesos hidrológicos de las cuencas que son objeto de este estudio, y por lo tanto, aporta una buena base sobre la cual se podrá evaluar los posibles impactos de los cambios de temperatura y precipitación proyectados para el escenario RCP 4.5. En la Tabla 9 se presentan las características generales de las cuencas modeladas.

Tabla 9. Características generales de las cuencas modeladas.

Cuencas	Área (ha)	Subcuencas	HRU	Elevación Min (ms.n.m.)	Elevación Max (ms.n.m.)
Pacífico (Dagua, Anchicayá, Cajambre, Calima y bajo San Juan, Naya y Yurumanguí)	643.745,78	61	6.157	0	3.923

Cuencas	Área (ha)	Subcuencas	HRU	Elevación Min (ms.n.m.)	Elevación Max (ms.n.m.)
Río Cauca	1.355.074,56	23	23.113	880	4.294

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se muestran a continuación (ver Figura 20 y Figura 21) corresponden a las estimaciones del modelo en condiciones de línea base (Clima actual) y en el escenario futuro de cambio climático RCP 4.5 para el año 2040, donde se identifica el aporte al caudal en milímetros a través de cada una de las cuencas que drenan directamente al Océano Pacífico (Calima y bajo San Juan, Dagua, Anchicayá, Cajambre, Naya y Yurumanguí), al igual que la cuenca del río Cauca en el área que ocupa el departamento del Valle del Cauca. Además se presenta el cambio en producción hídrica debido a las condiciones climáticas planteadas para el escenario futuro en la Figura 22.

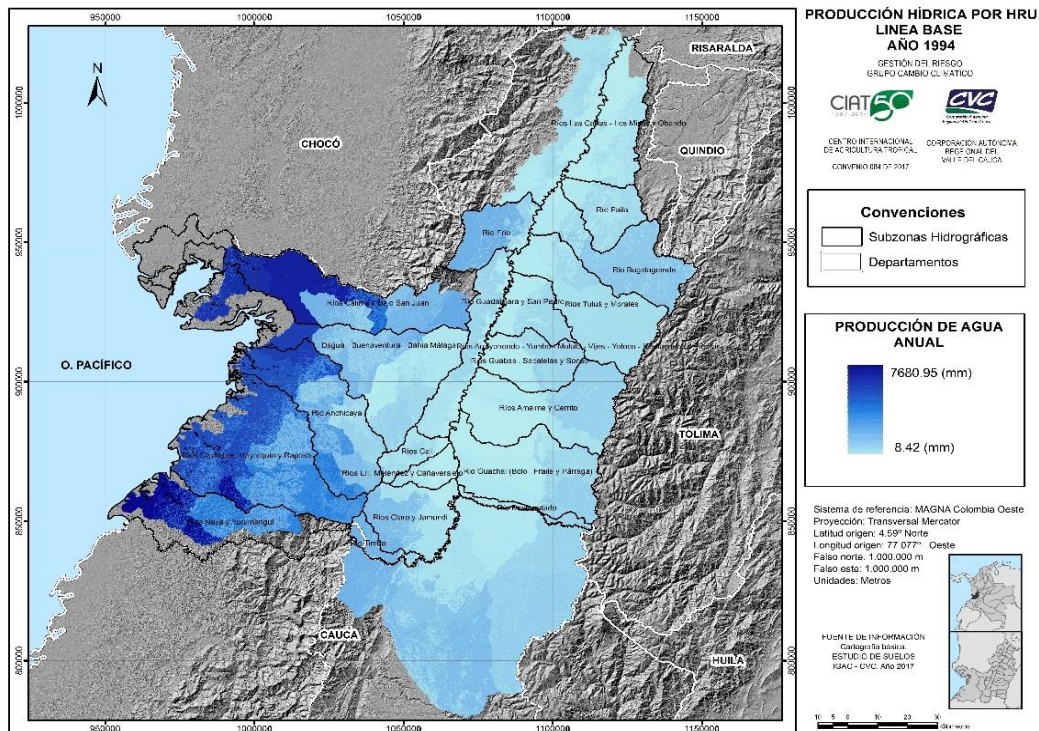


Figura 20. Producción hídrica anual por HRU del Departamento del Valle del Cauca para el escenario actual.

Fuente: Elaboración propia.

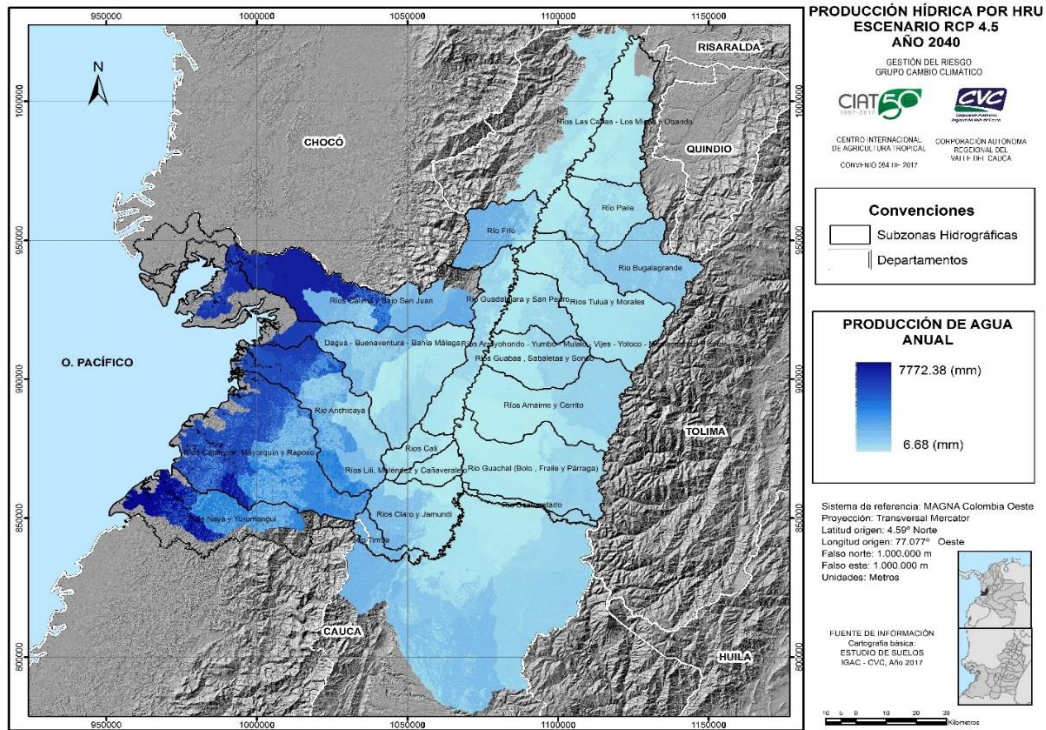


Figura 21. Producción hídrica anual por HRU del Departamento del Valle del Cauca para el escenario de cambio climático RCP4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la producción de agua anual, se observan valores hasta de 7.680 y 7.772 mm para línea base y RCP respectivamente, en la zona baja de las cuencas del litoral pacífico (ver Anexo 3 y Anexo 4), lo cual es coherente si se tiene en cuenta que los registros de precipitación total anual según el IDEAM para esta zona es de hasta 9.000 mm, producto de la influencia del flujo de aire prevaleciente de la Cordillera Occidental y de los cambios en la intensidad de los vientos alisios del Este. Del mismo modo se observaron valores de hasta de 2660 y 2684 mm para línea base y RCP respectivamente, en las cuencas que drenan al Río Cauca (ver Anexo 5 y Anexo 6), siendo esto consistente de acuerdo con el IDEAM, ya que en la zona alta de la cuenca se presentan precipitaciones desde 2.500 hasta 3.000 mm y en la zona baja de hasta 1.000 mm/año. Además se observa un aumento en la precipitación anual según lo previsto por el modelo para las cuencas del Litoral Pacífico y la cuenca del río Cauca de hasta el 3,6 % y el 4% respectivamente.

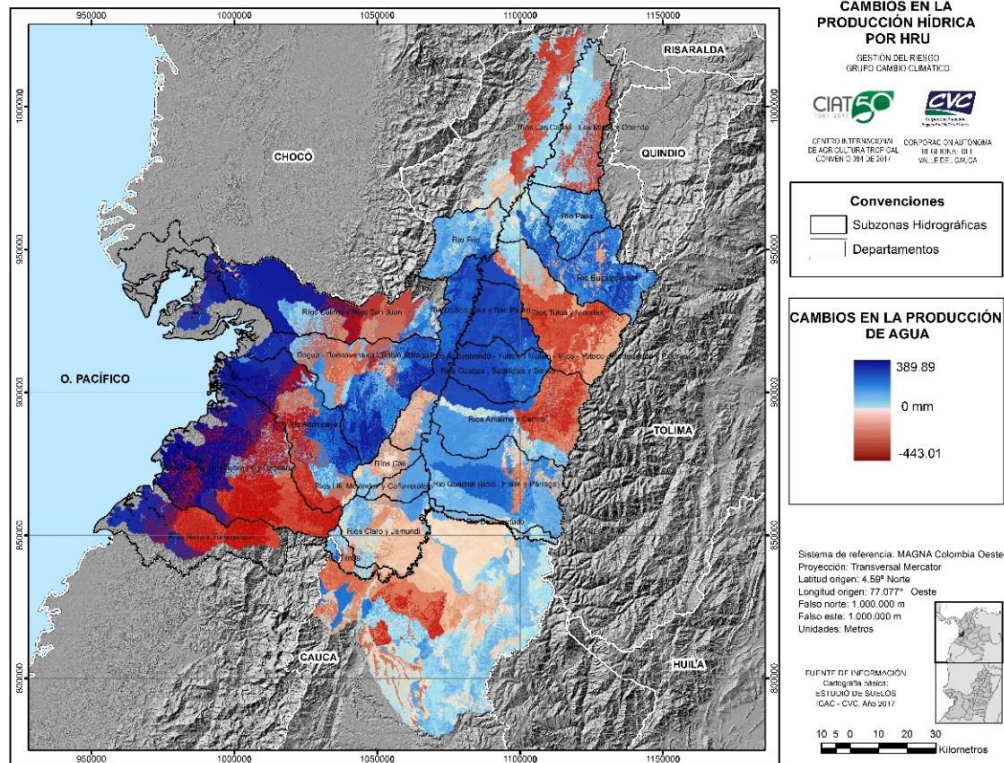


Figura 22. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para el Departamento del Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Figura 22, donde se observa la distribución espacial de los cambios en producción de acuerdo a las condiciones climáticas establecidas para el escenario RCP 4.5 para el año 2040, se puede ver un comportamiento heterogéneo en casi toda la zona, donde la ganancia en producción de agua total anual para el departamento del Valle del Cauca y la zona del Cauca modelada según lo previsto por el modelo es hasta de 119.785 mm, siendo las zonas de mayor ganancia la parte baja de las cuencas del Litoral Pacífico, la parte alta de la subzona del río Dagua, la parte media y alta de la subzona del río de Anchicayá, la subzona del río Guadalajara y San Pedro, la subzona de los ríos Guabas, Sabaletas, y Sonso y la parte norte de la subzona del río Mediacanoa.

Por otro lado, se tiene prevista una disminución en producción de agua total anual para la zona de estudio hasta de 129.455 mm, siendo las zonas de mayor incidencia la parte alta y media de la subzona de los ríos Naya y Yurumanguí y del río Cajambre, la parte media y alta de la subzona del río Anchicayá, la parte alta de la subzona de los ríos Calima y Bajo San Juan, la parte alta de la subzona de los ríos las Cabas y los Micos, la parte alta y media de la subzona de los ríos Tuluá y Morales y la parte alta de la Subzona de los Ríos Amaimé y Cerrito.

Con el fin de hacer un análisis más profundo de los resultados obtenidos en la modelación, se analizaron los cambios en producción anual y mensual para las cuencas del Litoral Pacífico y las que drenan al Río Cauca por separado, debido a la diferencia tan marcada que tienen en cuanto a las condiciones climáticas y topográficas.

En el estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), (2013) para la determinación de áreas estratégicas para el abastecimiento de acueductos de cada uno de los municipios del departamento del Valle del Cauca, en el que se tuvo en cuenta la proyección poblacional para el 2020 según el DANE, se pudo establecer los municipios con las mejores y peores condiciones de producción hídrica aquellos priorizados de acuerdo a su condición deficiente de producción se encuentran consignados en la Tabla 10.

Tabla 10. Condiciones de producción hídrica de algunos municipios del departamento del Valle del Cauca.

Municipios	% Áreas óptimas para producción hídrica (ha)	% Áreas aceptables para producción hídrica (ha)	% Áreas deficientes para producción hídrica (ha)
Candelaria	0	1.19	98.81
Palmira	23.23	21.70	55.00
Vijes	5.69	41.74	52.57
Yumbo	1.37	30.09	68.54
El Cerrito	1.06	36.00	62.94
San Pedro	6.09	21.66	72.25
Andalucía	5.63	49.36	45.01
Bugalagrande	3.26	29.44	67.30
Zarzal	1.36	67.34	65.98
Argelia	0.42	34.10	65.48
El Dovio	0.13	27.46	72.41
La Unión	0.44	26.37	73.19
Roldanillo	1.23	38.96	59.81
Yotoco	4.00	35.23	60.77
Tuluá	15.45	39.54	45.01
Pradera	29.67	28.16	42.17
Buga	12.66	47.22	40.12

Fuente: Tomado de (CVC, 2013)

Comparando el resultado obtenido por el estudio realizado por la CVC y el mapa de cambio de producción hídrica para el año 2040 bajo el escenario RCP 4.5 (ver Figura 22), se observa que precisamente en los lugares donde según el estudio se presentan las zonas con mayor deficiencia en cuanto a producción hídrica con una proyección poblacional al 2020, concuerdan en algunas de las zonas que de acuerdo con las condiciones climáticas para escenario de cambio climático establecido presentarán una pérdida en producción hídrica, siendo estos municipios Pradera, Palmira, el Cerrito, Buga, San Pedro, Tuluá, Zarzal Roldanillo, y la Unión. Según las modelaciones para el año 2040 en estos municipios se presentarán las mayores pérdidas de las cuencas que drenan al río Cauca (20 a 80 mm/añales), especialmente en la parte media y alta de los municipios, es importante tener en cuenta que aunque las ventanas de tiempo sean diferentes, la comparación se hace con

el fin de complementar el estudio ya realizado, y tener en cuenta esas áreas ya identificadas, puesto que las nuevas condiciones climáticas como respuesta al cambio climático van a repercutir de manera negativa en estos lugares, posiblemente agravando la situación que la CVC pronostica para el año 2020, por lo tanto es necesario priorizar las zonas en las que se ejecutarán medidas en pro de la conservación del recurso hídrico, toda vez que se cuentan con diferentes estudios que lo respaldan.

De acuerdo con estudios realizados por la CVC, para el año 2007 el 58% de las cuencas analizadas en el departamento reportan un índice de escasez alto, es decir que el nivel de demanda de agua es superior al 50% de la oferta hídrica en esas cuencas, donde el nivel de demanda del 40% de las cuencas oscilaba entre el 21 – 50% de la oferta, y en el 3% de las cuencas el nivel de demanda oscilaba entre el 11 – 14% de la oferta (CVC, 2013).

Este desequilibrio en el manejo del agua se presenta en gran medida por el aumento de las actividades productivas que utilizan volúmenes considerables de agua, el empleo de tecnologías poco eficientes, la falta de cultura de valoración del agua desde un punto de vista ambiental y la ampliación de la frontera agrícola (CVC, 2013); siendo esta última alarmante si se toma en consideración que gran parte de las bocatomas que abastecen los acueductos de carácter municipal se ubican en las partes altas de las cuencas, poniendo a competir entre el abastecimiento y desarrollo de actividades productivas por el acceso a un recurso cada vez más limitado (CVC, 2013). Por eso es importante priorizar y realizar acciones sobre estas áreas que presentan condiciones deficientes de producción hídrica actualmente. Además, se debe intensificar los procesos de conservación y protección en las áreas con significancia ambiental para cada municipio, esto con el fin de mitigar los efectos adversos del cambio climático en dichas zonas con un índice de escasez tan alto y seguir garantizando el abastecimiento del acueducto municipal a estas poblaciones en crecimiento continuo, teniendo como prioridad la conservación del recurso.

Por otro lado, el municipio que según el estudio de la CVC presentó las características más óptimas para la producción hídrica, con un 87.48% de áreas óptimas, es Calima (El Darién), sin embargo bajo el escenario de cambio climático propuesto se esperan grandes pérdidas para este municipio para el año 2040. Las pérdidas en producción van hasta los 332 mm/anales, enfáticamente hacia el occidente, lo cual es preocupante si se tiene en cuenta que un área importante del municipio hace parte del parque natural regional Páramo del Duende y además cuenta con una gran riqueza hídrica, por eso es importante desde ahora desarrollar actividades destinadas al manejo técnico de áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico.

Cuencas del Litoral Pacífico:

En los anexos del Anexo 8 Anexo 19, se observan las variaciones de la producción hídrica mes a mes para las cuencas que drenan al Océano Pacífico, evidenciándose un aumento en cuanto a producción de agua de hasta 189, 120 y 101 mm para los meses de mayo, octubre y marzo respectivamente, siendo estos meses característicos de temporadas de

lluvia. Por otro lado, se obtuvo una disminución de producción hasta de 118, 95, 93 y 80 mm para los meses de noviembre, abril, enero y junio respectivamente, meses característicos de temporadas secas, excepto por los meses de noviembre y abril que pertenecen a los meses más lluviosos del año. Con lo anterior se puede inferir que se esperan épocas de lluvia más intensas y épocas aún más secas.

Según los resultados de la modelación con SWAT (ver Figura 23), las cuencas que presentaron una mayor disminución en el aporte anual son Cajambre, Anchicayá, Naya & Yurumangi sobre todo la parte alta y media de las cuencas entre los 300 y 3.700 ms.n.m. Algo similar ocurre para las cuencas de Dagua, Calima y bajo San Juan, que presentaron una disminución en el aporte pero en menor proporción, localizándose estas en la zona media de Dagua y en la zona media y alta de la Cuenca de Calima, entre los 400 y 2500 ms.n.m.

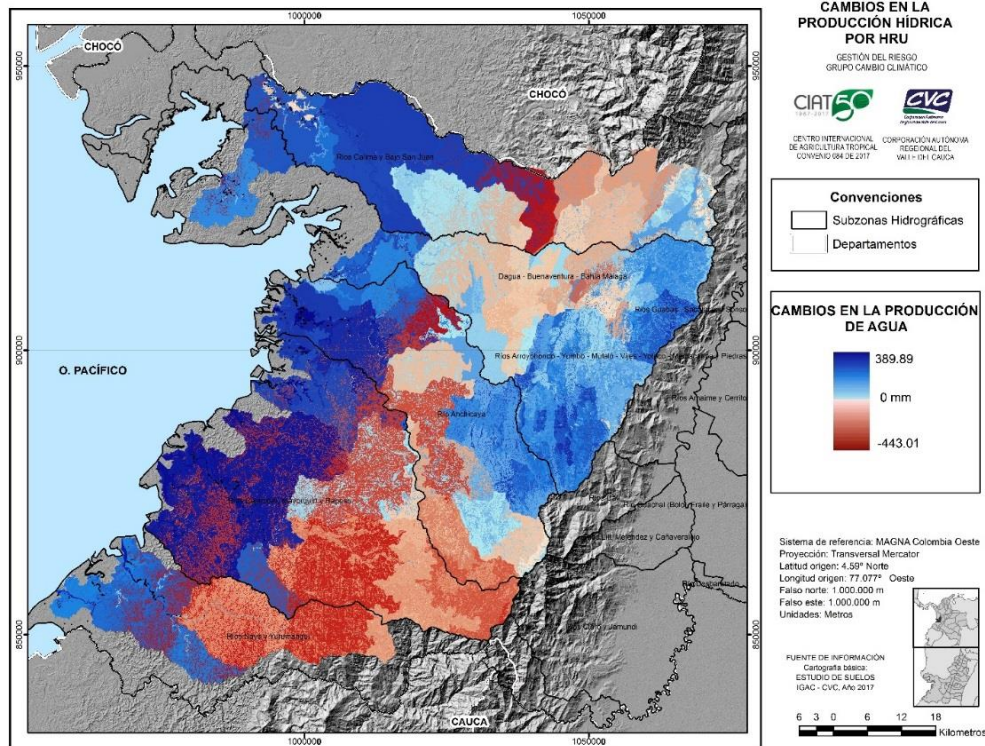


Figura 23. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para las cuencas del Litoral Pacífico.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el inventario de la cobertura de la tierra de la base de datos de CORINE Land Cover Colombia para el periodo 2010 – 2012 a una escala 1:100.000 realizado por el IDEAM, se puede afirmar que la mayor parte de las cuencas que drenan al pacífico pertenecientes al Departamento del Valle del Cauca están conformadas por zonas boscosas, o de acuerdo a su clasificación, de una cobertura tipo Bosque mixto alto de tierra firme, predominante en la zona alta y media de las cuencas, cuya área de cobertura arbórea

representa el 73% del área total de las cuencas del Litoral Pacífico, con un valor aproximado de 470442 has. El resultado del modelo predice que precisamente en estas zonas donde predominan este tipo de cobertura es donde mayores disminuciones se van a presentar en cuanto al aporte de agua, ya que en los ambientes boscosos, los suelos desarrollan una mayor capacidad de infiltrar y almacenar agua.

Es necesario resaltar la relación que tiene dicha cobertura con la disminución en el aporte de agua al cauce principal, y esto se debe a que este tipo de cobertura cumple con una serie de funciones protectoras y reguladoras de gran importancia. Entre ellas, la protección del suelo ante las precipitaciones, desfavoreciendo la escorrentía superficial y promoviendo la infiltración con lo cual se favorece la conservación de la humedad, captación y almacenamiento de agua, además de facilitar la percolación del agua al subsuelo y la recarga de los acuíferos. De lo anterior puede inferir que la mayor parte del agua que precipita se está quedando retenida en las zonas boscosas, donde una parte se queda retenida por las partículas de suelo y la que logra percolar al subsuelo es la que luego por gravedad desciende hasta las partes bajas aumentando el aporte de estas zonas y disminuyendo el aporte por parte de las zonas media y alta de algunas las cuencas, viéndose influenciada en mayor proporción las zonas de pendientes muy pronunciadas.

Cuencas que drenan al río Cauca:

En los anexos desde el Anexo 20 al Anexo 31, se observan las variaciones de la producción hídrica mes a mes para las cuencas que drenan al río Cauca, evidenciándose un aumento en cuanto a producción de agua de hasta 45, 30, 25 y 25.5 mm para los meses de marzo, agosto, mayo y octubre respectivamente, siendo estos meses característicos de temporadas de lluvia, excepto por el mes de agosto que pertenece a una época de baja precipitación. Por otro lado, se obtuvo una disminución de producción hasta de 68, 57 y 30 mm para los meses de Enero, Febrero y Septiembre respectivamente, siendo estos meses característicos de temporadas secas.

Según los resultados de la modelación con SWAT (ver Figura 24), las subzonas hidrográficas que presentaron una mayor disminución en el aporte anual son la subzona de los ríos Tuluá y Morales en la parte alta y media, la subzona de los ríos Amaime y Cerrito en la parte alta y la subzona de los ríos las cañas, los micos y Obando en la parte alta. Por otro lado, se presentó una disminución en el aporte pero en menor proporción, en la subzona del río Timba, la subzona de los ríos Claro y Jamundí, la subzona de los ríos Guachal, Bolo, Fraile y Párraga, la subzona de los ríos Lili, Meléndez, y Cañaveralejo, la subzona del río Cali y la subzona de los ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulalo, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras.

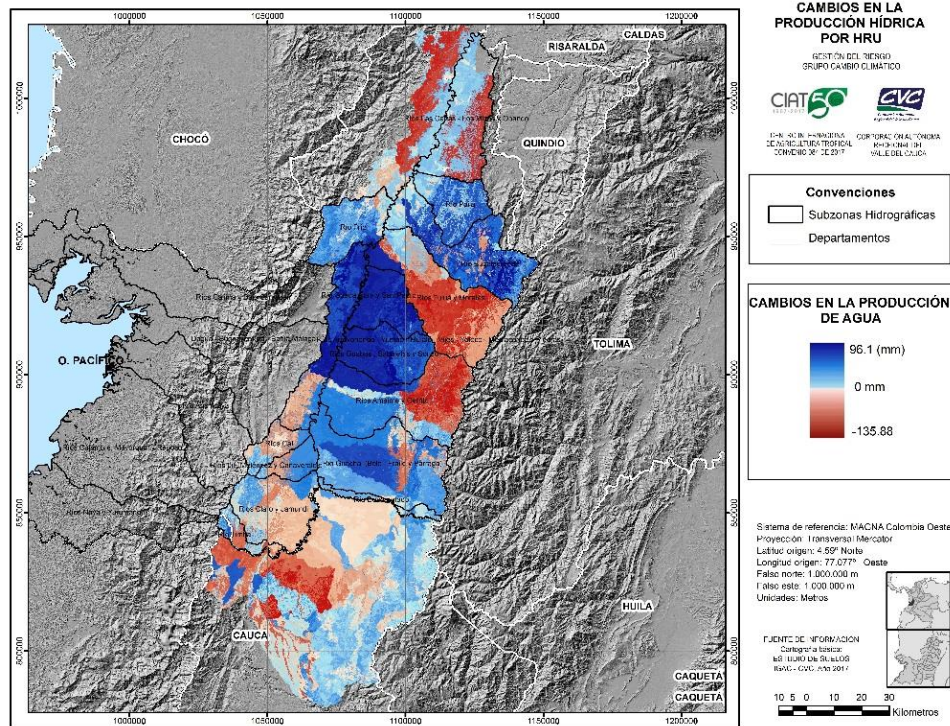


Figura 24. Cambio en producción hídrica anual por HRU previsto para las cuencas que drenan al río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la base de datos de cobertura de CORINE Land Cover del IDEAM, la cuenca del río Cauca cuenta con una variedad alta en cobertura, siendo los más representativos los pastos cultivados, la caña de azúcar, el bosque mixto denso alto de tierra firme, el misceláneo de cultivos y espacios naturales, y el arbustal y matorral denso alto de tierra firme con un 23%, 14%, 10%, 9% y 4% del área total de la cuenca respectivamente, donde las coberturas que componen el 40% restante pertenecen a diferentes cultivos (misceláneo de árboles frutales, bosque de guadua, misceláneos de pastos y cultivos, entre otros) representando cada uno de ellos menos del 1% del área total de la cuenca del río Cauca.

Los resultados del modelo indican que en las zonas donde se esperan las mayores disminuciones son lugares con las pendientes más pronunciadas, es decir, en las zonas por encima de los 1.200 m.s.n.m., con una alta densidad boscosa y de pastos cultivados, y suelos francos con una fuerte predominancia en arenas, y en algunos casos con presencia de gravas. Siendo esto, coherente con los resultados obtenidos para el Litoral Pacífico donde la relación de estos tipos de cobertura, suelo y pendientes fuertes promueven la infiltración y sobre todo la percolación, viéndose influenciado el aporte de caudal por parte de las zonas altas y medias con dichas características. Sin embargo existen lugares en este caso, donde se presentan pérdidas en una menor proporción en zonas con pendientes inferiores al 16% (por debajo de los 1.000 m.s.n.m.), donde predominan cultivos como el arroz, la caña, frutales, entre otros. Además, cuenta con suelos totalmente arcillosos,

siendo esta una zona característica de niveles altos de acuíferos con gradientes hidráulicos altos hacia los conos aluviales y muy bajos en las zonas próximas al río Cauca (Ríos & Vélez , 2008).

De lo anterior, se puede inferir que gran parte del agua que precipita desde la zona de ladera, que es la de mayor aporte para recarga de acuíferos, es almacenada en los acuíferos y debido a su bajo aporte por parte flujo subterráneo, superficial y lateral al cauce principal, el modelo predice que se presentarán pérdidas máximas hasta de 20 mm/año en estas zonas.

Parámetros que intervienen en el aporte de agua al caudal

Con el fin corroborar los resultados obtenidos y entender la dinámica hidrológica del modelo, se analizó el comportamiento de los parámetros que intervienen en el aporte de agua anual por HRU al cauce principal según el modelo SWAT ($WYELD = SURQ + LATQ + GWQ - TLOSS$), donde SURQ es la contribución generada por la escorrentía superficial desde la HRU (mm), LATQ es la contribución del flujo lateral al caudal en la cuenca (mm), GWQ es la contribución del agua subterránea al caudal en la cuenca (mm) y TLOSS son las pérdidas por transmisión, las cuales no son tenidas en cuenta por el modelo. Vale la pena aclarar que el comportamiento de la producción de agua de cada HRU se ve altamente influenciado por la interacción entre la pendiente, tipo de suelo y cobertura que son los que determinan la dinámica del agua en el suelo. Los cambios de cada uno de los parámetros debido al escenario de cambio climático planteado se encuentran representados espacialmente en la zona de estudio en la Figura 25 y Figura 26, para las cuencas del Litoral Pacífico y las cuencas que drenan al río Cauca, respectivamente.

CIAT 50 **CAMBIOS EN LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL APOORTE DE AGUA POR HRU** CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

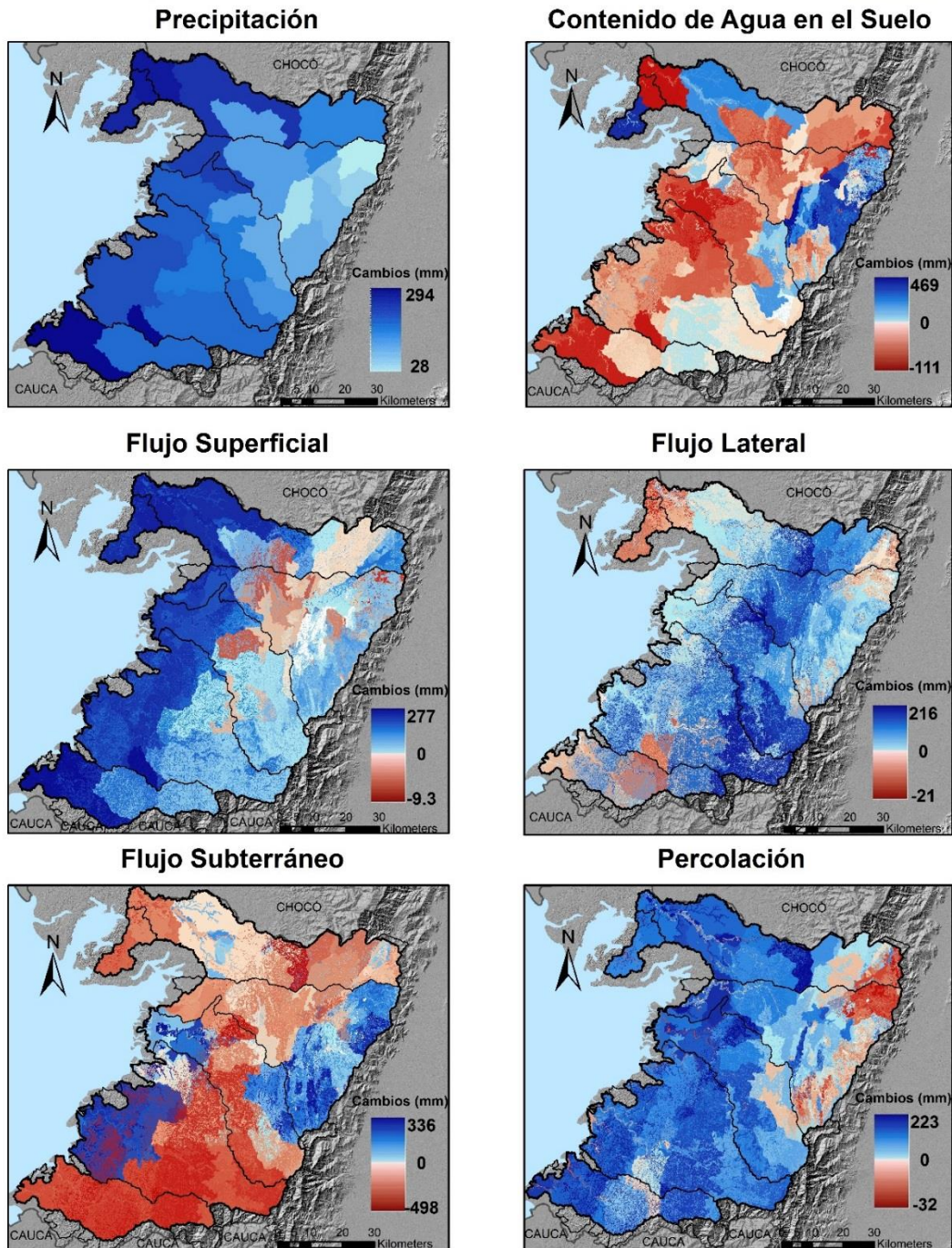


Figura 25. Parámetros que interviene en el aporte de agua por HRU anual para las cuencas del Litoral Pacífico.

Fuente: Elaboración propia.

CIAT 50 CAMBIOS EN LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL APOORTE DE AGUA POR HRU **CVC**
1967-2017

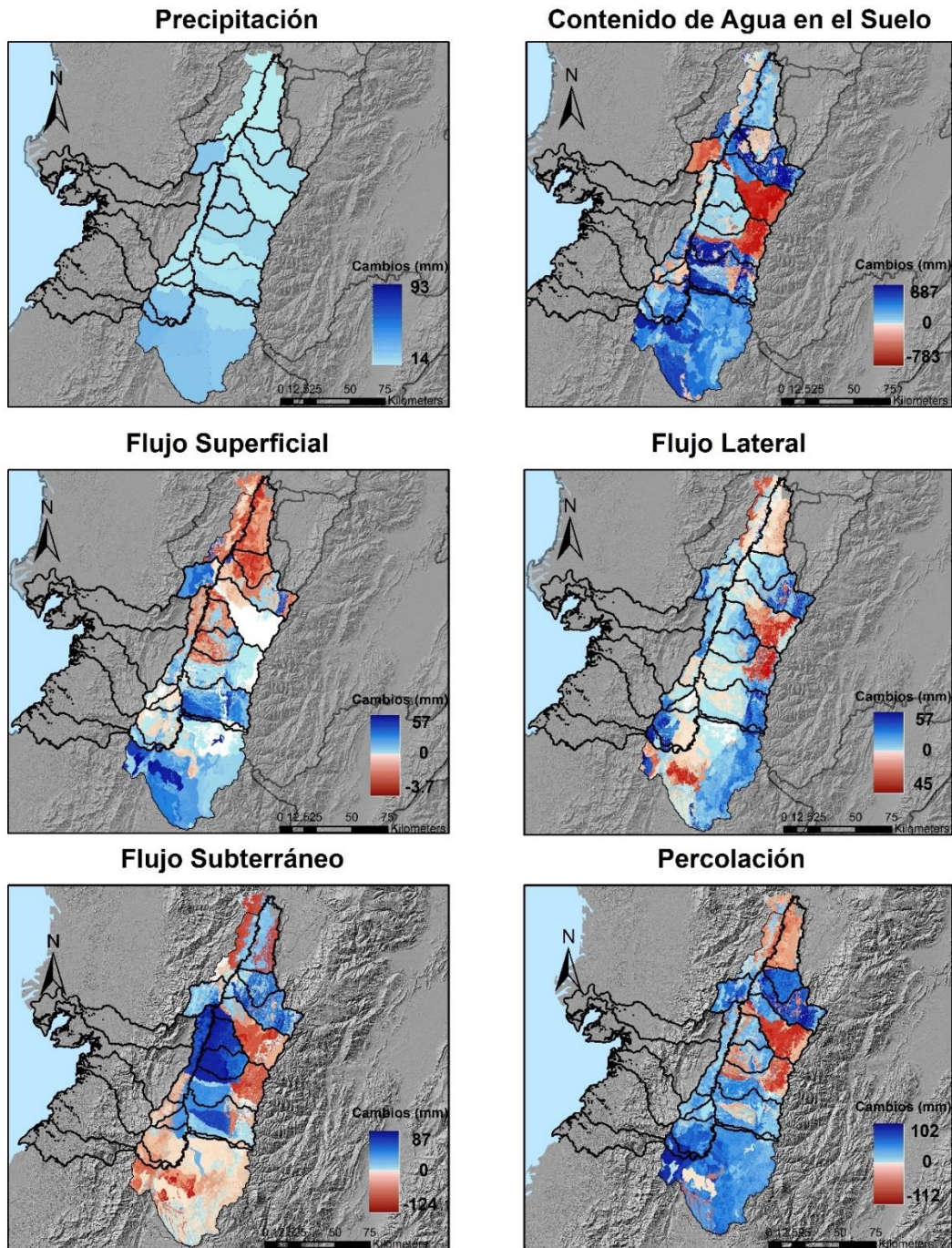


Figura 26. Parámetros que interviene en el aporte de agua por HRU anual para las cuencas que drenan al Río Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Figura 25 y Figura 26, y los cambios en producción de agua de cada una de las subzonas hidrográficas del Litoral Pacífico, se presenta a continuación a modo de resumen el efecto del escenario de cambio climático (RCP 4.5) proyectado para el año 2040 sobre cada una de estas. Vale la pena aclarar que en este caso para identificar las zonas de estudio, se utilizó la zonificación hidrográfica adoptada por IDEAM, esto con el fin de analizar la disponibilidad del recurso hídrico en cada una de las Subzonas hidrográficas.

Subzonas hidrográficas del Valle del Cauca

Subzona hidrográfica de los Ríos Calima y Bajo San Juan

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 32) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 33.8% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 20.787 mm/año y una ganancia total hasta de 13.291 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en el municipio de Calima (El Darién), siendo la cobertura de mayor predominancia el bosque mixto denso alto de tierra firme albergando hasta el 63% de área de la subzona, con pendientes entre el 33% y 99% y suelos muy heterogéneos donde texturalmente predominan las arcillas. Esta zona presentará una disminución en el aporte por parte del escurrimiento superficial por la gran presencia boscosa que tiene, además, se presentara una disminución en el contenido de agua en el suelo, debido a que la mayor parte del agua que se infiltra va a percolar y a llegar por efecto de la gravedad a las zonas más bajas, precisamente en la zona norte del municipio de Buenaventura, donde se presentaran las mayores ganancias. Aquí es importante mencionar que las ganancias en producción se evidenciaron en zonas con pendientes menores al 33%, con igual cobertura boscosa, lo que permite inferir que las disminuciones en este caso están altamente influenciada por la interacción bosque, pendiente y tipo de suelo.

Subzona hidrográfica Dagua, Buenaventura y Bahía Málaga

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 33) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 22% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 12.475 mm/año y una ganancia total hasta de 18.216 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron al norte del municipio de Dagua, y en una menor proporción al Suroccidente y norte de los municipios de Restrepo y la Cumbre respectivamente. Para esta zona las coberturas de mayor predominancia son el bosque mixto denso alto de tierra firme y los pastos cultivados albergando hasta el 44% y 30% del área total de la subzona respectivamente, además cuenta con suelos heterogéneos con un alto contenido de arcillas y con una representación grande de pendientes pronunciadas (33% - 99%) hasta del 42% del área total. Las pérdidas en este caso se localizan en zonas

boscosas y en algunos casos en zonas con pastos cultivados con pendientes mayores al 33%. En cuanto a las ganancias se dan en una mayor proporción en las zonas donde predominan los pastos cultivados de modo que en estas zonas se prevé que habrá un aumento en el aporte por parte del escurrimiento superficial y subterráneo en los municipios de Restrepo, La Cumbre, Vijes y el sur de Dagua, además de un aumento considerable en el contenido de agua en el suelo, ya que esta clase de cobertura favorece la infiltración, absorción y almacenamiento del agua; por esto, los pastos constituyen una de las mejores opciones para la protección de las cuencas hidrográficas. Vale la pena señalar que el municipio de Dagua es conocido por contar con serios problemas de erosión y compactación tanto por agricultura como por ganadería (IGAC, 2015), lo que incide negativamente en la retención de agua en los suelos y por ende en el aporte de agua subterránea viéndose reflejado en una disminución en la producción de agua (ver Figura 24), lo cual explica que por qué la mayor pérdida de producción se vea reflejado precisamente en zonas con pastos cultivados o suelos descubiertos que han sido sometidas a constantes acciones antrópicas.

Subzona hidrográfica del río Anchicaya

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 34) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 37% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 16.890 mm/año y una ganancia total hasta de 23.477 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en el Noroccidente del municipio de Buenaventura. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia es el bosque mixto denso alto de tierra firme y el Arbustal y matorral denso alto de tierra firme, albergando el 85% y 10% del área total de la subzona respectivamente, con una predominancia de dos tipos de suelo (MPAf y MUAf1) con un alto contenido de arcillas, además de una representación grande de pendientes pronunciadas (33% - 99%) hasta el 36% del área total. Esta zona presenta a simple vista una pérdida bastante representativa a lo largo de la parte alta y media de la cuenca en consecuencia a la alta presencia de bosque y su interacción con las pendientes tan pronunciadas, con los cual se espera un bajo aporte por parte de la escorrentía superficial y una disminución en el aporte por parte del agua subterránea, ya que gran parte del agua que se infiltra en el suelo, percola y desciende por gravedad hasta la zonas bajas de la cuenca, representándose un aumento en la producción en la Nororiente del municipio de Buenaventura, lo cual se puede corroborar observando la Figura 24. Así mismo, se espera un aumento en producción en la parte suroriente del municipio de Dagua de la zona que se encuentra en jurisdicción de la cuenca del río Anchicaya donde hay una alta presencia de bosque donde la mayor parte de la zona presenta pendientes menores al 33%.

Subzona hidrográfica de los Ríos Cajambre, Mayorquín y reposo

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 35) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 53% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 32.722 mm/año y una ganancia total hasta de 24.631 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron hacia el Occidente del municipio de Buenaventura, es decir en la zona alta y media de la cuenca. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia es el bosque mixto denso alto de tierra firme con un 92% del área total de la subzona, además cuenta con suelos muy heterogéneos con un alto contenido de arcillas, y una representación grande de pendientes pronunciadas (33% - 99%) hasta el 45% del área total. Esta zona será las más afectadas en cuanto a pérdidas en producción, debido a alta accidentalidad y a la gran presencia de la cobertura boscosa, ya que favorece la percolación del agua, la cual por efecto de la gravedad es depositada en la parte baja de la misma, donde precisamente la mayor contribución que se espera se debe precisamente al aporte por agua subterránea (ver Figura 24) del agua proveniente de la percolación de la parte alta y media de la zona.

Subzona hidrográfica de los Ríos Naya y Yurumanguí

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 36) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 62% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 20.661 mm/año y una ganancia total hasta de 10.006 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en el Suroccidente del municipio de Buenaventura. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia es el bosque mixto denso alto de tierra firme y el arbustal y matorral denso alto de tierra firme, albergando el 82% y 8.6% del área total de la subzona respectivamente, con una predominancia de tres tipos de suelo (MuAF1, LUBf y LUGf) con un alto contenido de arcillas y pendientes muy pronunciadas (33% - 99%) hasta 50% del área total, sobre todo en la parte alta y media. Para este caso según las predicciones del modelo se esperaría una disminución en la retención de agua a lo largo de la subzona, y por ende en el aporte por parte del agua subterránea. Por otra parte, se esperaría un aumento significativo de la percolación en la parte alta y baja de la cuenca, además de un aumento del flujo superficial sobre todo en la parte baja de la misma, debido a que el total del agua que escurre de la zona alta y media es depositada en la parte baja y gran parte de ella es aportada por esta como escorrentía superficial. Es importante resaltar que las pérdidas en esta zona están altamente influenciadas por la interacción cobertura boscosa, suelo y (Ríos & Vélez , 2008) fuertes (mayores al 33%), siendo este último uno de los parámetros con mayor predominancia en el aporte de agua al cauce principal.

Subzona hidrográfica de los Ríos las Cañas, los micos y Obando

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 37) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 32% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 2536 mm/año y una ganancia total hasta de 348 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron al oriente de los municipios de Obando y la Victoria, y al suroriente y nororiente de los municipios de Cartago y Zarzal respectivamente. Para esta zona las coberturas de mayor predominancia son los pastos cultivados, la asociación café-plátano y el sorgo, además cuenta con zonas de pendientes no tan pronunciadas (menores a 1650 ms.n.m.) y suelos franco arcilloso arenoso con un porcentaje de arenas mayor 50%. (MQLf3, MQFf2, LWAe2, LWBf3, MWEF2). Las disminuciones en estas zonas se ven altamente influenciadas por el tipo de suelo, debido a la alta permeabilidad y por ende una baja retención de agua y nutrientes que tienen los suelos con un alto contenido en arenas. En este caso se prevee según los resultados del modelo (ver Figura 26) una disminución en el aporte por parte del flujo superficial, flujo subterráneo y flujo lateral de estas zonas.

Subzona hidrográfica de los Ríos Tuluá y Morales

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 38) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 81% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 5.870 mm/año y una ganancia total hasta de 2.351 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en la parte alta y media del municipio de Buga, oriente y suroriente de los municipios de San Pedro y Tuluá respectivamente. Para esta zona las coberturas de mayor predominancia son los pastos cultivados, el bosque mixto denso alto de tierra firme, y herbazal natural denso no arbolados, además cuenta con zonas con pendientes muy pronunciadas (por encima de 2.000 ms.n.m.) y suelos muy heterogéneos pero con mayor predominancia de los suelos de textura franco arenosa. En este caso la interacción tipo de suelo, cobertura y pendiente tiene una gran influencia en las disminuciones previstas para estas zonas, debido a que el cultivo de mayor predominancia son los pastos cultivados y estos al promover la infiltración y además de contar con suelos con muy baja retención del agua, esta percola hasta llegar a zonas de pie de monte o bajas del valle, las cuales se verán beneficiadas sobre todo en la recarga de acuíferos (ver Figura 26). Según los resultados del modelo se prevé una disminución en la retención de agua, en el aporte por parte del flujo subterráneo y flujo lateral en estas zonas.

Subzona hidrográfica de los Ríos Amaime y Cerrito

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 39) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 42% del área total de la cuenca con una

pérdida total de hasta 6.972 mm/año y una ganancia total hasta de 2.701 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en el nororiente de los municipios de Palmira y el Cerrito. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia son los pastos cultivados, el bosque mixto denso alto de tierra firme y el arbustal y matorral denso alto de tierra firme, con suelos de textura franco arenosos con un contenido considerable de gravas en algunas zonas. En este caso se observa la gran influencia que tiene el tipo de suelo en la disminución en el aporte de agua al cauce principal, debido a las grandes pérdidas que se producen por percolación en estas zonas. Según los resultados del modelo se prevé una disminución en el aporte por parte del flujo subterráneo y lateral, lo cual se verá reflejado en una disminución en retención de agua del suelo. Por otra parte se espera un aumento en el aporte por parte del flujo superficial en esa zona.

Subzona hidrográfica de los Ríos Guachal, Bolo, Faile y Párraga

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 40) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 15% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 839 mm/año y una ganancia total hasta de 1.905 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en el norte del municipio de Florida y en la parte media y alta del municipio de Pradera. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia es la caña, los pastos cultivados y el bosque denso mixto alto de tierra firme, con suelos muy heterogéneos con mayor presencia de suelos de textura franco arcilloso arenoso con un contenido bajo de gravas en algunas zonas. En este caso se puede observar que las pérdidas se ven altamente influenciadas por el tipo de suelo y su interacción con la cobertura y la pendiente. Según el resultado del modelo se prevé un aumento en de la percolación y en el aporte por parte del agua superficial, por otro lado se espera una disminución en el aporte por parte del flujo subterráneo y del contenido de agua en el suelo (ver Figura 26).

Subzona hidrográfica de los Ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Mediacanoa y Piedras

Esta subzona hidrográfica (ver Anexo 41) presentó según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 24% del área total de la cuenca con una pérdida total de hasta 1.083 mm/año y una ganancia total hasta de 5.114 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en la parte alta del municipio de Yumbo. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia son los pastos cultivados y además cuenta con una presencia alta de suelos con textura franco arcillosa. En este caso se observa una alta influencia por parte de la interacción cobertura, tipo de suelo y pendiente en la disminución en el aporte de agua al caudal. Vale la pena aclarar que la pérdida de agua en esta zona se puede asociar a una alta retención de agua en la zona de ladera, debido al alto contenido de arcillas de estos suelos, además de que los cultivos de esta zona facilitan la infiltración. Según los resultados del modelo se prevé una disminución en el aporte por

parte del agua subterránea y un aumento por parte del flujo superficial, del contenido de agua en el suelo y de la percolación (ver Figura 26).

Subzona hidrográfica de los Ríos Cali, Lili, Meléndez y Cañaveralejo

Estas subzonas hidrográficas (ver Anexo 42 y Anexo 43) presentaron según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 57% y 27% en la subzona del río Cali y la subzona de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo del área total de la cuenca respectivamente, con una pérdida total de hasta 314 y 210 mm/año y una ganancia total hasta de 2.959 y 419 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en la parte occidente del municipio de Cali en zonas por encima de los 1.000 m.s.n.m.. Para esta zona la cobertura de mayor predominancia son los pastos cultivados y el bosque mixto denso alto de tierra firme, con una presencia alta de suelos con textura franco arcillosa. En este caso se observa la gran influencia que tiene la cobertura de pastos cultivados, el tipo de suelo y las pendientes altas en la disminución del aporte de agua al caudal. Según los resultados obtenidos por el modelo se prevé un aumento en la percolación y una disminución en el contenido de agua en el suelo y en el aporte por parte del flujo subterráneo (ver Figura 26)

Subzona hidrográfica de los Ríos Claro, Jamundí y Timba

Estas subzonas hidrográficas (ver Anexo 44 y Anexo 45) presentaron según la predicción del modelo una disminución en la producción de agua hasta del 63% y 27% en la subzona de los ríos Claro y Jamundí y la subzona del río Timba del área total de la cuenca respectivamente, con una pérdida total de hasta 1.787 y 1.755 mm/año y una ganancia total hasta de 915 y 1.048 mm/año, donde las mayores disminuciones se presentaron en oriente del municipio de Jamundí. Esta es una zona muy heterogénea en cuanto a cobertura, siendo la de mayor predominancia el cultivo de caña y los pastos cultivados, con una presencia alta de suelos con textura arcillosa. En ese caso se puede observar la gran influencia que tiene los acuíferos en el almacenamiento de agua, afectando directamente al aporte por parte de flujo subterráneo y lateral, debido al bajo gradiente hidráulico que se presenta en las zonas aledañas al río Cauca. En este caso se prevé un aumento en la percolación y en el contenido de agua en el suelo y una disminución en cuanto al aporte por parte del flujo lateral y superficial.



Análisis de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico frente al Cambio Climático en el Valle del Cauca

Marco metodológico

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), es hoy en día el organismo más representativo en materia de cambio climático. Sus aportes metodológicos, los escenarios de cambio climático y las discusiones teóricas, han aportado significativamente a los territorios e investigadores en el entendimiento de los impactos del cambio climático.

La vulnerabilidad al cambio climático es un concepto de gran relevancia debido a que se constituye como una herramienta para evaluar el carácter, la severidad y el alcance de los efectos adversos que puede acarrear el cambio climático, estos se pueden focalizar en lugares de especial interés de acuerdo al elemento expuesto que se requiera analizar. Por lo tanto se pueden realzar los esfuerzos de adaptación en base al territorio, en su entorno social, político, económico y cultural.

Los conceptos que estructuran el término de vulnerabilidad al cambio climático han sido definidos por el IPCC (2007):

Vulnerabilidad: se define como el grado al cual un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático o tiene una capacidad limitada de hacerles frente, incluyendo la variabilidad climática y los extremos climáticos.

Exposición: es entendida como el carácter o el grado en el que un elemento está expuesto a las adversidades del clima.

Sensibilidad: es comprendido como el grado en que los efectos del clima afectan un sistema, dicha afectación puede ser beneficiosa o adversa.

Capacidad adaptativa: se define como la habilidad de un sistema para ajustarse al cambio climático y lograr que los cambios potenciales sean moderados, aprovechar las oportunidades emergentes o afrontar las consecuencias.

Adaptación: es entendida como la capacidad de los sistemas naturales o humanos a asumir los estímulos climáticos reales o esperados y a sus efectos, dicha capacidad mitiga el daño o aprovecha las oportunidades.

Para establecer las relaciones entre los elementos que definen la vulnerabilidad, algunos investigadores han optado por el uso de una ecuación basada en los lineamientos del IPCC, aquella que permite generar un indicador de vulnerabilidad:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad adaptativa}$$

Siguiendo la ecuación anterior, se han realizado análisis de vulnerabilidad en varias regiones del mundo. Sin embargo, la manera como el investigador interpreta los elementos de la relación hace que cada análisis sea muy particular.

Proceso metodológico

Para entender la vulnerabilidad en el componente de recurso hídrico se consideró la sensibilidad como el nivel de cambio que tendría cada una de las unidades de respuesta hidrológica (URH) dados los efectos del cambio al año 2040, estos cambios se pueden interpretar en términos de mm de agua, o cambios porcentuales.

La capacidad de adaptación se construyó a partir de un análisis estadístico de cuatro variables consideradas como determinantes a la hora de medir la resiliencia ambiental del territorio frente a los efectos del cambio climático.

A continuación, se presenta el proceso metodológico para la construcción de la capacidad de adaptación:

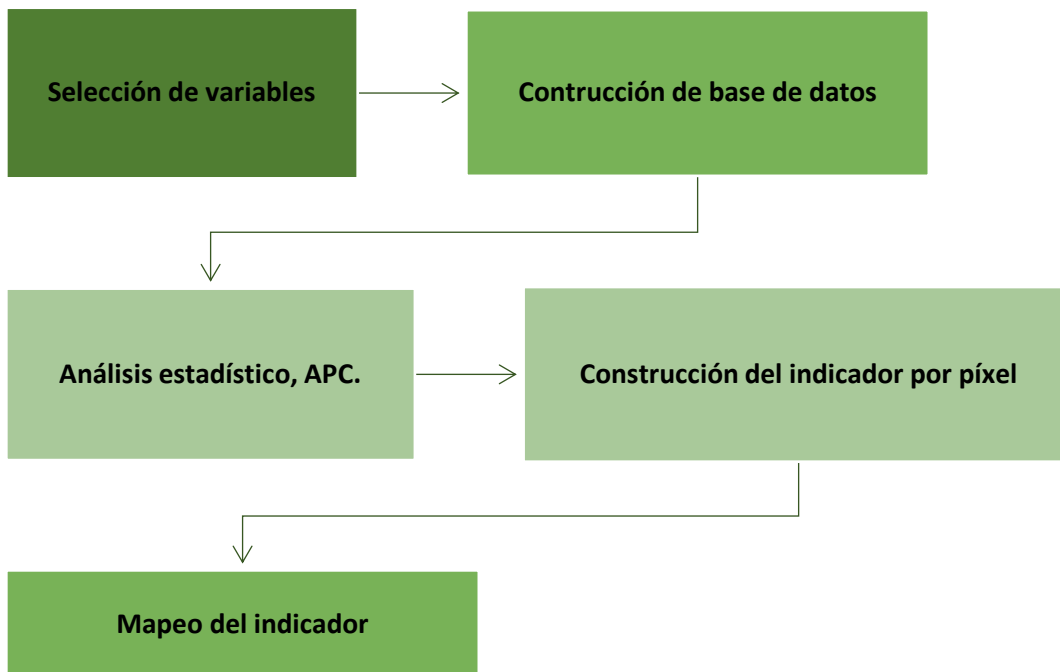


Figura 27. Proceso metodológico para la construcción del indicador de capacidad de adaptación.

Fuente: Elaboración propia.

Selección de variables:

Se tuvieron en cuenta 4 variables de importancia ambiental, las cuales pueden determinar el grado de adaptación ambiental por píxel.

- Grado de erosión de suelos: Este mapa fue construido por IDEAM en 2015, y es con base en información de línea base 2010-2011, el mapa se denomina: *zonificación de la degradación de suelos por erosión. área continental de Colombia. escala 1:100.000*. Las categorías de erosión que se consideran este mapa son: sin evidencia, ligera, moderada, severa y muy severa.
- Áreas de protección y manejo ambiental: este mapa fue construido mediante la unión de diferentes mapas que tienen figuras de protección ambiental, entre los cuales se encuentra: Distritos de manejo integrado, distritos de conservación de suelos, distritos regionales de manejo integrado, parque natural regional, parques nacionales naturales, reserva forestal protectora nacional, reserva forestal protectora regional y reservas naturales de la sociedad civil.
- Demanda hídrica: dicho mapa fue construido por IDEAM, y se denomina: *Demanda hídrica nacional, suzonas hidrográficas. Estudio nacional del agua, 2010*. Esta información asigna 10 rangos, que van desde: <20 millones de M3, hasta, >1000 millones de M3.
- Bosque: El mapa de bosque / no bosque fue desarrollado por CIAT, con una resolución de 30 mts, mediante el uso de imágenes Landsat 5-8, en el periodo de 2006 a 2016.

Construcción de bases de datos

Mediante los software R y ArcGis se hicieron las uniones de los cuatro mapas, a la resolución del raster de bosque / no bosque, es decir 30 m, posteriormente se hizo una ampliación de la resolución x4, que facilitara su procesamiento, finalmente se obtuvo una base de datos con aproximadamente 500.000 datos/píxeles con coordenadas planas, donde cada uno representa 4 hectáreas.

Análisis estadístico, ACP.

Teniendo en cuenta que la base quedó configurada con 4 variables cualitativas, para el análisis de los datos se utiliza un método denominado Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM), el cual permite identificar los componentes principales de la relación entre las categorías de las variables, evidenciando cuáles de ellas explican con mayor peso relativo la varianza de los datos, es decir, la identificación de aquellas variables y categorías que generan una diferenciación mayor entre los píxeles. Según (Becerra, 2010), los primeros componentes principales generalmente definen el índice sintético, sin embargo, sus valores deben ser re escalados en intervalos positivos, ya sea de 0 a 1, o de 0 a 100.

Construcción del indicador por pixel

Para la construcción del indicador para cada uno de los pixeles se recurrió a la metodología de re escalamiento y transformación lineal sugerida por (Becerra, 2010), la cual se describe a continuación:

La primera componente principal, se puede expresar por ejemplo, en una escala de 0 a 1, por medio de la siguiente transformación lineal:

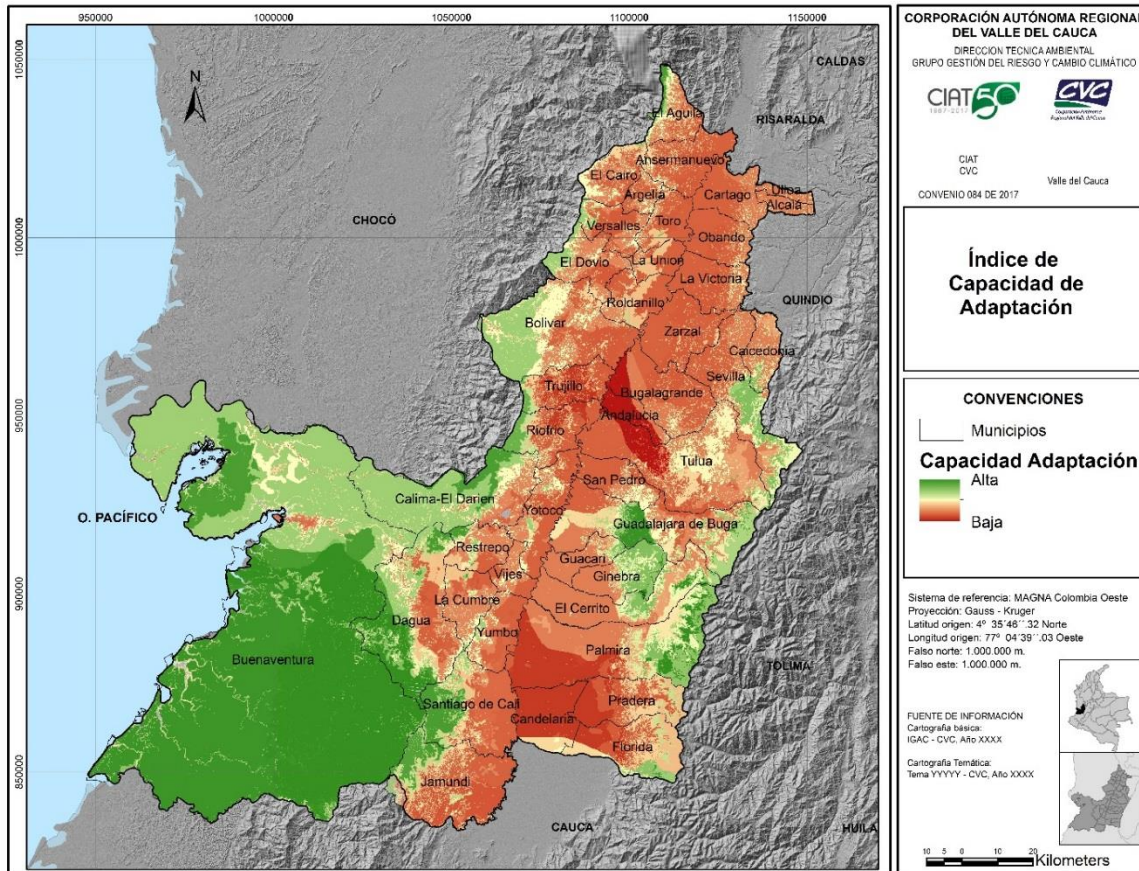
$$\text{Índice}(i) = aF_1(i) + b$$

Donde

- $F_1(i) = \sum_{j \in J, k \in K} a_{kj} X_{ikj}$ es la primera componente principal
- $a = \frac{1}{\text{máx}(F_1(i)) - \text{mín}(F_1(i))}$
- $b = -a * \text{mín}(F_1(i))$

Mapeo del indicador

El mapeo del indicador se hizo a través de ArcGis 10.5, re-configurándose la escala de colores para cada uno de los valores obtenidos para los pixeles.

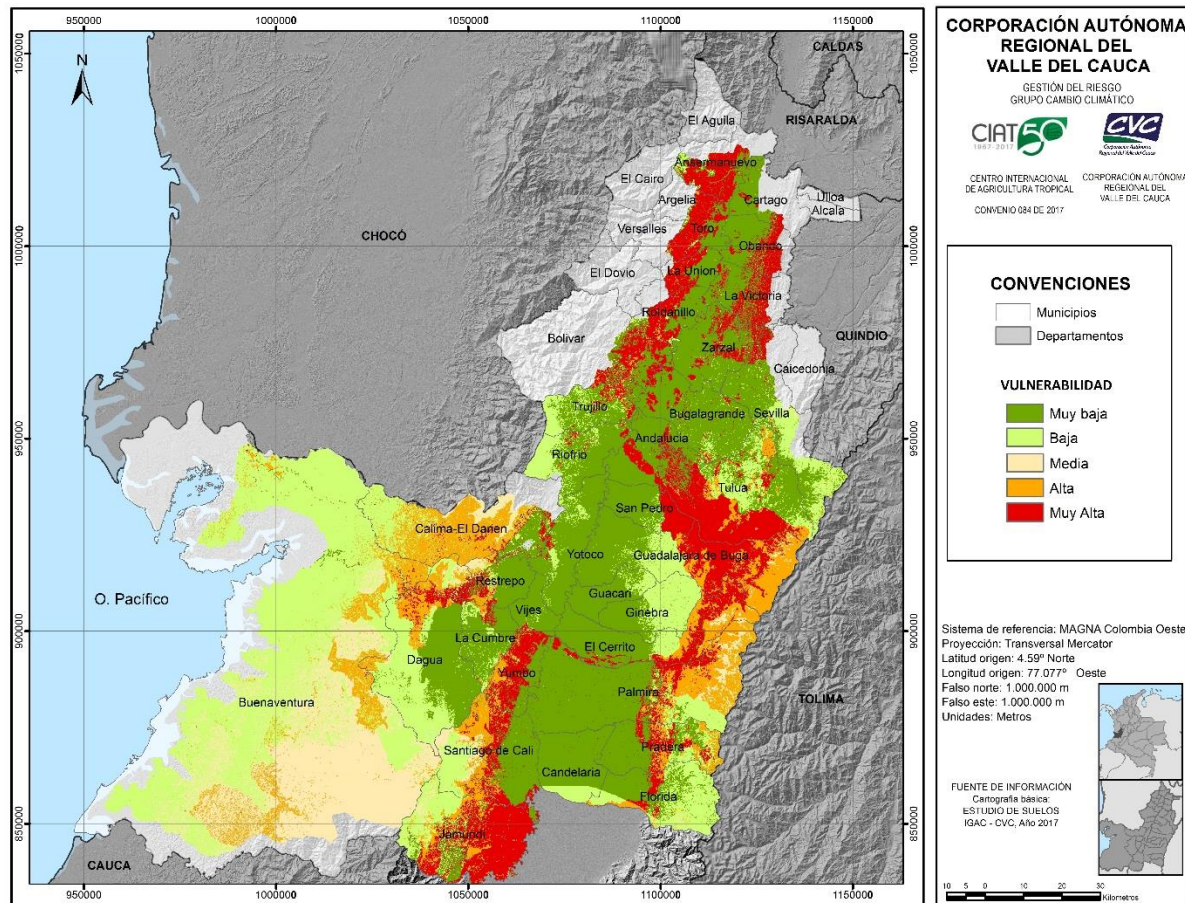


Mapa 7. Indicador de capacidad de adaptación a partir de variables de erosión, áreas protegidas, bosques y demanda hídrica total.

Fuente: Elaboración propia.

Como era de esperarse, el índice de capacidad de adaptación es consistente en sus valores. Las zonas donde hay más cobertura boscosa, menor erosión, áreas protegidas y baja demanda de recurso hídrico, son zonas con alta capacidad de adaptación, caso contrario ocurre en las zonas en donde hay baja cobertura boscosa, alta erosión, ausencia de áreas protegidas y alta demanda de recurso hídrico, estas áreas son más comunes en la zona plana asociada a la cuenca del río cauca.

A partir del Mapa 7 y teniendo como referencia los impactos en los recursos hídricos y en los ecosistemas de páramos en el departamento del Valle del Cauca, se generan unos mapas de vulnerabilidad por cada uno de los sectores evaluados que se muestran a continuación.



Mapa 8. Vulnerabilidad del recurso hídrico.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico ante el escenario de cambio climático modelado para el departamento del Valle del Cauca, se presenta una muy alta vulnerabilidad hacia el sur del departamento en el municipio de Jamundí en la subzona hidrográfica de los Ríos Claro y Jamundí, y en parte de la ciudad de Cali en un segmento de la cuenca del río Cal, Lili, Meléndez y Cañaveralejo, por otro lado en los municipios que ocupan la parte baja de la cordillera central entre los que se destacan Florida, Pradera, Palmira, El Cerrito, Buga y Tuluá presenta una vulnerabilidad alta y muy alta en las subzonas hidrográficas de los ríos Guachal (Bolo, Fraile y Párraga), ríos Amaime y Cerrito y ríos Tuluá y Morales.

En el norte del departamento en los municipios de Trujillo, Bolívar, Roldanillo, La Unión, Toro y Ansermanuevo predomina la categoría de vulnerabilidad “muy alta”, específicamente en la subzona hidrográfica perteneciente a los ríos Pescador, RUT, Chanco, Catarina y Cañaveralejo.

En el valle geográfico del departamento predomina la vulnerabilidad baja y muy baja, con algunas excepciones en los municipios de Tuluá, Buga, Andalucía, San Pedro y El Cerrito.



Al Oeste del departamento, en el margen izquierdo de la cordillera occidental denota una tendencia a la baja vulnerabilidad, con excepción de la subzona hidrográfica del río Dagua que presenta variaciones entre vulnerabilidad media, alta y muy alta, en parte de la subzona que corresponde a los municipios de Restrepo, La Cumbre, Dagua y Buenaventura.

En el municipio de Buenaventura predomina la baja vulnerabilidad con excepción de las zonas altas de las subzonas hidrográficas de los ríos Cajambre, Mayorquín, Reposo, Naya, y Yurumanguí.



Análisis de Sensibilidad del Ecosistema de páramo frente al Cambio Climático en el Valle del Cauca

Contexto resumido

Las proyecciones a escala global apuntan a que el cambio climático hará que aumenten los riesgos conexos al clima existente y se generen nuevos riesgos para los sistemas naturales. De acuerdo al escenario de emisiones RCP4.5, un aumento estimado de 538 ppm en la concentración de CO₂, derivado principalmente de actividades antrópicas (sobrepoblación, cambio de uso del suelo, prácticas económicas), causará un aumento de la temperatura media global para el periodo 2016 - 2035 en un rango entre 0.3° C a 0.7° C (IPCC, 2013). En cuanto a los cambios de precipitación, las zonas latitudinales altas en la región pacífica tropical podrían presenciar un aumento en la precipitación media anual en el escenario más pesimista (RCP 8.5).

Los riesgos de los impactos relacionados con el clima resultan de la interacción de los eventos climáticos aleatorios junto a la vulnerabilidad, la exposición a actividades humanas y sistemas naturales, incluyendo la habilidad de adaptación tanto de los organismos como de las comunidades biológica y sistemas naturales (ecosistemas, biomas y áreas biogeográficas (IPCC, 2014).

La medición de los impactos a una escala de análisis fina (especie) frente a una más gruesa (ecosistema) puede verse estrechamente relacionada permitiendo en algunos casos su comparación. En la medida que la distribución geográfica actual de los ecosistemas sea equivalente a la distribución de los taxones independientes, este constituye un buen acercamiento a la distribución climática de los hábitats aptos para las especies o nicho climático. Bajo esta afirmación, se hace la asunción que en los modelos climáticos de los ecosistemas hay una estabilidad en las relaciones interespecíficas, lo cual es invalidado en escenarios climáticos futuros mientras no sea posible integrar variables bióticas en los procesos de modelación (Wang, et al., 2012)

Un gran número de especies se han extinto debido al riesgo relacionado al cambio climático en este siglo, especialmente cuando este fenómeno interactúa con otros estresores (IPCC, 2014). Esto debido a que se reconoce que las distribuciones de especies y comunidades están fuertemente determinadas por las condiciones climáticas bajo las cuales se han desarrollado (Trejo, et al., 2011). Por lo que algunos autores relacionan la “iniciación biológica” a la “sexta extinción masiva”, sustentado en la acelerada tasa de extinción de las especies y la desaparición de las poblaciones una vez sus rangos altitudinales son modificados (Ceballos, Ehrlich, & Dirzo, 2017). De esta manera, cada grado centígrado de cambio en la temperatura equivale al desplazamiento de las zonas ecológicas (ecosistemas, eco-región) y especies en cerca de 160 km, lo cual podría alcanzar hasta 500 km latitudinales (o 500 m altitudinales) en el siguiente siglo (Thuiller, 2007) (Figura 28).

Colombia posee uno de los patrimonios naturales más ricos de la Tierra, dado que alberga alrededor del 15% de la totalidad de las especies de flora y fauna conocidas y está catalogada, después de Brasil e Indonesia como la tercera nación con mayor biodiversidad

del mundo (Castro-Herrera & Bolívar-García, 2010). Por la alta riqueza, abundancia y endemismo de especies, la región tropical es altamente vulnerable al cambio climático (IPCC, 2014). Esto toma mayor importancia al conocer que entre el 25 y el 50% de las especies de la región son endémicas y que en consecuencia son más susceptibles a los efectos del cambio climático.

Adicionalmente, el cambio climático podría afectar el desarrollo, fisiología y comportamiento durante la fase de crecimiento, reproducción y migración. A nivel poblacional, se prevé que la modificación de los patrones de precipitación y el aumento de temperatura afecten la distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunas especies. Lo anterior, sumado a los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico, podría afectar las interacciones entre las especies, los ciclos de nutrientes y el funcionamiento, estructura y distribución de los ecosistemas. Lo que tendría como consecuencia la alteración en los flujos y calidad de los servicios ecosistémicos (Uribe-Botero, 2015).

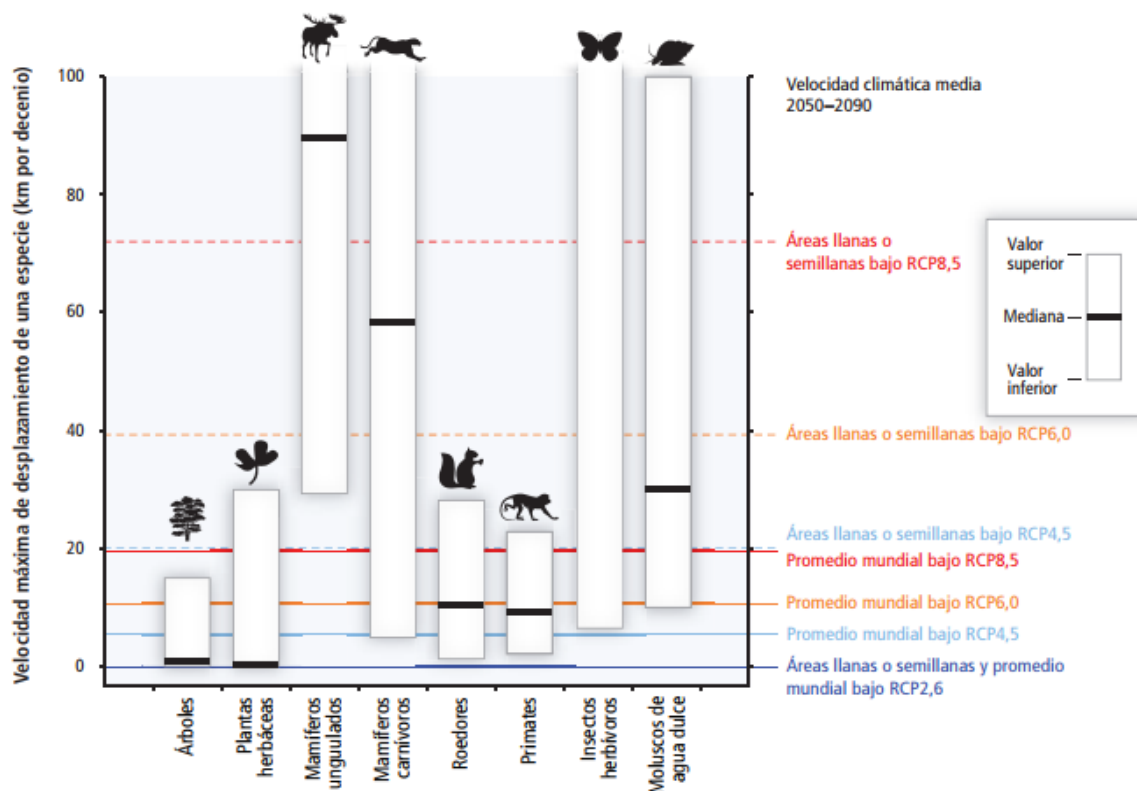


Figura 28. Velocidades máximas a las que se pueden desplazar las especies a través de los paisajes en comparación con las velocidades a las que se proyecta que las temperaturas avancen a través de los paisajes. Las columnas blancas con listones negros indican rangos y medianas de velocidades de desplazamiento máximo para los árboles, mamíferos, insectos herbívoros y moluscos de agua dulce. Respecto a los escenarios RCP 2.6, RCP4.5 y RCP8.5 para 2050-2090, las líneas horizontales muestran la velocidad climática para el promedio de las áreas terrestres globales y para las grandes regiones llanas o semillanas. Se prevé que

las especies que estén bajo las distintas líneas no serán capaces de seguir el ritmo del calentamiento global.

Fuente: IPCC, 2014.

Entre los principales impactos del cambio climático sobre la biodiversidad se encuentra la afectación de la dinámica de poblaciones que habitan ecosistemas de alta montaña (Uribe-Botero, 2015). Los ecosistemas de alta montaña, entre los cuales se incluye el subpáramo altoandino, el páramo propiamente dicho y el superpáramo (Cuatrecasas, 1958), se encuentran localizados en una de las regiones ecológicas más vulnerables de la Tierra frente al cambio climático (Madriñán, Cortés, & Richardson, 2013). Con una alta heterogeneidad de paisajes a través de una escala espacial relativamente corta, alta diversidad y endemismo, que constituye un centro de especiación a nivel mundial y un reducido rango de hogar en muchas especies, hace de esta zona especialmente propensa a la extinción_ (Cortés-Duque & Sarmiento-, 2013) (Herzog, Martinez, Jorgensen, & Tiessen, 2011). La alta vulnerabilidad de las especies y ecosistemas terrestres de alta montaña es debido a la imposibilidad de dispersarse (flora) y desplazarse (fauna) a zonas más altas. Asimismo los efectos de los cambios en el clima se prevén más pronunciados y negativos a alturas superiores (Thuiller, 2007).

Colombia es considerada como el país núcleo de los páramos debido a que posee la mitad de la superficie de estos ecosistemas a nivel mundial, que albergan una enorme y singular diversidad biológica, además de la heterogeneidad, que se encuentra distribuida en las tres cordilleras (Cleef, 2013). La vulnerabilidad alta de los ecosistemas de páramo trasciende al reconocer los bienes y servicios ambientales proveídos al hombre. Una de las funciones más importantes que cumplen es la regulación del ciclo del agua de la naturaleza, son también un centro de captura de carbono orgánico y permiten la absorción de gran cantidad de agua proveniente de las lluvias, por lo que los suelos actúan como una “esponja” (Hofstede, et al., 2014).

Específicamente, el ecosistema de páramo cuentan con aproximadamente 3.379 especies de plantas; 70 especies de mamíferos, 154 especies de aves y 90 especies de anfibios (Cabrera & Ramírez, 2014). Esta presencia de un gran número de especies –muchas de ellas únicas- se debe en gran medida a que el área en el que se distribuyen los organismos está determinado por su historia ecológica y evolutiva (León, Oca, & Carbajal, 2010). En donde los factores más relevante que suelen determinar dichas distribución son los límites de tolerancia de las especies – asociadas condiciones abióticas-, sus interacciones con otros organismos, su potencial de dispersión y colonización dentro de un período de tiempo determinado, características ampliamente variables en todos los organismos (Barve, et al., 2011).

En términos generales se espera que el cambio climático induzca cambios en la distribución geográfica de las especies a medida que estas rastrean su hábitat óptimo, el cual probablemente cambiará como resultado de la reorganización de las zonas climáticas

(Velásquez-Tibatá, Salaman, & Graham, 2013) (Colwell, Brehm, Cardelus, Gilman, & Longino, 2008); (Chen, Jane K. Hill, Roy, & Thomas, 2011). Para el caso específico de las especies de alta montaña de los Andes Tropicales se espera que el calentamiento global fuerce a las especies a migrar hacia elevaciones más altas, en algunos casos causando cambios drásticos en la extensión del hábitat disponible, y aumentando su probabilidad de extinción (Velo-Antón, Parra, Parra-Olea, & Zamudio, 2013).

Es reconocido que los sistemas de páramos han variado históricamente su cobertura espacial en una dinámica compleja determinada principalmente por los cambios de temperatura en el límite inferior y superior de los páramos, las variaciones en la precipitación, el CO₂ disponible para las especies y los sucesos geológicos pasados (Hooghiemstra & Van der Hammen, Quaternary Ice-Age dynamics in the Colombian Andes: developing an understanding of our legacy, 2004). En el periodo cuaternario y en la última máxima glaciación, la comunidad de especies vegetales que se establecieron, definitivamente o temporalmente en el cinturón paramuno, atravesaron por al menos 10 ciclos de glaciación-interglaciación, donde las condiciones bajas de temperatura y una baja concentración de CO₂ beneficiaron a especies vegetales con metabolismo C₄ que se encontraban hasta los 3.500 m de elevación. Dichas especies tienen una ventaja competitiva en condiciones secas con baja concentración atmosférica CO₂, aunque las plantas C₄, en promedio, necesitan temperaturas altas para un metabolismo óptimo. Sin embargo, el aumento de CO₂ en tiempos posteriores, llevaron a una composición vegetal actual dominada por especies con metabolismo C₃ junto a pequeños relictos históricos de especies C₄ (Hooghiemstra & Van der Hammen, Quaternary Ice-Age dynamics in the Colombian Andes: developing an understanding of our legacy, 2004).

Ya que la evidencia de la existencia de los páramos data en un tiempo geológico posterior al Pleistoceno tardío (<5 Ma) (Hooghiemstra, Wijninga, & Cleef, 2006) este constituye una formación relativamente joven pero con un alto grado de especiación, lo que comprende una dinámica temporal-espacial compleja, que bajo las condiciones antrópicas recientes podría encontrarse en alta amenaza. Una de las salientes biofísicas por tener en cuenta para la reconstrucción geográfica del páramo es la temperatura promedio del mes más frío, pues permite explicar la distribución vertical de la vegetación paramuna que en un pasado estuvo expuesta a heladas nocturnas determinantes en la configuración paisajística (Hooghiemstra & Van der Hammen, Quaternary Ice-Age dynamics in the Colombian Andes: developing an understanding of our legacy, 2004).

Las especies de plantas que se encuentran en los páramos son endémicas de este ecosistema, con adaptaciones que están relacionadas a la forma de crecimiento, las características de las hojas, raíces, tallos, y estrategias reproductivas (Madrrián, Cortés, & Richardson, 2013). Puede destacarse que el 90% de la flora que se encuentra en los ecosistemas de páramos es endémica y el 8% del total de endemismos de la flora nacional se encuentra en estos ecosistemas (Ospina & Rodríguez, 2011). Se dice que en escenarios de aumento de la temperatura las especies de formas de vida arbórea pueden ocupar el

páramo; sin embargo, lo que estamos viendo actualmente es un aumento de las invasiones de especies de plantas arbustivas, que se están desplazando desde hace mucho tiempo en el gradiente altitudinal (Ríos, 2013).

En el caso de las aves de alta montaña, el aumento en la temperatura podría provocar cambios en los rangos de elevación ocupado por la especie, debido a que en su gran mayoría se verán forzadas a migrar a mayores altitudes, lo cual implica menores áreas disponibles de ocupación y una posibilidad fintita de dispersión altitudinal, ocasionando extinciones locales (Velásquez-Tibatá, Salaman, & Graham, 2013). Adicionalmente, las aves de alta montaña se caracterizan por su sedentarismo y nichos climáticos restringidos, lo cual limita su dispersión (Uribe-Botero, 2015).

Por otro lado, la atención mundial se ha enfocado recientemente en lo anfibios debido a que sus poblaciones están disminuyendo en todo el mundo (Donnelly & Crump, 1998). Las especies de este grupo son considerados altamente sensibles a las variaciones ambientales de sus entornos (Juan G. Cadavid & Gómez, 2005); (Dolgener, Freudenberger, Schneeweiss, Ibisch, & Tiedemann, 2014) debido a que la temperatura y humedad ambiental actúan como factores de control para muchos procesos fisiológicos, incluyendo las tasas de consumo de oxígeno, la frecuencia cardiaca, la locomoción, el balance de agua y la digestión, además, los anfibios son organismos ecológicamente especializados con baja capacidad de dispersión (Uribe-Botero, 2015); (G.R.Giovanelli, Siqueira, F.B.Haddad, & Alexandrino, 2010).

De igual manera, la gran vulnerabilidad de los anfibios en alta montaña es aludida especialmente a la incidencia y éxito del hongo quitrídico (*Batrachochytrium dendrobatidis*) en zonas altoandinas (Pounds, et al., 2006) el cual está ligado al aumento de la mortalidad y disminución de las poblaciones de anfibios en tierras altas o durante el invierno llevando a la extinción local, por lo que este patógeno es considerado una de las amenazas principales para los anfibios en la región Andina (Cordillera Occidental en el Valle del Cauca) y en Colombia (Velasquez, Rada, Sanchez , & Acosta, 2007) & (Ruiz & Rueda-Almoacid, 2008)

La respuesta de los mamíferos es aún más compleja y variable, pues gracias a su capacidad fisiológica de controlar la temperatura interna (homeotermia), rangos de hogar amplios y plasticidad ecológica ante la modificación de su hábitat, podrían presentar ventajas en la adaptación al cambio climático. Sin embargo, ya que el cambio de los patrones de precipitación influye en la fenología de las plantas, y por tanto en la disponibilidad de alimento, solo las especies ecológicamente flexibles en la búsqueda y consumo de recurso alimenticio lograrán mantener poblaciones estables.

Debido a la actual preocupación nacional que compete la acción de las instituciones gubernamentales a escala departamental por la conservación de los ecosistemas de alta montaña y el recurso hídrico, se hace necesario investigar y aclarar con precisión la

afectación del cambio climático sobre la biodiversidad y ecosistema de páramo. Una de las principales preocupaciones gira en torno a cómo se distribuirá el ecosistema de páramo en el futuro y cómo bajo escenarios de cambio climático éste seguirá cumpliendo su función ecosistémicas. Por lo que se considera que el conocimiento de los procesos que se desarrolla dentro del páramo y las especies que conforman la estructura (dinámica poblacional) y funcionalidad (relación intraespecífica) ecosistémica, se convierten en un elemento fundamental de investigación y discusión entre diferentes actores para comprender, prever y minimizar los efectos negativos del cambio climático, tanto a nivel ecológico como social.

Los modelos predictivos de distribución de especies pueden proporcionar una herramienta valiosa y rentable para la planificación de la conservación y la gestión de la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas, especialmente en regiones escasamente estudiadas como los Andes tropicales que se encuentran bajo una presión acelerada de pérdida y degradación del hábitat (Plasencia-Vázquez, Escalona-Segura, & Esparza-Olguín, 2014).

Metodología

Concepto

Existe en un gran número de definiciones asociadas al término “páramo”, teniendo como objetivo todas ellas describir el componente biótico, abiótico y sociocultural del sistema natural. Rangel (2000) construye una de las definiciones más ampliamente aceptadas, de acuerdo con este autor, «la región de vida paramuna comprende las extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas. Está definida como región natural por la relación entre el suelo, el clima, la biota y la influencia humana» (Ospina & Rodríguez, 2011). Nuevas contribuciones se refieren al páramo cómo un ecosistema, bioma, paisaje, área geográfica, zona de vida y espacio de producción, como también un estado del clima definido por una variedad de características y factores geográficos, geológicos, fisonómicos que son inherentes a la localidad y determinan el área geográfica de este.

La variación biofísica del límite altitudinal del páramo puede asignarse principalmente a dos divisiones: zona y azonal. La división zonal se reconoce como tal, por comprender las franjas paramunas localizadas en el gradiente altitudinal y variabilidad en función del clima y la orografía originalmente reconocido en los páramos, esto es, entre el límite superior de la vegetación boscosa (3.200-3.800 m de altitud) y el límite inferior de las nieves perpetuas (4.400-4.700 m de altitud) (Vargas & Pedraza, 2004). Por su parte, la división azonal del páramo consiste en vegetación paramuna que se desarrolla fuera de las condiciones climáticas y edáficas dominantes. Generalmente se presenta a menor altitud en crestas de montaña o en el fondo de valles (Rivera & Rodríguez, 2011) son zonas que dependen críticamente de la inclusión de variables de presión antrópica y topología para ser

identificadas espacialmente (Sarmiento, 2013). Por lo tanto, en este estudio se involucrará la formación zonal de los páramos del Valle del Cauca, ya que se tendrá en cuenta las variables climáticas para la identificación de estos.

En general, el efecto de zonación andina y de definición del límite, composición, cobertura y fisonomía vegetal de los páramos está estrechamente ligada al escalonamiento altitudinal en los ecosistemas, donde a mayor altitud menor es la temperatura y los efectos de la precipitación y humedad (Sarmiento, 2013). De esta manera, en este estudio se hará referencia a los cinturones altitudinales de vegetación, conformados principalmente por elementos climáticos, los cuales han sido ampliamente descritos por diversos autores e involucran la biota vegetal establecida según un relieve, cotas climáticas y composición florística específica (Hooghiemstra, Wijninga, & Cleef, 2006).

Área de estudio

El área de interés para el desarrollo de este estudio comprende los páramos zonales del Duende, Farallones de Cali y Las Herosas-Chili Barragán, ubicados en el departamento del Valle del Cauca como puede observarse en el Mapa 9. El primero, se encuentra ubicado sobre la cordillera occidental en el Parque Natural Regional Páramo del Duende en la cota altitudinal de 3.321-3.784 ms.n.m., municipios de Rio frío y Calima El Darién, abarcando en total 269,6 Hectáreas.

La zona de páramo del Parque Nacional Natural Farallones de Cali se localiza sobre la cordillera occidental entre los 3.127- 4.036 ms.n.m., en los municipios de Santiago de Cali, Jamundí y Buenaventura, abarcando en total 1.847,9 Hectáreas.

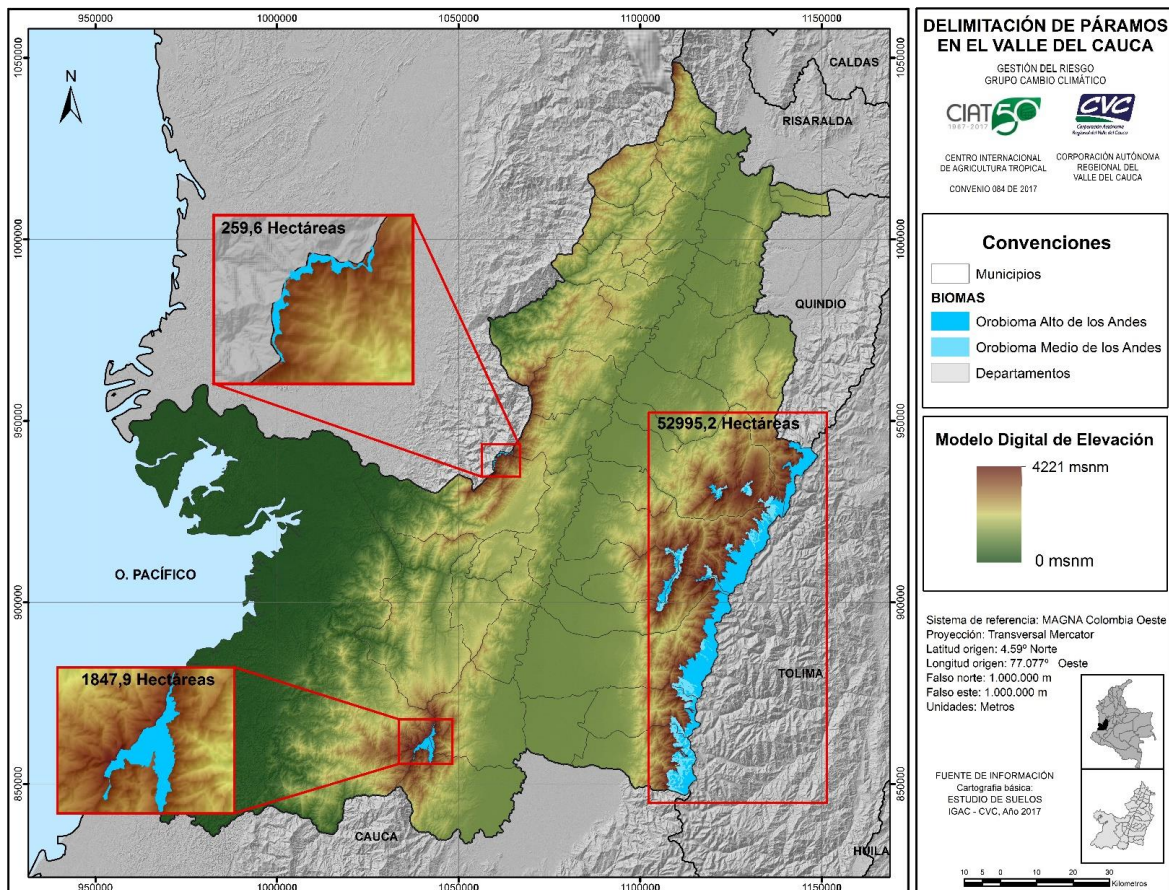
El complejo de páramos Las Herosas y Chili-Barragán, ubicado sobre la cordillera central, se encuentra en la cota altitudinal de 2.800-4.100 ms.n.m., municipios de Sevilla, Tuluá, Guadalajara de Buga, El Cerrito, Ginebra, Palmira, Pradera y Florida, abarcando en total 52.995,2 hectáreas como puede observarse en el Mapa 9.

La climatología de los páramos en estudio (Valle del Cauca) tiene similitud entre sí; son zonas donde se presentan niveles permanentes de niebla, humedad y nubosidad; se caracterizan por presentar fuertes variaciones en la temperatura a lo largo del día. La evapotranspiración es baja, debido a las altas tasas de precipitación horizontal.

La temperatura media está determinada por los pisos altitudinales. En los páramos ubicados en la cordillera central en el Valle del Cauca, la temperatura media varía entre 5,2°C y 13,3°C. La precipitación media en los páramos del departamento está influenciada por las corrientes de aire húmedo que llegan por el norte y el sur encontrando sendas barreras montañosas que hacen que estas se precipiten antes de alcanzar el centro de la cuenca, los registros de precipitación varían entre 800 mm/año en zonas cercanas al área

de influencia de los páramos y con condiciones especiales, influenciada por los vientos secos de la suela plana (cañon del Jicaramata, Amaime y cañón del río Bugalagrande) y los 2.000 mm/año en la zona media. La distribución de las lluvias es bimodal con dos periodos lluviosos entre marzo y mayo y de septiembre a noviembre, siendo julio el mes de menor precipitación.

La hidrología en la zona de páramo de la cordillera central en el Valle del Cauca, consiste en la presencia de ríos importantes como Bolo, Nima, Amaime, Tuluá y Bugalagrande; Guabas, Guadalajara y Coronado, que se dependen del Páramo de Las Dominguez y los ríos Culebras y San Marcos que se originan a partir del páramo del Japón. Las fuentes hídricas mencionadas surten la demanda hídrica de los sistemas de riego para la agroindustria del valle geográfico, ciudades del departamento localizados en la margen derecha del río Cauca (CVC & INCIVA, 2007).



Mapa 9. Delimitación de páramos según fuente cartográfica facilitada por la Corporación Autónoma del Valle del Cauca. En cada acercamiento se puede observar la unidad de páramo del Duende, Farallones de Cali y Hermosas-Chilí Barragán con el valor del área ocupada por cada uno de estos.

Fuente: Elaboración propia con información de CVC.

El componente edafológico del páramo de Farallones de Cali y Las Herosas, comprende un tipo de relieve cumbre, circo y artesa/vallar glaciar, mientras el páramo del Duende presenta únicamente el tipo cumbre. La forma del relieve en los tres páramos se conforma en cimas y laderas, fondo de artes y morrenas, donde el Duende presenta cima y ladera. El material parental en los páramos consiste principalmente en ceniza volcánica sobre rocas ígneas y metamórficas, depósitos glaciares con ceniza volcánica y material orgánico sobre depósitos heteromátricos. Las características de los suelos en el Duende consisten en zonas moderadamente profundas, bien drenados, extremadamente bajos y de baja fertilidad. Por su parte, Los Farallones y Las Herosas presentan características de suelos de afloramiento rocoso, moderadamente profundos, muy superficiales y superficiales con fertilidad baja a alta.

En este estudio se realizó una aproximación modelada a la distribución geográfica del Orobionia alto de los andes en el Valle del Cauca, el cual comprende los ecosistemas del piso de Páramo clasificados en: Bosque muy frío pluvial en montaña fluvio-gravitacional, Herbazales y pajonales extremadamente frío pluvial en montaña fluvio-glacial y Herbazales y pajonales muy frío muy húmedo en montaña fluvio-glacial (CVC-FUNAGUA 2010). Estos modelos se construyen mediante la extrapolación de datos de naturaleza climáticas (biofísicas) disponibles en un estado de conocimiento actual y futuro. Como antes se ha mencionado, debido a la estrecha relación entre el cambio de cobertura, composición florística, relaciones bióticas y conformación de áreas zonales y azonales de páramo con la temperatura y precipitación, el acercamiento con estas variables se puede considerar una vía sólida cuando se busca identificar patrones de biodiversidad a diferentes escalas, que ya han sido alterados por la intervención antrópica.

Modelación de Distribución Potencial

Con el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt 3.4.1) (Phillips S. , Anderson, Dudik, & Schapire, 2017) se generaron modelos de distribución potencial basado en el concepto de nicho ecológico y el alcance del principio de máxima entropía (distribución más uniforme). Este algoritmo es extensamente utilizado con fines ecológicos, biogeográficos y de conservación, en gran medida gracias a que es de libre acceso, fácil uso y capacidad predictiva, una vez las localidades y variables de modelación son independientes y representativos para la especie en estudio. La metodología estadística que explica el proceso algorítmico es mecánica (General-purpose Machine Learning Method) (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006). El modelo resultante muestra la probabilidad de ocurrencia de una entidad biológica en una cuadrícula de celdas en un área geográfica definida, en la cual un valor de probabilidad alto, asociado a una celda en particular, indica la probabilidad de esta de tener las condiciones ambientales adecuadas para la especie de interés (Elith j. , y otros, 2011). La probabilidad se encontrará sujeta a las restricciones o limitaciones entre

el valor esperado de cada variable predictora y las estimaciones de sus promedios empíricos (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006).

En términos generales se utilizó la siguiente metodología (Figura 29) para realizar la modelación de Distribución de Especies (SDM) y de los Páramos del Valle del Cauca.

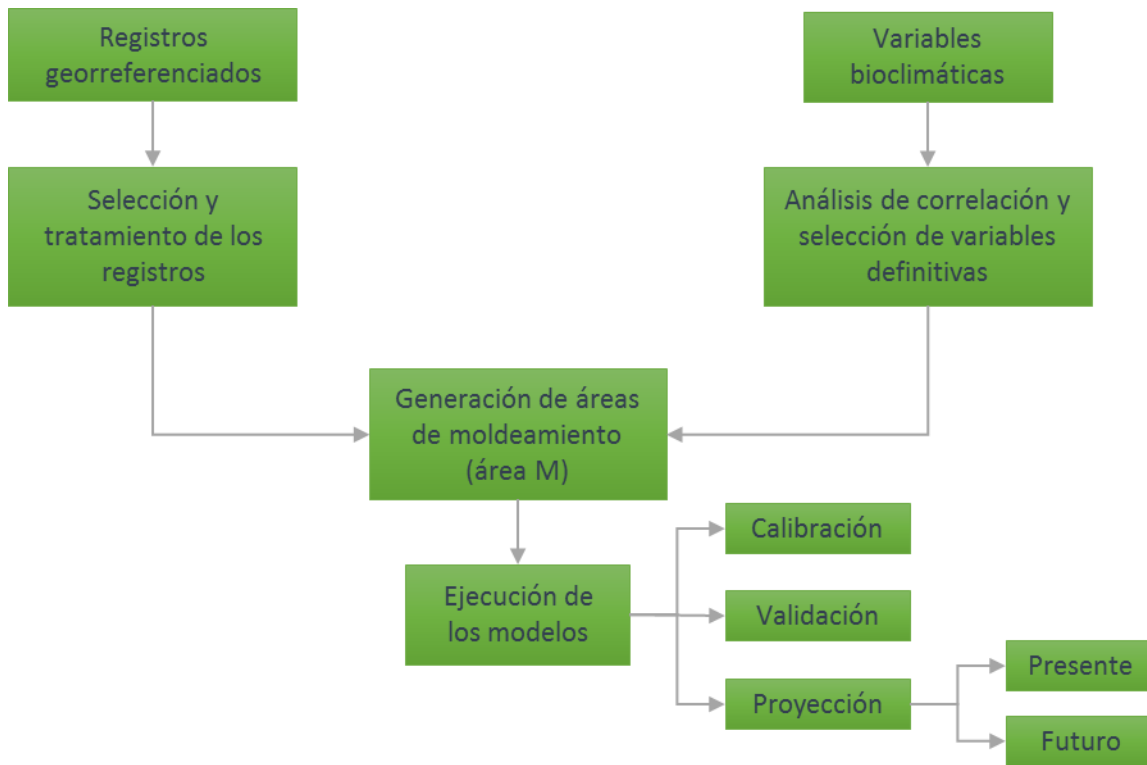


Figura 29. Metodología de modelación de distribución de especies (SDM) y de los páramos del Valle del Cauca en el presente y futuro escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Modelación de Distribución Potencial Orobroma Alto de los Andes – piso Páramo

La distribución del páramo se obtuvo con modelos de distribución potencial (MDS) basados en umbrales probabilísticos de idoneidad climática. A partir de la elección de un umbral determinado, se procedió a identificar la extensión original de los páramos en el Valle de Cauca. En este caso la técnica de MDS es aplicada a escala de bioma, de igual manera ha sido ampliamente utilizada con taxones, poblaciones y comunidades biológicas, ya que modelar a un nivel grupal provee información importante a cerca de las diferencias en la distribución de los nichos climáticos (Riordan & Rundel, 2009).

Selección y tratamiento de registros

Se tomaron los registros ubicados sobre el polígono de delimitación de Páramos en el Valle del Cauca, facilitado por la Corporación Autónoma del Valle con el fin de caracterizar el clima de los páramos. Sobre este se distribuyeron homogéneamente en el espacio de modelación 45 puntos en la extensión páramo del Duende, 87 puntos en el páramo Farallones de Cali y 55 puntos en el complejo Las Herosas y Chili-Barragán. Para evitar que el modelo se viera afectado por el muestreo desigual en las diferentes zonas de páramo (Radosavljevic & Anderson, 2013), los registros fueron redistribuidos múltiples veces hasta alcanzar la mejor representación de la distribución geográfica de los páramos en la actualidad, lo cual representa una gran ventaja al ser un punto de referencia para el ajuste y calibración del modelo en el escenario actual y para la confiabilidad de las proyecciones en el escenario de cambio climático.

Componente de biodiversidad: especies de fauna y flora

Selección y tratamiento de registros

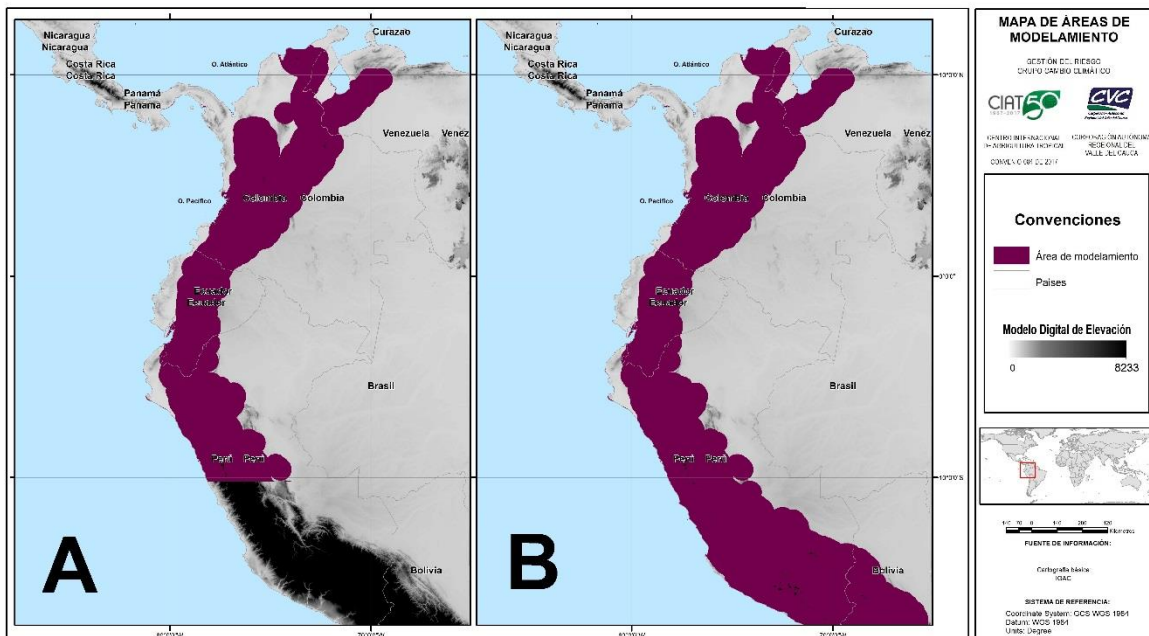
Para la modelación de la distribución potencial de las especies, se usaron registros localizados en la cordillera Andina en los países de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, los cuales resguardan las extensiones de los ecosistemas altos andinos presentes en el mundo. Se seleccionaron 7 especies de vertebrados (Anfibios, Mamíferos y Aves) y 3 especies del grupo de Plantas con base a diferentes criterios:

1. Especies carismáticas de fácil reconocimiento las para las comunidades presentes en región de páramo.
2. Especies restringidas o casi restringidas a una cota altitudinal entre los 1.400 m – 4.700 m con patrón de distribución en alta montaña.
3. Especies que presenten posible susceptibilidad al cambio climático, por sus requerimientos de hábitat restringidos.
4. Especies con patrón de distribución endémico o casi endémico de Colombia.
5. Especies con un número de registros mayor o igual a 10, distribuidos homogéneamente en la zona ocupada por la especie, con el fin de caracterizar el nicho climático con precisión.

Las especies seleccionadas cumplieron con al menos uno de los criterios para ser elegidas. Asimismo, se enfatizó en la importancia de los criterios 2 y 5 para lograr la modelación de especies comparables con el cambio de distribución del ecosistema páramo y con restricción a la variación climática. Como primer paso, se realizó una preselección de especies con base en la información facilitada en las bases de datos GBIF, SIB Colombia, listas de especies priorizadas y fuentes de categorización de amenaza de las especies (Unidad Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN, Libros Rojos). Adicionalmente, se tuvo en cuenta las sugerencias de profesionales pertenecientes a la

Corporación autónoma Regional del Valle del Cauca y expertos en cada uno de los grupos de especies a evaluar. Posteriormente, las especies preseleccionadas fueron revisadas a detalle en fuentes bibliográficas secundarias, lo que permitió obtener un listado de especies finales para la modelación.

Dependiendo de la distribución de las especies, se seleccionaron dos áreas (“Background”) (Mapa 10) para hacer la modelación, con base en los rangos de altitud y las regiones biogeográficas donde se encuentran los registros. La variación del área accesible para la especie (M) tiene serias implicaciones en el desempeño de los modelos, ya que podría obtener un modelo con buenos valores de evaluación, pero realmente desviadas por el exceso de información presente en el área de modelación (Radosavljevic & Anderson, 2013).



Mapa 10. Áreas de modelación utilizadas representadas por la sombra de color morado que cubre la cordillera. A. Representa las áreas de modelamiento para las especies de rango más restringido. B. Representa las áreas de modelamiento para las especies con distribución más amplia.

Fuente: Elaboración propia.

Variables ambientales

Los datos climáticos interpolados espacialmente en cuadrículas, referidos como "superficies climáticas", se utilizan en muchas aplicaciones, particularmente en ciencias ambientales, agrícolas y biológicas. La resolución espacial de las superficies climáticas

utilizadas depende de las necesidades de esa aplicación y de los datos disponibles (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005) (Fick & Hijmans, 2017).

Para realizar la modelación de la distribución geográfica de las especies, se trabajó con las variables bioclimáticas disponibles en la base de datos Worldclim 2.0 (www.worldclim.com/version2). Estas superficies tienen una resolución espacial de 30 segundos de arco; esto es equivalente a aproximadamente 0,86 km² en el ecuador (y en cualquier otro lugar) y comúnmente se conoce como resolución espacial de '1 km' (Fick & Hijmans, 2017). De las 19 variables bioclimáticas disponibles fueron seleccionadas 7 para realizar las modelaciones respectivas, dichas variables seleccionadas presentaron un valor de medición interpretable en el contexto biológico y no se encontraron correlacionadas entre sí (Pearson <0.7), las variables son:

Tabla 11. Variables bioclimáticas seleccionadas para relocalizar modelación de distribución de especies

Variable	Definición
Bio1	Temperatura promedio anual
Bio3	Isotermalidad
Bio4	Temperatura estacional
Bio7	Rango Anual de Temperatura
Bio12	Precipitación anual
Bio15	Precipitación estacional

Fuente: *Elaboración propia.*

Estos datos climáticos están disponibles para todo el mundo, para el caso de Colombia, la información deriva de la temperatura y precipitación mensual en un periodo de 30 años (1970-2000). Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales, estacionales y factores ambientales extremos o limitantes (temperatura del mes más frío y mes más caliente) que permiten relacionar los factores climáticos con la ecología y biología de las especies (Fick & Hijmans, 2017).

Es importante destacar que las variables bioclimáticas seleccionadas para la modelación fueron modificadas. Las modificaciones realizadas consistieron en sobreponer la información bioclimática del Valle del Cauca resultante de las mediciones en estaciones climatológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambiental (IDEAM), Corporación del Valle del Cauca (CVC) y CENICAÑA en un periodo actual (1980-2010) en las capas bioclimáticas seleccionadas de WorldClim. Como resultado se obtuvo una capa por variable que contaba con una resolución más fina de 110 m que representan 1.21 ha por pixel. Todo esto proceso fue realizado con el software ArcGis en su versión 10.5. Las proyecciones tanto para el presente (1980-2010) como para el futuro (2040) fueron realizadas con la información proporciona por las mismas entidades.

Para la modelación de la distribución del páramo en el Valle del Cauca, se utilizaron 2 de las 19 variables bioclimáticas (Tabla 12) obtenidas de la información climática local, a una

resolución de 1 km²: Precipitación anual (Bio1) y temperatura media anual (Bio12). Dado que es posible reconstruir la distribución de los páramos a escala de bioma, ecosistema y formaciones vegetales (Sarmiento, 2013) a partir de variables únicamente climáticas (biotemperatura, precipitación) (Alarcón-Hincapié & Pabón-Caicedo, 2013) (Yates, Kittel, & Figges Cannon, 2000) y conseguir una aproximación muy fuerte para representar la distribución de la vegetación en Colombia, se consideró suficiente la información climática contenida en las dos variables antes mencionadas para representar las formación de páramo.

Tabla 12. Variables bioclimáticas seleccionadas para relocalizar Modelación de Distribución de los Páramos del Valle del Cauca

Variable	Definición
Bio1	Temperatura promedio anual
Bio12	Precipitación anual

Fuente: *Elaboración propia.*

Para la modelación futura de los páramos al año 2040 en el escenario RCP 4.5, se utilizaron 2 de las 19 variables bioclimáticas en el Valle del Cauca, obtenidas con información diaria en un período de 30 años (2050-2080) a un tamaño de celda igual a 110 m.

Elaboración de modelos

Para la elaboración de los modelos, los parámetros de configuración utilizados en Maxent se establecieron como predeterminados (“default”), el uso de ajustes por defecto o predeterminado es ampliamente aceptado debido a que ha sido validado en una amplia gama de especies, condiciones ambientales y números de ocurrencia (Phillips & Dudík, 2008), además es considerada una herramienta muy útil para tener una idea rápida de la distribución potencial de una especie determinada (Morales, Fernández, & Baca-González, 2017). De igual forma, se estableció el formato de salida logístico, ya que es más robusto y suele alcanzar el mejor rendimiento, además, permite una fácil interpretación en comparación a las salidas acumulativas y cloglog (Phillips & Dudík, 2008).

Para la calibración del modelo se evaluó la curva ROC (Receiver Operating Classifier), donde el modelo predice correctamente los puntos de presencia verdadera (alta sensibilidad) contra los verdaderos negativos (1 – especificidad). Posteriormente se seleccionaron los modelos cuyo valor de AUC (Área Bajo la Curva) fuera mayor a 0.75 (Elith j. , et al., 2011). El estadístico AUC cuantifica la probabilidad de que el modelo discrimine correctamente (clasifica) una localidad de presencia de una de ausencia (Reina-Rodríguez, Mejía, Llanos, & Soriano, 2017) . Los valores AUC oscilan entre 0 -que indica aleatoriedad- a 1.0 -que indica una mayor discriminación-, es importante considerar la desviación estándar asociada a los valores AUC, para determinar que los modelos sean significativamente mayores al azar (AUC=0.5). Más específicamente, los valores de AUC

<0.7 indican modelos pobres mientras que los valores $0.7 > AUC < 0.9$ revelan modelos moderadamente útiles; y $AUC > 0.9$ indican modelos excelentes (Reina-Rodríguez, Mejía, Llanos, & Soriano, 2017).

En el caso de la evaluación de los modelos se tomó el 80% de los registros para calibración y el número restante de registros para validarlo. Por cada especie se realizaron 12 réplicas usando el método “bootstrap”, este permite evaluar la desviación estándar de los valores de probabilidad en el conjunto de réplicas generadas y definir la coherencia del modelo consenso y permite asegurar un comportamiento de la desviación mayor que 0.5, lo cual corresponde al valor AUC de un modelo aleatorio no significativo (Anderson, Lew, & Peterson, 2003).

Para ayudar a la validación e interpretación del modelo, generalmente es deseable distinguir las áreas “adecuadas” de las “inadecuadas” estableciendo un umbral de decisión por encima del cual la salida del modelo se considera una predicción de la presencia de la especie. No existe una regla establecida para establecer estos umbrales porque su selección depende de los datos utilizados o del objetivo del mapa. (Reina-Rodríguez, Mejía, Llanos, & Soriano, 2017). Se emplearon los valores de umbral de “Minimum Training Presence” (MTP) y “10 percentil” para reclasificar los valores de probabilidad continuos en el ecosistema de páramo. Por su parte, para las especies se utilizó el valor de umbral “Fixed cumulative value 10” que según la teoría tienden a mantener una mayor proporción de presencias correctamente predichas, debido a que el tamaño de la muestra es reducido artificialmente (Pearson, Raxworthy, Nakamura, & Peterson, 2007)

Finalmente, se seleccionaron los modelos que reflejaran coherentemente la distribución geográfica actual de los páramos y la distribución potencial de las especies. Seguidamente, el modelo de distribución futuro fue seleccionado bajo el umbral de trabajo utilizado en el escenario presente, para proceder a la comparación de cambios en la distribución de las unidades biológicas de páramo y de cada especie.

Resultados

Modelación distribución geográfica del Orobroma Alto de los Andes – Piso Páramo

A continuación, se presentan los modelos obtenidos para la identificación de las áreas de páramo en el Valle del Cauca. Con estos modelos se evaluó el alcance de la identificación del bioma páramo en el periodo climático actual, con la metodología de modelación de distribución potencial (MDS) basada en localidades confirmadas de ocupación del páramo en el presente.

Se observó un buen ajuste en comparación con el polígono de distribución actual de los páramos en el Valle del Cauca, ya que no se identificaron áreas localizadas fuera de la cota altitudinal o coberturas ajenas a lo reconocido en cada páramo; sin embargo, se

encontraron conflictos en la confrontación de los modelos de distribución de la cobertura del páramo Farallones de Cali, por lo cual se tomó la decisión de trabajar el área definida por el modelo como idónea cortada al polígono base, con el fin de cuantificar los cambios de cobertura a futuro sobre el área actualmente delimitada. Se considera que este resultado fue divergente al de las formaciones de páramo del Duende y Hermosas, debido al bajo número de estaciones climáticas e información base disponible en el área, lo cual es requerido para la generación del raster y capas bioclimáticas representativas en áreas de alta montaña.

Escenario Actual

Con el fin de calibrar el modelo en el algoritmo MaxEnt en el escenario actual, la configuración por defecto fue utilizada para observar la respuesta de modelación. Los umbrales térmicos abarcados en las zonas de páramo (tabla 4) se encuentran en un rango de 7,65 y 13,83 grados centígrados, siendo el páramo de Las Hermosas el que presenta los valores de temperatura media anual más extremos. Por su parte, el Duende y Farallones de Cali registran valores de temperatura mayores a 8,99 y menores a 13,7 grados centígrados. La variable de precipitación anual registra un valor mínimo de 677 mm en el páramo Las Hermosas y máximo de 2.618 mm en Farallones de Cali. En el páramo del Duende, los valores de precipitación se encontraron cercanos a la mediana y al valor extremo, entre los 1.863 y 2.154 mm.

El periodo climático actual (1980 - 2010) la extensión de páramo identificada como idónea en el Duende abarcó en total 490,6 hectáreas donde 1.198 hectáreas fueron discriminadas como no idóneas en un buffer externo de 500 metros. El páramo de Farallones de Cali abarcó un área idónea de 3.810,4 hectáreas, donde 2.293 hectáreas fueron discriminadas como no idóneas. El páramo las Hermosas y Chilí-Barragán, abarcó un área total de 52.995 hectáreas, logrando discriminar 80.172 hectáreas (Tabla 13; Mapa 9, Mapa 10, Mapa 11).

Tabla 13. Área de modelación ocupada por los páramos del Duende, Farallones de Cali y Hermosas en comparación a lo registrado con el polígono de distribución real.

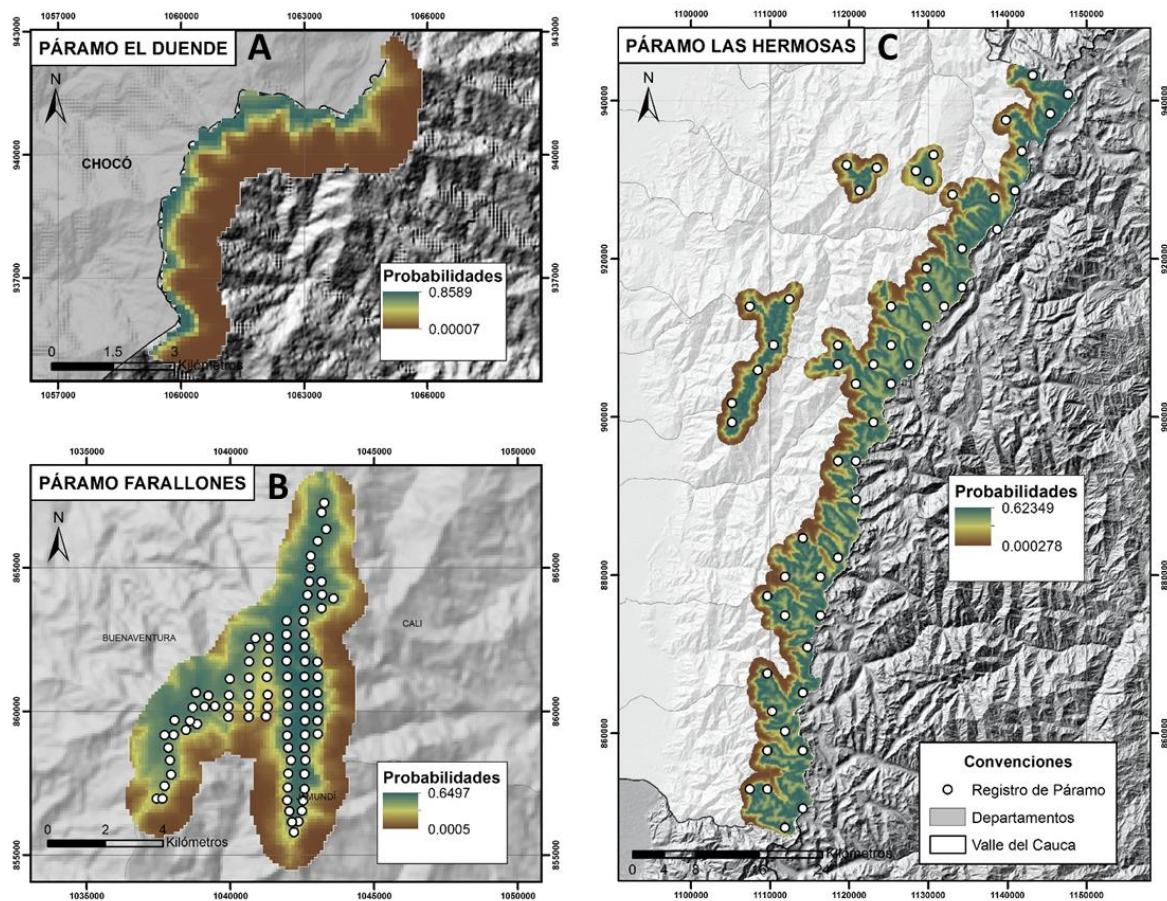
Páramo	Área polígono real (ha)	Área polígono modelo (ha)
Duende	269,6	490,6
Farallones de Cali	1.847,9	3.810,4
Hermosas	52.995	5.2181

Fuente: Elaboración propia.

El modelo mostró un buen resultado de acuerdo al valor de Área Bajo la Curva (AUC) igual a 0,878 en el páramo del Duende, un promedio de omisión de los datos de calibración igual a 4%, una comisión de 0,293 y un Minimum Training Presence (valor logístico de umbral) de 0,329. Ya que las variables incluidas para la elaboración del modelo no se encuentran

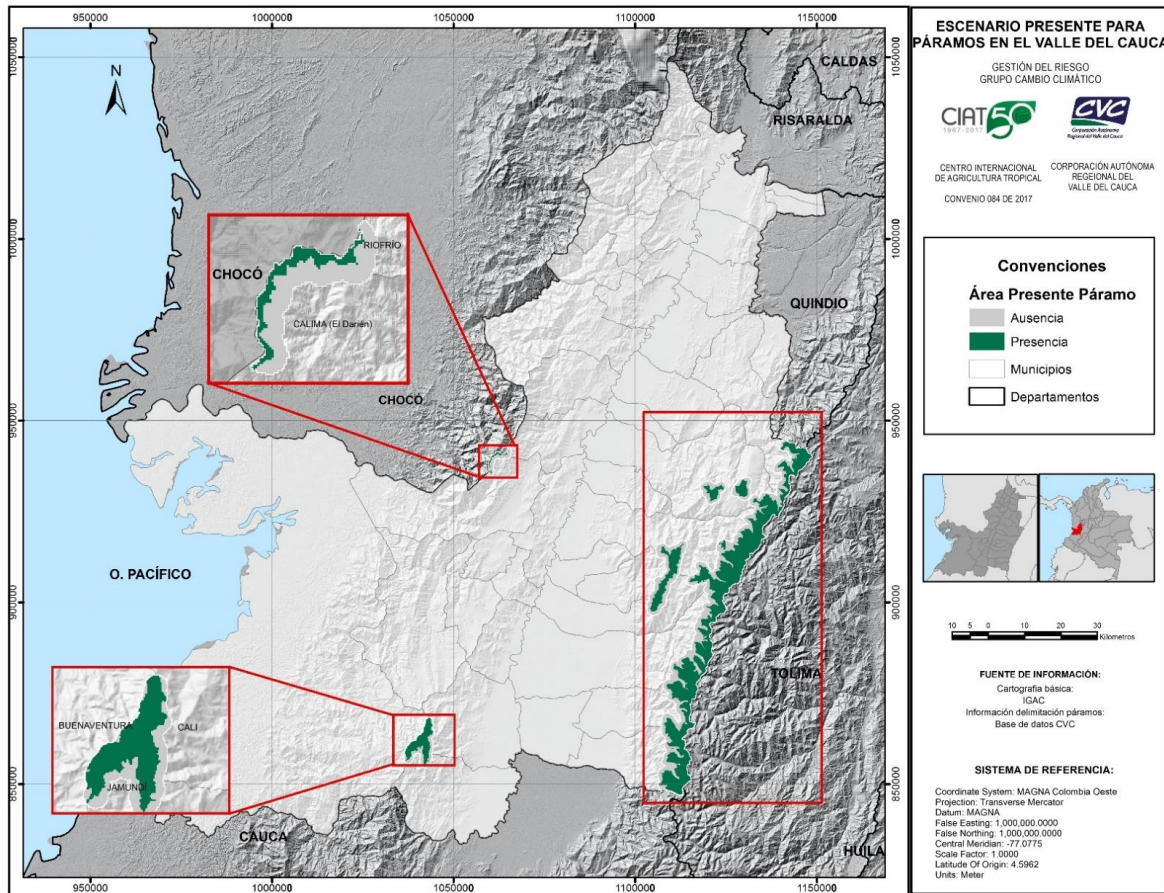
correlacionadas, es posible referirse a la contribución de cada una de estas. En total, las variables precipitación media anual (Bio 12) y temperatura media anual (Bio 1) contribuyeron en un 67,2% y 32,8% para alcanzar la convergencia del modelo.

Para el páramo Las Herosas, el AUC fue igual a 0,728, el valor promedio de omisión en el entrenamiento fue de un 4,3%, una comisión de 0,664 y un valor de Minimum Training Presence de 0,279. La contribución de las variables de temperatura media anual y precipitación media anual fue 99,4% y 0,6% respectivamente. En el caso del páramo de Farallones de Cali, el AUC fue igual a 0,735, el valor promedio de omisión en la calibración del modelo fue de un 4,5%, una comisión de 0,780 y un valor de Minimum Training Presence de 0,116. La contribución de las dos variables (Bio 1 y Bio 12) fue de un 98% y 2%, respectivamente.



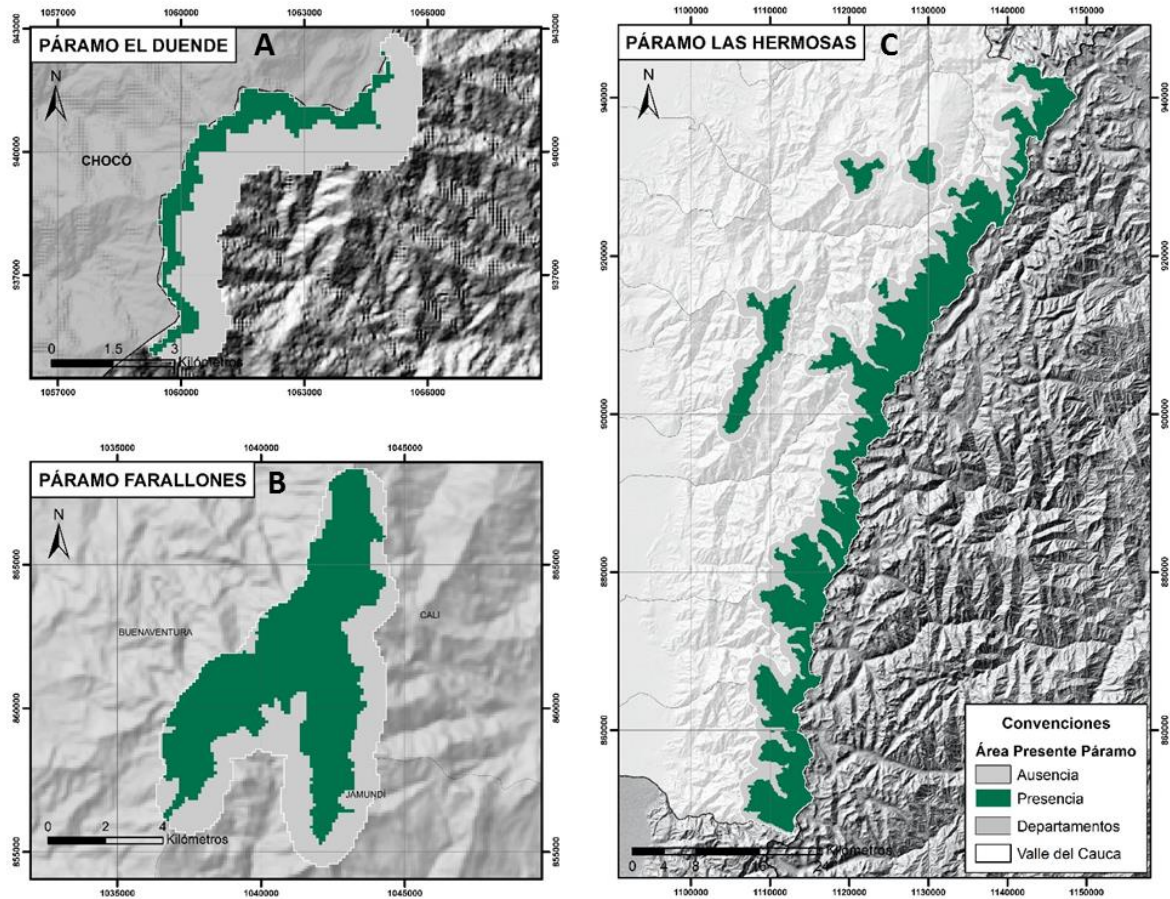
Mapa 11. Modelo de Distribución Potencial continuo para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Herosas (C) en el escenario actual. Los puntos blancos son las localidades utilizadas para entrenar el modelo en el escenario climático actual. Las áreas en azul indican idoneidad, mientras las áreas en café representan zonas pocas o nada idóneas.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 12. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas en el escenario actual.

Fuente: Elaboración propia.

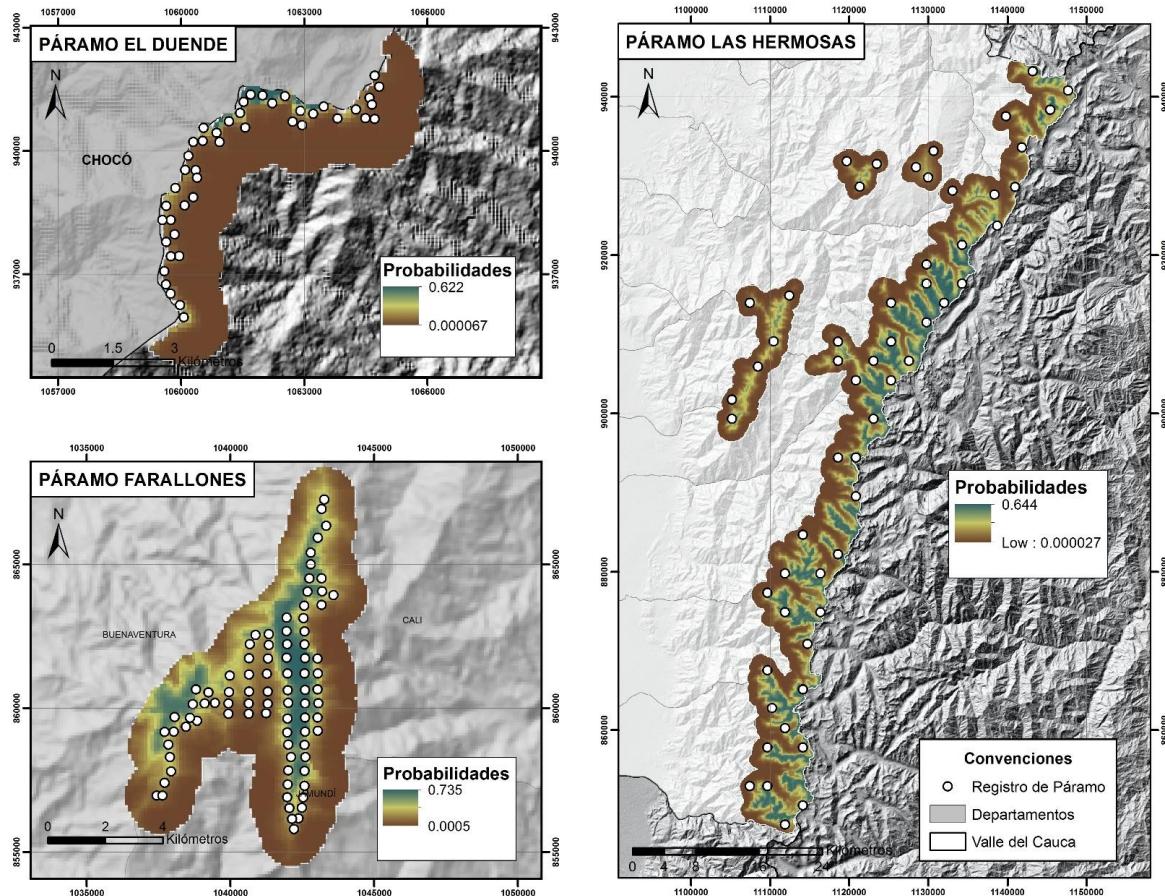


Mapa 13. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Herosas (C) en el escenario actual.

Fuente: Elaboración propia.

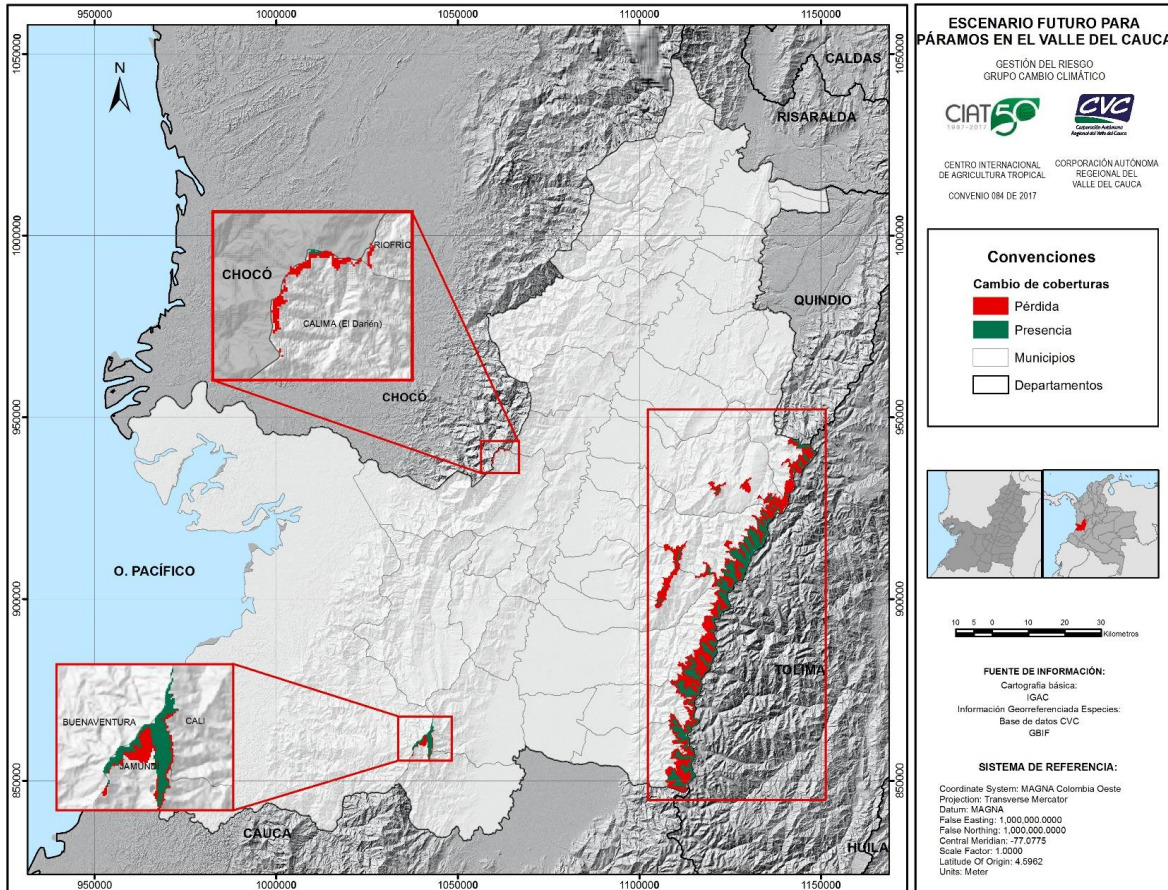
Escenario Futuro

La respuesta en los rangos potenciales de distribución para los páramos bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 se muestra en el Mapa 14, Mapa 15 y Mapa 16.



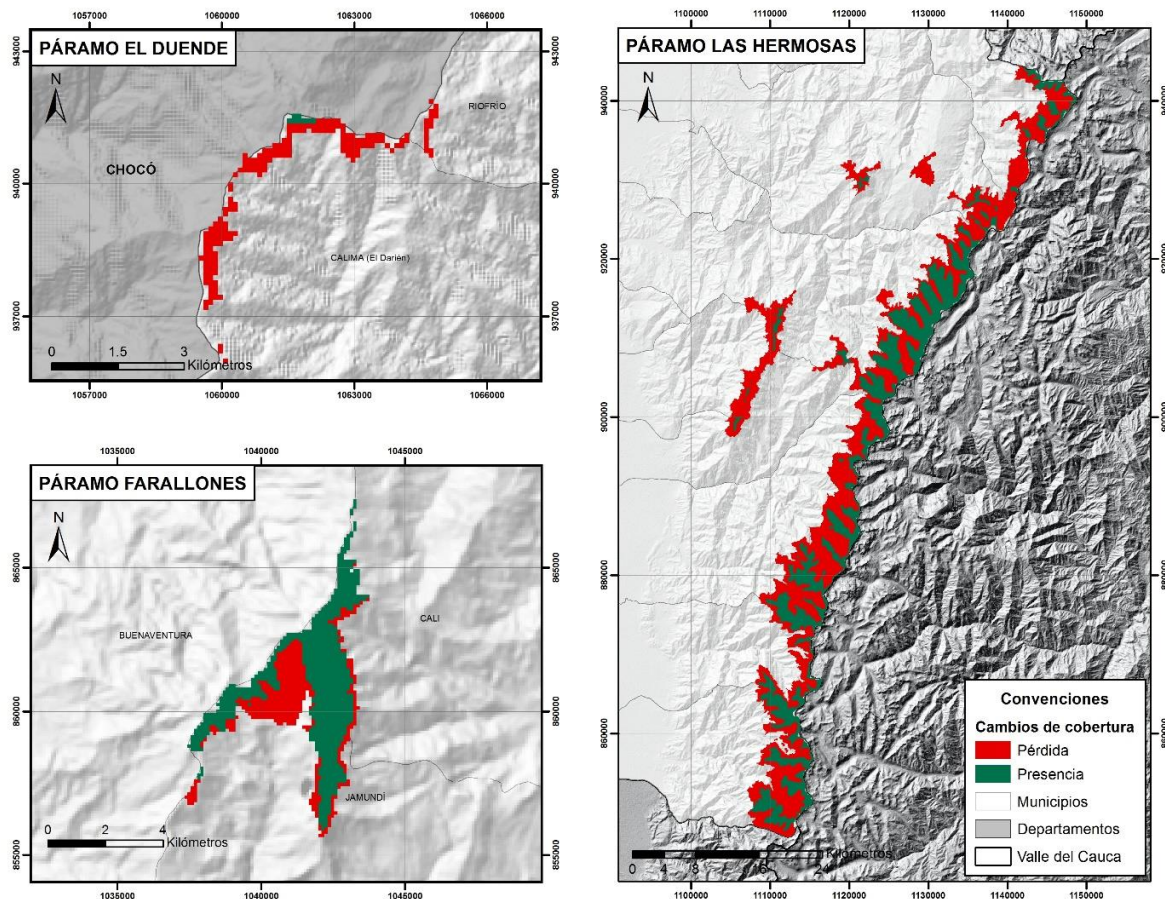
Mapa 14. Modelo de Distribución Potencial continuo de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Herosas en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Los puntos blancos son las localidades utilizadas para entrenar el modelo en el escenario climático actual. Las áreas en azul indican idoneidad, mientras las áreas en café representan zonas pocas o nada idóneas.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 15. Modelo de distribución potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Herosas (C) en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Las áreas verdes representan áreas climatológicamente idóneas en el escenario futuro, mientras que las áreas rojas representan pérdida de áreas que en el presente se catalogaron como idóneas.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 16. Modelo de Distribución Potencial binario para los páramos del Duende (A), Farallones de Cali (B) y Las Hermosas (C) en el escenario de cambio climático futuro RCP 4.5. Las áreas verdes representan áreas climatológicamente idóneas mientras que las áreas rojas representan pérdida.

Fuente: Elaboración propia.

La reducción predicha en el extent de ocurrencia de cada páramo, causada por el incremento de la temperatura y disminución de la precipitación son detallados en la Tabla 14 y Tabla 15. La idoneidad de las áreas climáticas abarcadas en el área accesible por los páramos disminuirá en extensión, principalmente en la zona norte de la cordillera Occidental, páramo del Duende (Tabla 15). Debido a la alta contribución de las variables climáticas en la calibración del modelo en el escenario actual, la predicción a futuro, indica que el cambio climático será un factor crítico en la distribución de los páramos, ya que los cambios asociados al clima representan una reducción neta en el extent de ocurrencia desde 33.1 al 99.29% en el escenario RCP 4.5 (Tabla 14 y Tabla 15).

Tabla 14. Cambio de temperatura y precipitación anual mínima y máxima en los páramos del Valle del Cauca, escenario actual y futuro RCP 4.5.

Páramo	Temperatura actual		Temperatura futura		Precipitación actual		Precipitación futura	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Duende	9,77	11,67	11,02	11,38	1.863	2.154	1.914	1.964
Farallones de Cali	8,9	13,7	10,01	12,68	1.942	2.618	1.996	2.448
Hermosas	7,65	13,83	8,79	11,59	677	1.519	755	1.332

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Cambio de cobertura de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas y Chile Barragán escenario actual y RCP 4.5.

Páramo	Cobertura Actual (ha)	Cobertura Futura (ha)	Cambio Neto (ha)	% Cambio
Duende	269,6	10	259,6	96,29
Farallones de Cali	1.847,9	1.236	611,9	33,11
Complejo Hermosas	52.995	19.380	33.615	63,43
Total	55.112,5	20.626	34.036	62,57

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la variable altitudinal, se encontró que en el escenario futuro, el área idónea predicha en cada modelo tiende a incrementar con la altitud (Tabla 16), así como la cota altitudinal ocupada por cada páramo tiende a disminuir en el futuro. En promedio existe un cambio de 495 m en la altitud entre los rangos del escenario actual (3.556+/-665) y del escenario futuro (3.678+/- 555). Los cambios en las cotas altitudinales ocupadas por las formaciones de páramo en el presente y en el futuro son representadas en la Tabla 16.

Tabla 16. Cambio cota altitudinal de los páramos del Duende, Farallones de Cali y Las Hermosas y Chile-Barragán escenario actual y RCP 4.5.

Páramo	Cota Altitudinal actual	Cota altitudinal futura	Cambio altitudinal
Duende	3.321-3.784	3.377-3.403	+56 / -381
Farallones de Cali	3.127-4.036	3.414-4.028	+287 / -8
Complejo Hermosas	2.848-4.221	3.613-4.233	+765 / -12

Fuente: Elaboración propia.

Componente de biodiversidad: especies de fauna y flora

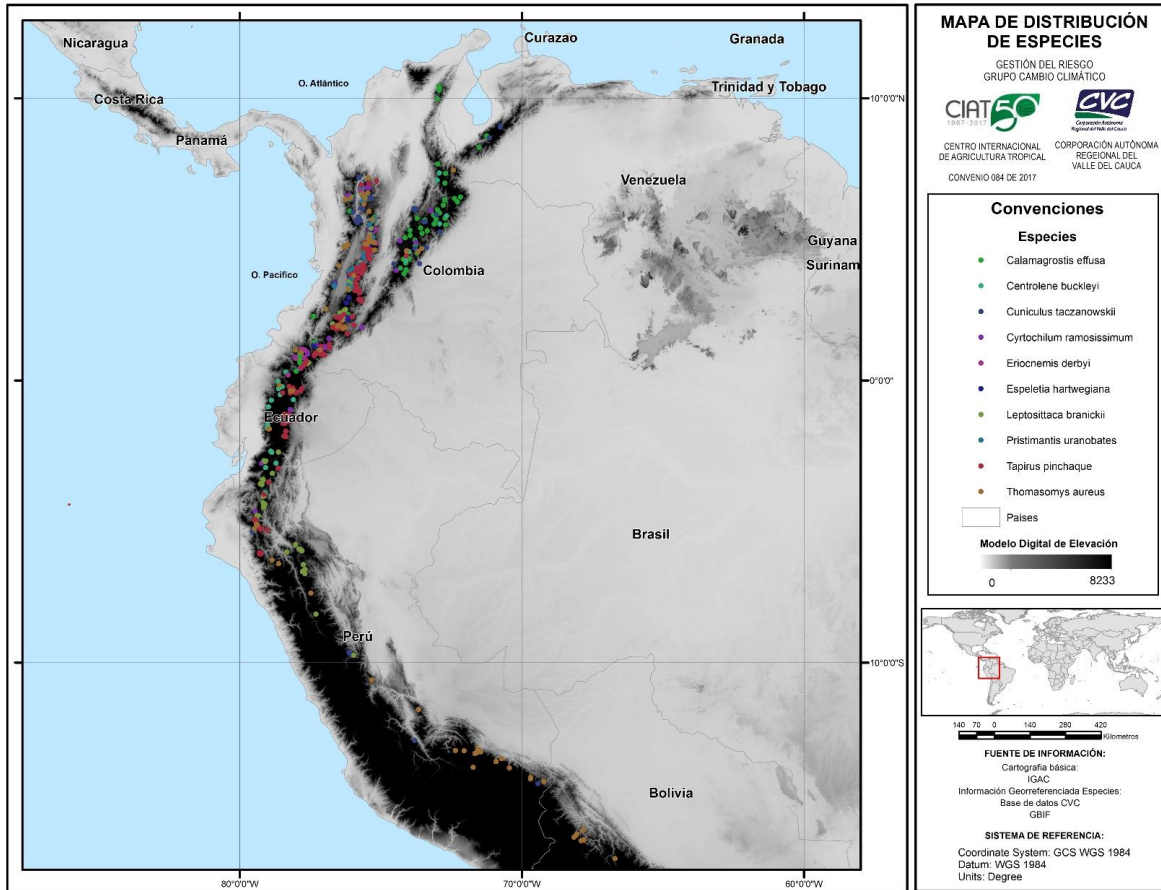
Las especies seleccionadas se muestran en la Tabla 17. Los registros se obtuvieron principalmente de bases de datos como GBIF y SiB Colombia, también de algunos artículos científicos y datos de muestreos facilitados por la Corporación generándose así una base final de 758 registros. Estos registros abarcan una gran extensión de la región de los Andes Neotropicales (Mapa 17). Es importante aclarar que el ejecutar las modelaciones se

presentaron dificultades con las especies previamente sugeridas debido a la poca confiabilidad obtenida en los modelos, por ende dichas especies debieron ser reemplazadas obteniendo como resultado los siguientes listados de especies objeto de estudio:

Tabla 17. Especies seleccionadas para el análisis de impacto del cambio climático en especies de alta montaña.

Grupo	Especie	Categoría de Amenaza (IUCN y Libros Rojos)	Cota altitudinal (ms.n.m.)	Número total de registros
Anfibio	<i>Pristimantis uranobates</i>	Preocupación menor	2250-3600	70
	<i>Centrolene buckleyi</i>	Vulnerable	2100-3300	53
Mamífero	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	Preocupación Menor	2000-4000	47
	<i>Tapirus pinchaque</i>	Amenazada	1400-4000	173
	<i>Thomasomys aureus</i>	Poca preocupación	1460-3850	78
Aves	<i>Eriocnemis derbyi</i>	Casi Amenazada	2500-3600	72
	<i>Leptosittaca branickii</i>	Vulnerable	2400-3400	68
Plantas	<i>Espeletia hartwegiana</i>	No evaluada	2370-4500	74
	<i>Cyrtochilum ramosissimum</i>	No evaluada	1900-3600	36
	<i>Calamagrostis effusa</i>	No evaluado	2500-4500	87

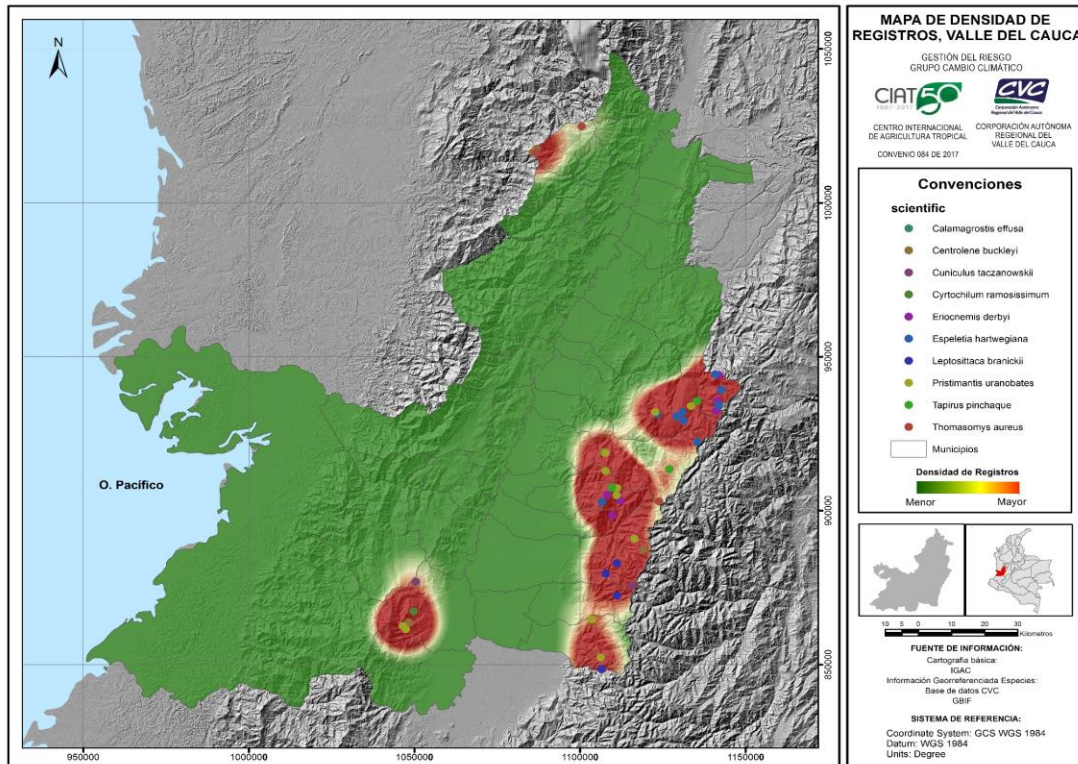
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 17. Distribución geográfica de los registros biológicos de ocurrencia de las especies evaluadas.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso específico del Valle del Cauca los puntos se distribuyeron de la siguiente manera:



Mapa 18. Distribución geográfica de los registros biológicos de ocurrencia de las especies evaluadas en el Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos para todas las especies como se puede ver en la Tabla 18 mostraron un buen comportamiento de acuerdo al valor de Área Bajo la Curva (AUC) obtenidos en la evaluación de los modelos en conjunto con la desviación estándar, todos ellos con valores superiores a 0,9 y rangos de desviación.

Tabla 18. Valores de AUC obtenidos durante el proceso de modelación para todas las especies.

	Especie	MaxEnt AUC (± desviación estándar) Evaluación
Plantas	<i>Calamagrostis effusa</i>	0.966±0.002
	<i>Cyrtochilum ramosissimum</i>	0.947±0.008
	<i>Espeletia hartwegiana</i>	0.988±0.002
Anfibios	<i>Centrolene buckleyi</i>	0.951±0.004
	<i>Pristimantis uranobates</i>	0.982±0.002
Aves	<i>Eriocnemis derbyi</i>	0.978±0.003
	<i>Leptosittaca branickii</i>	0.982±0.002

Mamíferos	<i>Cuniculus taczanowskii</i>	0.939±0.007
	<i>Tapirus pinchaque</i>	0.963±0.003
	<i>Thomasomys aureus</i>	0.915±0.011

Fuente: Elaboración propia.

Los mapas para cada una de las especies se separaron en base a la forma de vida de las mismas, ya sean estas de flora (plantas) y fauna (animales). En base a lo planteado por (Ramirez-Villegas, et al., 2014) se estimó la sensibilidad al cambio climático a nivel de especie, que consiste en interceptar los nichos climáticos actuales y futuros obteniendo así la persistencia del nicho climático. Este es definido como el porcentaje de área que sigue siendo adecuada en relación con el área total en el nicho climático actual. Adicionalmente se estimó el porcentaje expansión de rango o contracción en relación con el nicho climático estimado como actual como puede verse en la Tabla 19.

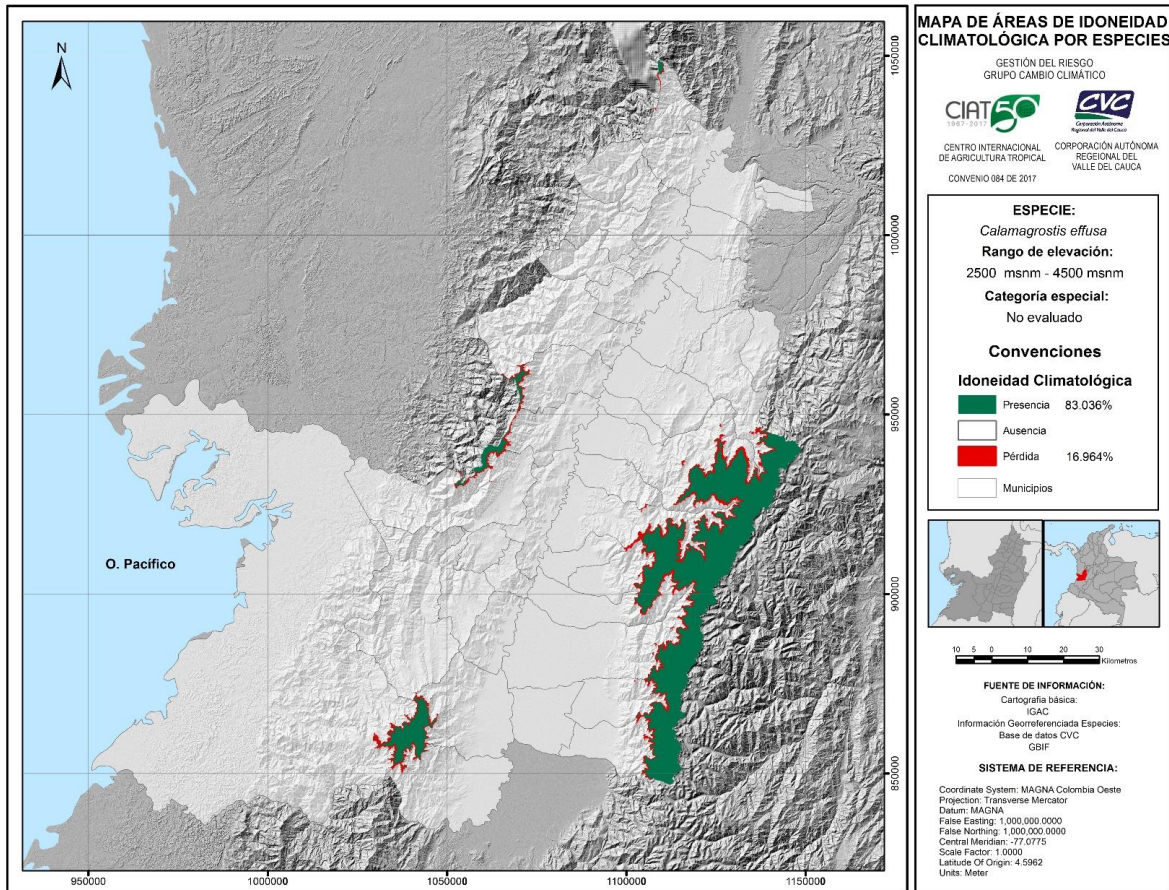
Tabla 19. Estimación de las áreas en hectáreas- de idoneidad climatológica presente y futura, en conjunto con los valores de pérdida y ganancia.

Especie	Área de presencia actual (ha)	Área de presencia futura (ha)	Área de pérdida futura (ha)	Área de ganancia futura (ha)	Porcentaje de área conservada en el futuro	Porcentaje perdida	Porcentaje de ganancia
<i>Calamagrostis effusa</i>	154.569,84	128.349,12	26.130,72	0,00	83,04%	-16,96%	+0,00%
<i>Cyrtochilum ramosissimum</i>	357.763,76	299.338,58	58.425,17	505,62	83,67%	-16,33%	+0,14%
<i>Espeletia harwegiana</i>	109.331,29	109.327,60	3,69	117.03,00	100,00%	0,00%	+10,70%
<i>Centrolene bucklei</i>	311.400,80	9.935,18	301.465,62	0,00	3,19%	-96,81%	+0,00%
<i>Pristimantis uranobates</i>	125.234,23	113.832,64	11.401,59	6.953,15	90,90%	-9,10%	+5,55%
<i>Eriocnemis derbyi</i>	130.222,73	60.618,64	69.604,10	0,00	46,55%	-53,45%	+0,00%
<i>Leptosittaca branickii</i>	210.790,47	69.198,13	141.592,34	0,00	32,83%	-67,17%	+0,00%
<i>Cuniculus taczanowskii</i>	707.945,72	557.200,61	150.745,11	23,37	78,71%	-21,29%	+0,00%
<i>Tapirus pinchaque</i>	352.395,12	147.620,38	204.774,74	0,00	41,89%	-58,11%	+0,00%
<i>Thomasomys aureus</i>	595.328,53	376.695,47	218.633,06	0,00	63,28%	-36,72%	+0,00%

Fuente: Elaboración propia.

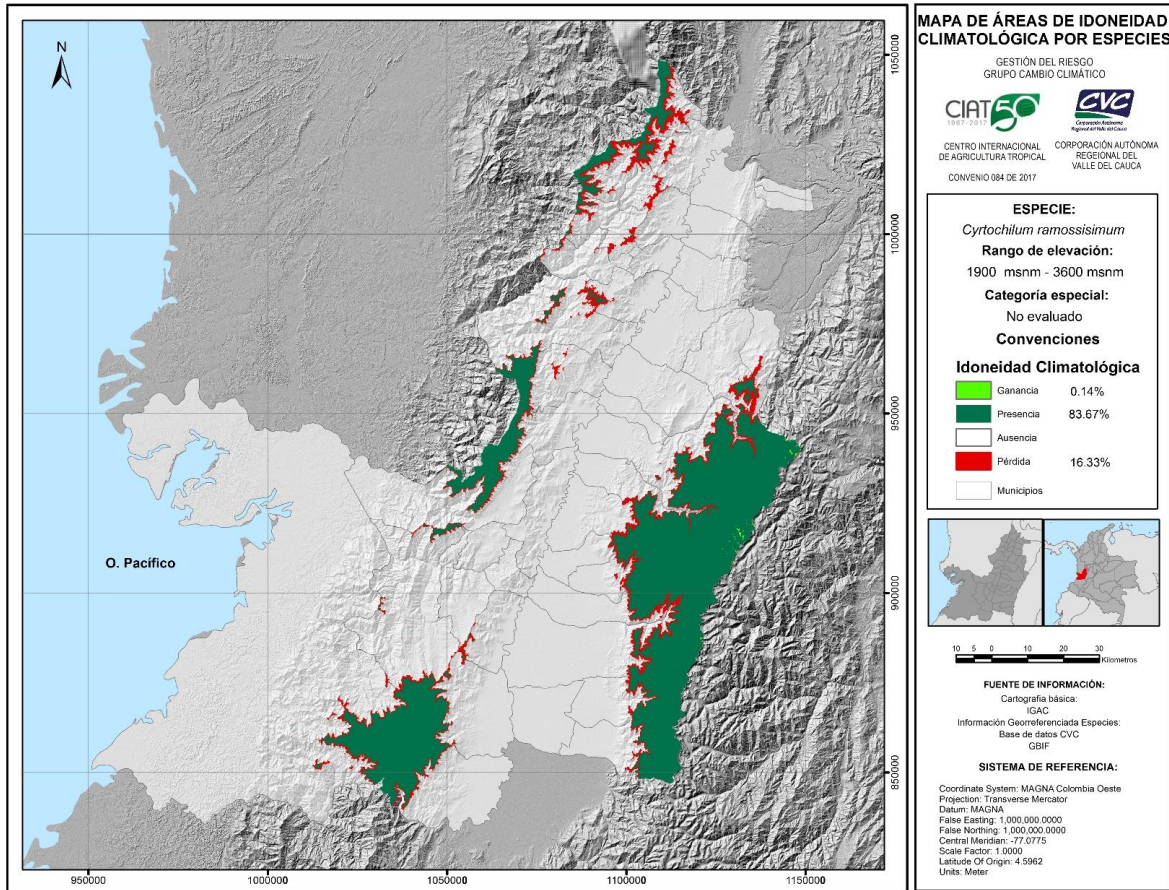
En el caso de las especies de flora *Calamagrostis effusa*, *Espeletia hartwegiana* y *Cyrtochilum ramosissimum* se observó que presentaban patrones de distribución similares, estos se ubicaron en toda la parte alta de la cordillera presente en el Valle del Cauca que está asociada con ecosistemas de paramo y alta montaña. Ahora bien, las especies *Calamagrostis effusa* (Mapa 19) y *Cyrtochilum ramosissimum* (Mapa 20) mostraron una disminución de las áreas climatológicamente idóneas en los escenarios futuros con valores cercanos al 16%, respecto a los rangos presentes de distribución. Sin embargo, ambas

especies conservan una buena parte de las áreas obtenidas como climatológicamente idóneas (ambos casos 83%) como se puede ver en las siguientes figuras e inclusive puede observarse en *Cyrtochilum ramosissimum* la ganancia de pequeñas áreas climatológicamente idóneas.



Mapa 19. Mapa obtenido para la especie *Calamagrostis effusa*.

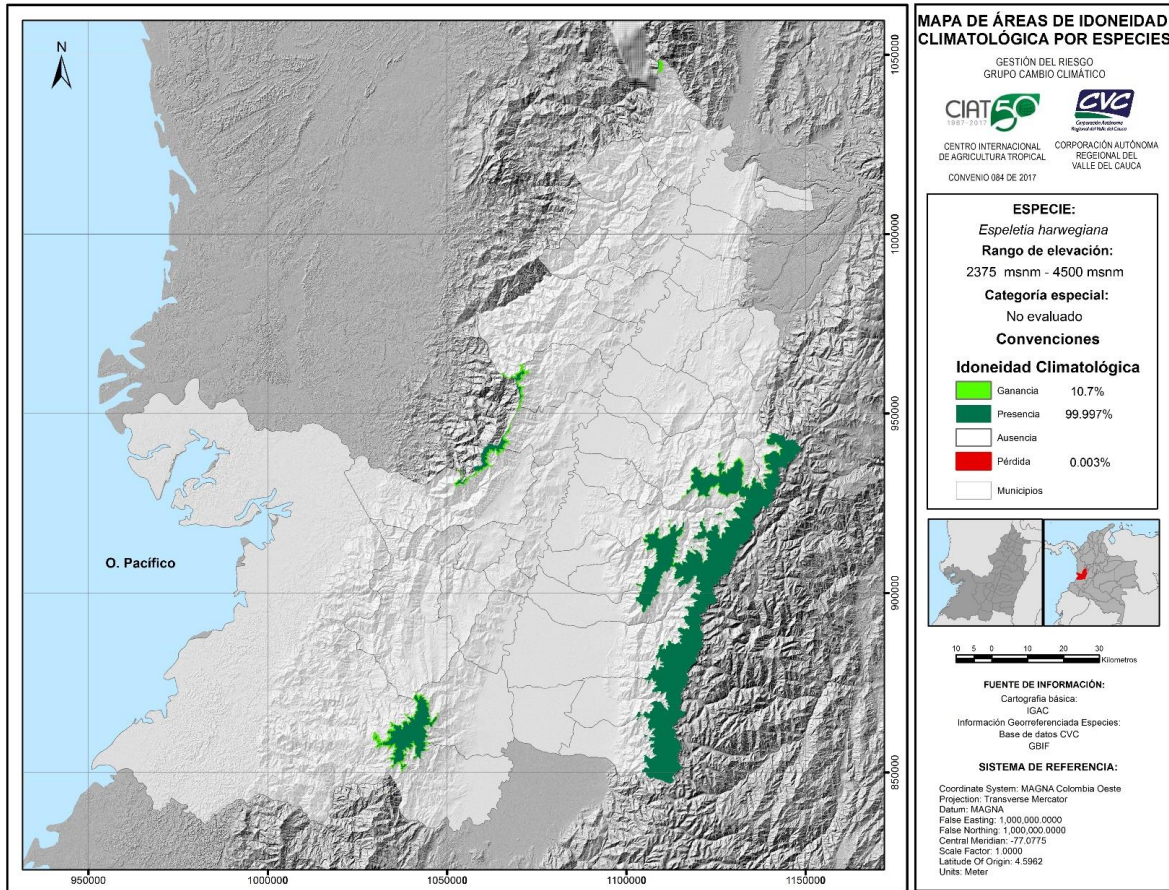
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 20. Mapa obtenido para la especie *Cyrtochilum ramosissimum*.

Fuente: Elaboración propia.

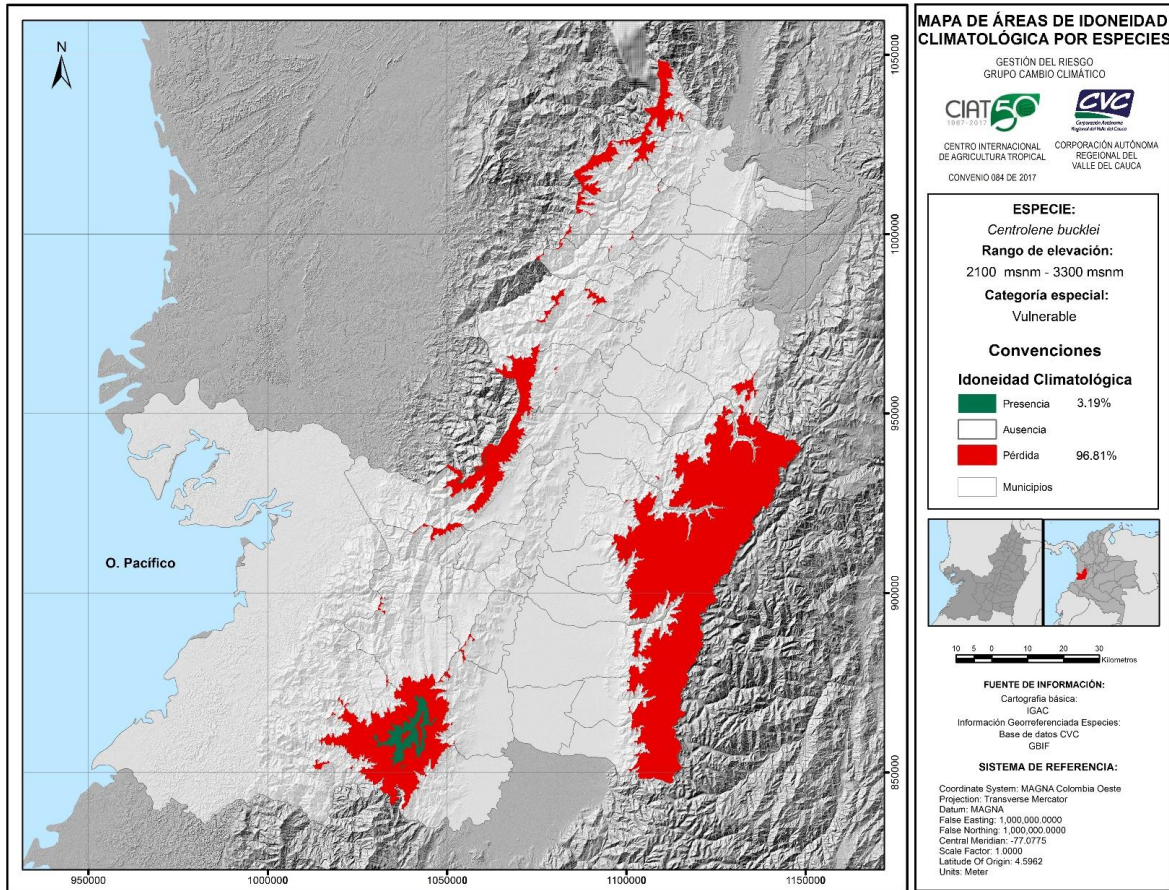
Por otro lado, la especie *Espeletia hartwegiana* (Mapa 21) presenta un comportamiento totalmente distinto al de las demás especies estudiadas, debido a que según la modelación en un escenario de cambio climático futuro esta ganaría cerca del 10,7% de áreas climatológicamente idóneas, lo que podría implicar un aumento en sus rangos de distribución.



Mapa 21. Mapa obtenido para la especie *Espeletia hartwegiana*.

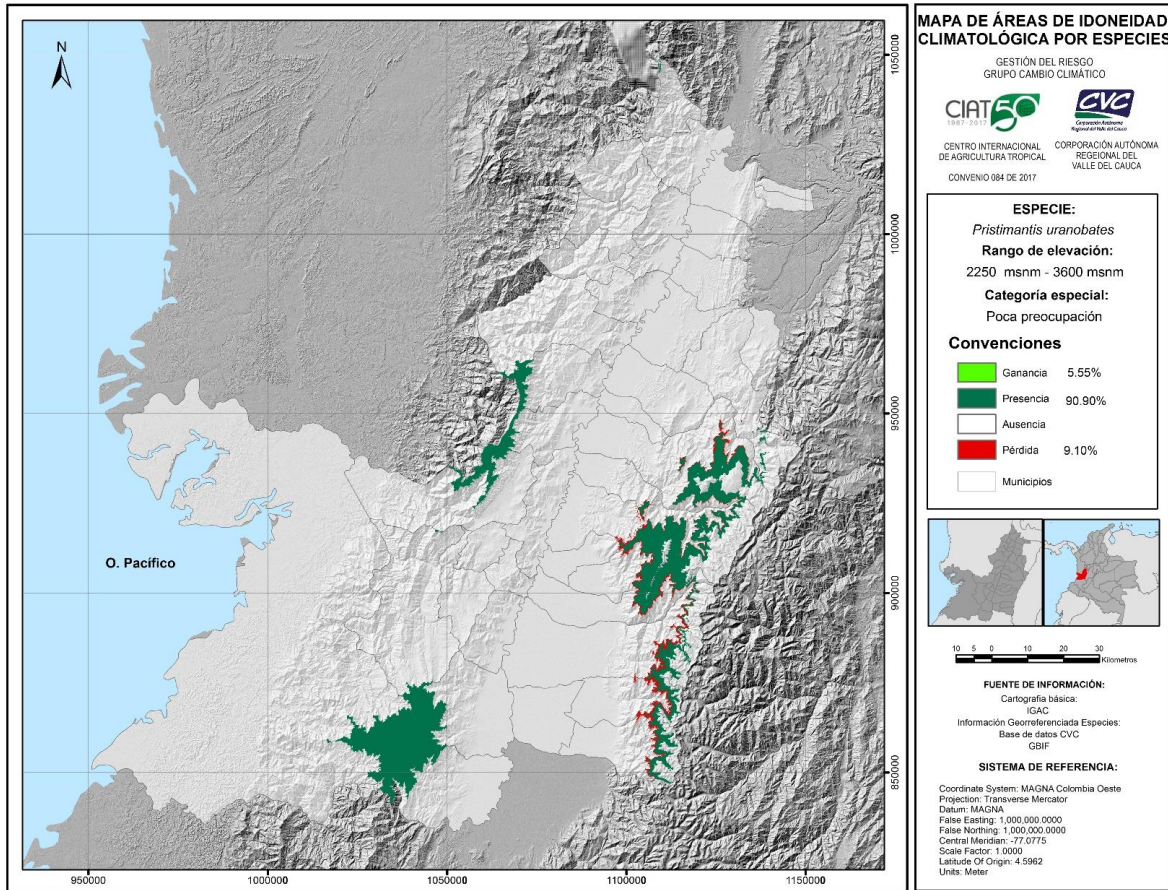
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las especies de fauna encontramos los anfibios, grupo de gran interés debido a su vulnerabilidad frente al cambio climático. La especie *Centrolene buckleyi* (Mapa 22) presento los resultados más alarmantes, con valores de disminución de las áreas climatológicamente idóneas de más del 90% concentrando su distribución en una pequeña área. Mientras que *Pristimantis uranobates* (Mapa 23) conserva gran parte de su nicho climático, con la perdida de algunas áreas y la ganancia de otras. Los resultados para ambas especies se observa en las siguientes figuras:



Mapa 22. Mapa obtenido para la especie *Centrolene buckleyi*.

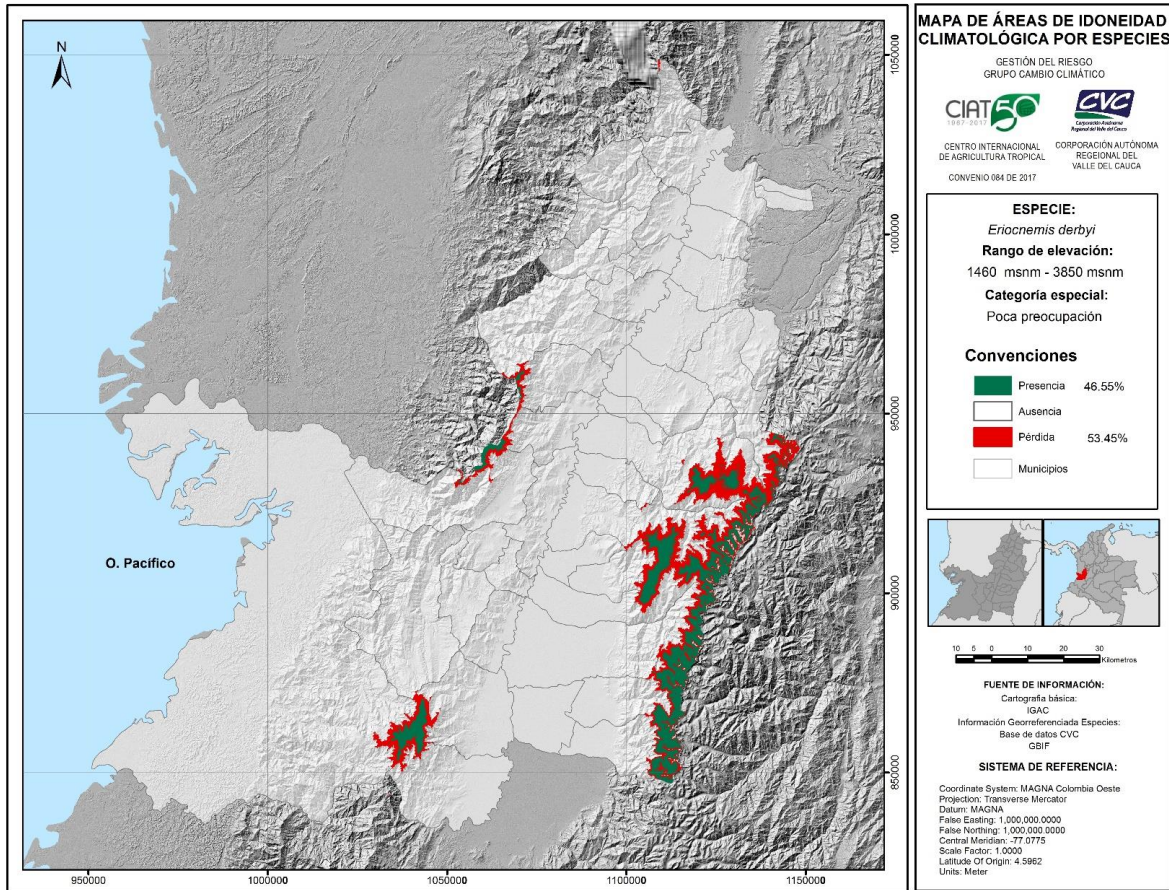
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 23. Mapa obtenido para la especie *Pristimantis uranobates*.

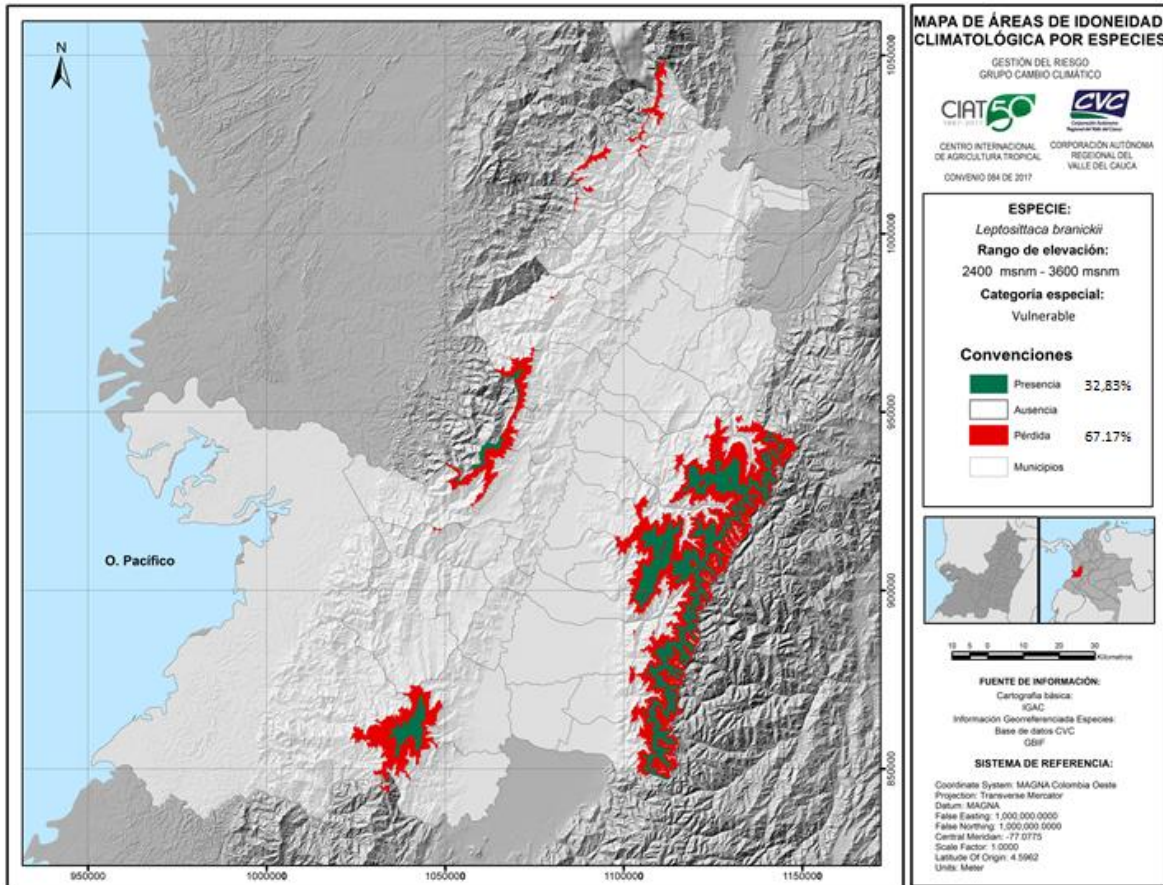
Fuente: Elaboración propia.

Ambas especies de aves evaluadas (*Eriocnemis derbyi* y *Leptosittaca branickii*) presentaron patrones similares, que se caracterizaron por la pérdida de nicho climatológico sin la ganancia alguna de nuevos rangos como puede verse en las Mapa 24 y Mapa 25.



Mapa 24. Mapa obtenido para la especie *Eriocnemis derbyi*.

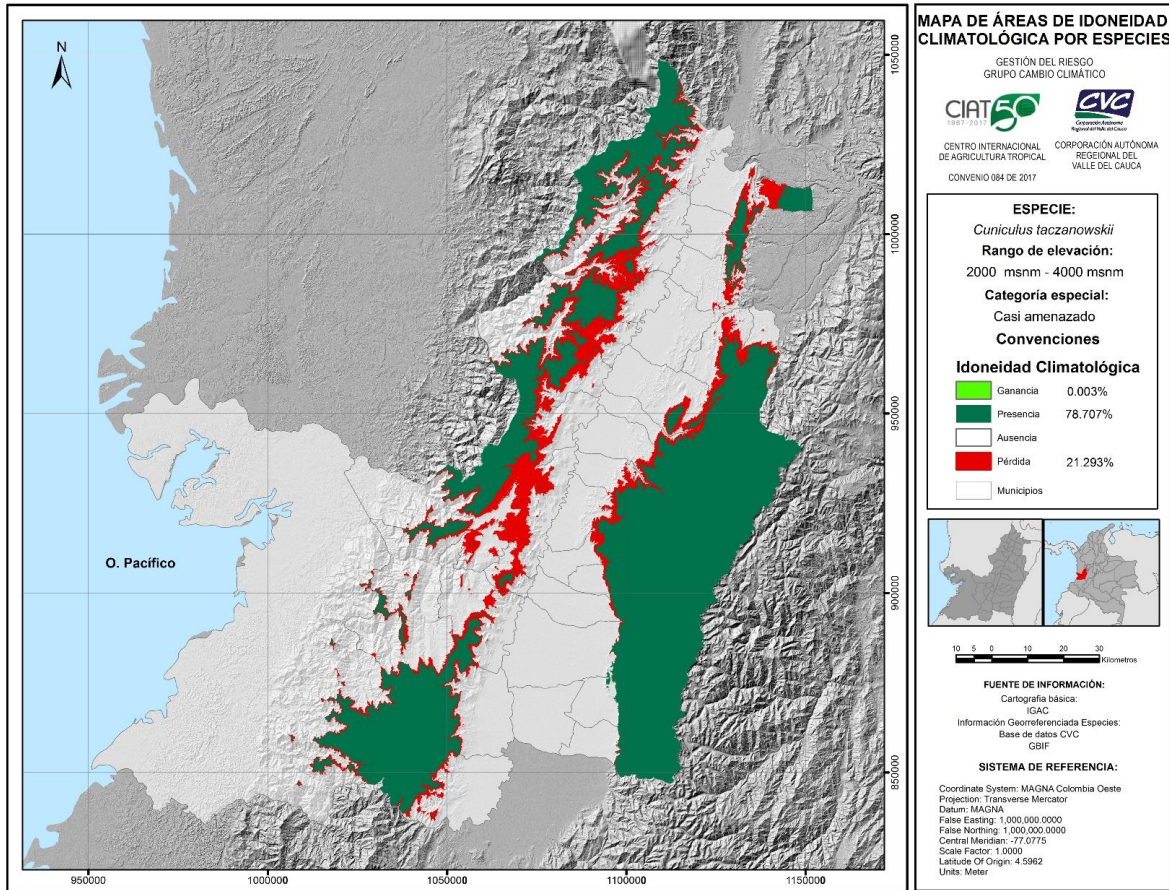
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 25. Mapa obtenido para la especie *Leptosittaca branickii*

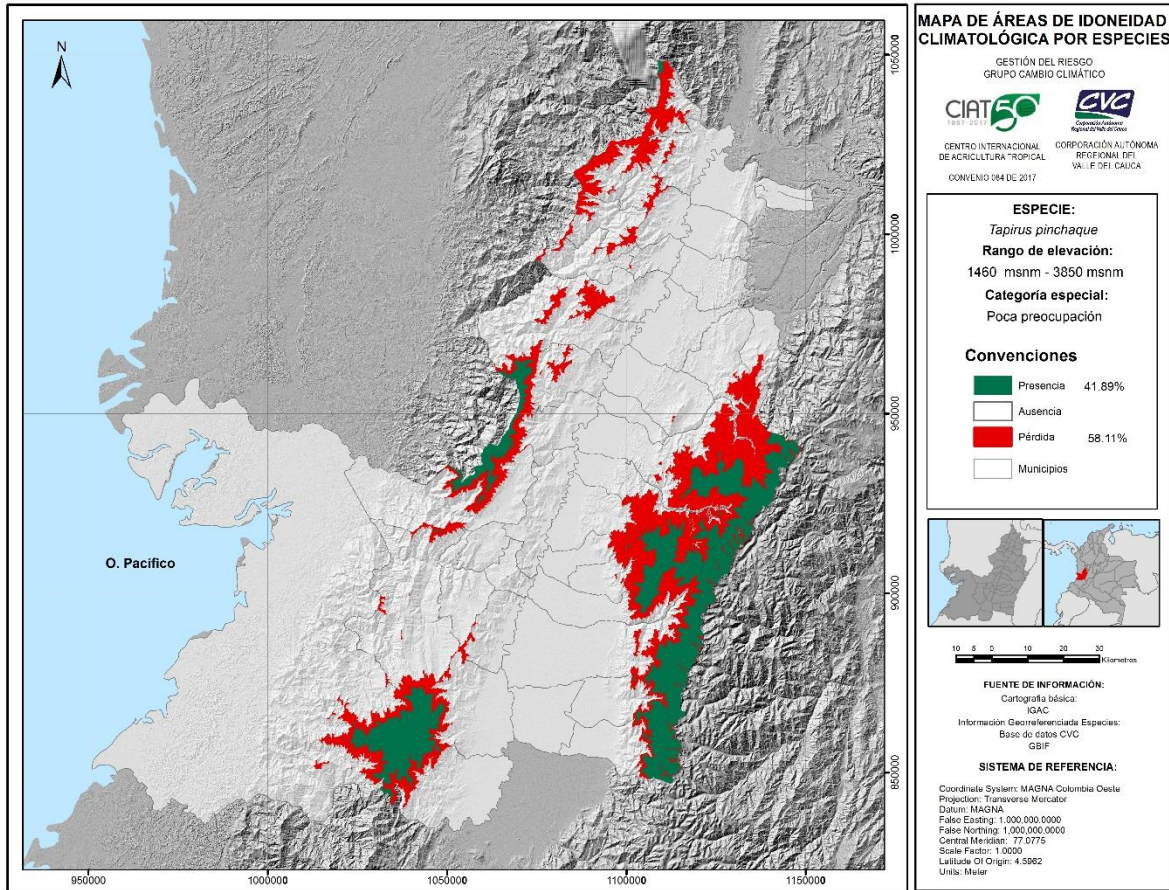
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los mamíferos evaluados conformados por las especies *Cuniculus taczanowskii* (Mapa 26), *Tapirus pinchaque* (Mapa 27) y *Thomasomys aureus* (Mapa 28) mostraron resultados similares a las obtenidos para las otras especies, en donde se presenta pérdidas de áreas climatológicamente idóneas en el escenario de cambio climático futuro.



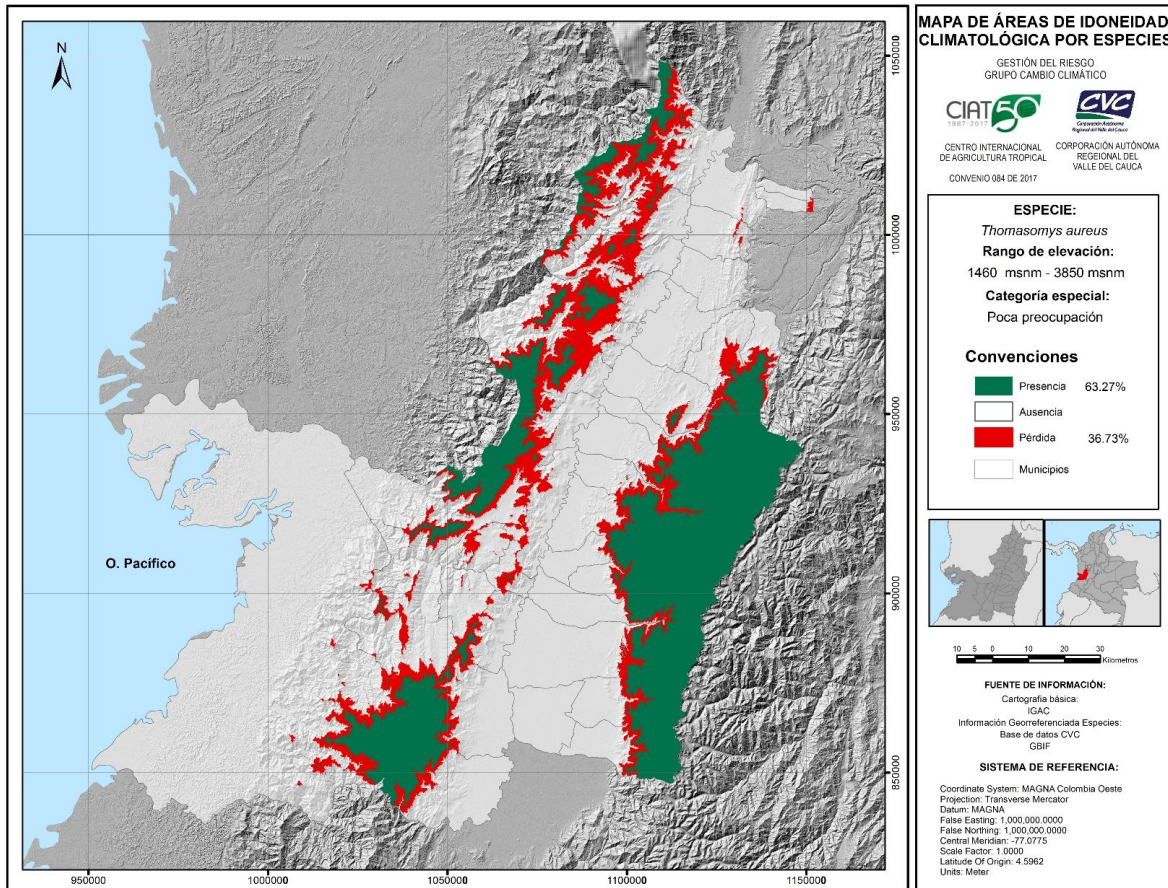
Mapa 26. Mapa obtenido para la especie *Cuniculus taczanowskii*.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 27. Mapa obtenido para la especie *Tapirus pinchaque*.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 28. Mapa obtenido para la especie *Thomasomys aureus*.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Ecosistema de Paramo

Precisión del Modelo

Los modelos de nicho climático son un importante componente metodológico en las áreas de investigación para la conservación y planeación sobre los sistemas biológicos, lo cual es especialmente relevante para los ecosistemas con alta susceptibilidad y vulnerabilidad al cambio climático como los páramos (IPCC, 2014) (Hofstede, et al., 2014).

Desde el punto de vista metodológico, varias propuestas han contribuido a la identificación de los biomas y ecosistemas de páramo (Alarcón-Hincapié & Pabón-Caicedo, 2013) (Sarmiento, 2013). La variación radica en la necesidad de escalar con gran detalle la cobertura azonal ubicada a alturas inferiores a 2600 m y superiores a 4200 m. Debido a

esto, resaltan la importancia de las variables de suelo y de topología para la delimitación. Ya que a través de la modelación climática se puede identificar las variaciones de un rango climático temporal actual comparado al de un escenario futuro, se enfatiza en la utilidad de los resultados de este estudio para la toma de decisiones en el sector ambiental y político, lo cual integrado a información topográfica local, textura de suelos y, características bióticas o abióticas reconocidas en el sistema biológico (afín a un modelo mecanístico), logran una aplicabilidad muy acertada para la creación y construcción de medidas frente a los cambios futuros previstos.

Los acercamientos para identificar las formaciones vegetales descritas por Holdridge consisten en la definición de rangos de precipitación y temperatura o identificación de asociaciones vegetales con parámetros adicionales (potencial de evapotranspiración, biotemperatura, región altitudinal y cinturón latitudinal). Esto es válido en cuanto es posible manipular las variables climáticas básicas y de una manera muy aproximada permite examinar cuáles ecosistemas resultan más sensibles al efecto del cambio climático mediante cambios en su distribución y extensión (Alarcón-Hincapié & Pabón-Caicedo, 2013). Sin embargo, diferentes autores enfatizan en el ajuste mayor de los modelos climáticos y mecanísticos en comparación a los modelos de correlación de Holdridge (Yates, Kittel, & Figges Cannon, 2000). Además de la complejidad que comprende la metodología estadística base de los modelos estocásticos (climáticos), estos han permitido identificar con mayor precisión zonas ecológicas que han sido mapeadas y corroboradas con herramientas de información satelital (Wang, et al., 2012).

Los modelos de nicho ecológico, permiten a gran escala, caracterizar lo que denominamos “nicho climático” del páramo del Valle del Cauca. A esto hace referencia Wang (2012) donde resalta que debido a la complejidad computacional y la cantidad de datos requeridos para parametrizar los modelos mecanísticos, estos pueden presentar retos para generar proyecciones precisas del cambio de un ecosistema y, mientras la complejidad de las variables bióticas (migración de especies, cambio en las interacciones intraespecífica, alteración en los ciclos biogeoquímicos) no se logren integrar junto a las variables abióticas, las metodologías basadas en la construcción del nicho representan un elemento estratégico para evaluar e ilustrar los impactos potenciales del cambio climático y guiar la planeación en el manejo forestal y de los suelos.

Las predicciones acertadas sobre el bioma de páramo en las dos zonas geográficas del Valle del Cauca (Cordillera Central y Occidental) a través de los modelos de nicho climático son soportadas por otros estudios donde hallan un alto desempeño de los modelos para la evaluación de la distribución potencial de los ecosistemas (Riordan & Rundel, 2009) (Sarmiento, 2013). Según las mediciones del AUC obtenidas para los modelos en el páramo las Hermosas (0,728), Duende (0,878) y Farallones (0,735) y valores de fracción del área predicha 0,664, 0,293 y 0,735, respectivamente, indican que todos los modelos en un área idónea cercana a lo delimitado en el polígono real (Mapa 12) incluyen todos los puntos de presencia utilizados para la calibración del modelo, en la medida que el valor de

presencia mínima de entrenamiento (minimum training presence) definido como umbral, asigna como idónea la probabilidad más baja de ocurrencia con una tasa de omisión nula.

Cambios de idoneidad climática y factores antrópicos influyentes en los páramos del Valle del Cauca

Los páramos son un punto análisis clave en los últimos años, ya que estos proveen servicios ambientales indispensables para el sostenimiento de la población humana:

- ✓ Son ecosistemas capaces de brindar agua, aire y depósitos de carbono, clave para el inicio y disponibilidad de nutrientes en los suelos para cultivos y coberturas naturales, además, constituyen hábitats en los que se encuentran un gran número de especies endémicas.
- ✓ Constituyen áreas con potencial de intercepción, almacenamiento y regulación de los flujos hídricos superficiales y subterráneos.
- ✓ Aprovechamiento del recurso hídrico para el desarrollo productivo, el consumo humano y las actividades hidroenergéticas.
- ✓ Áreas de presencia de humedales que actúan como esponjas almacenando y liberando lentamente el agua lluvia, controlando la erosión de los suelos y reteniendo sedimentos y nutrientes.
- ✓ Espacios de importancia cultural para las poblaciones indígenas, tradicionales y locales asentadas en las zonas de alta montaña, pues actúan como ejes de cohesión social y determinan los modos de vida de los habitantes (Hofstede, Dickinson, Mark, & Narváez, 2014).

Debido a lo anterior, los esfuerzos de identificar el cambio de la distribución de los páramos en escenarios climáticos futuros es un punto de análisis decisivo, ya que en sinergia con la dinámica de factores antrópicos, permiten localizar objetivamente zonas prioritarias para la conservación; aquellos nichos bioclimáticos que coincidan con áreas de baja transformación antrópica, cumplen con una función tanto en el escenario actual y futuro, permitiendo la estabilidad en la estructura, dinámica y función biológica de las especies, poblaciones y comunidades localizadas en los páramos.

Uno de los factores que amenaza la existencia de la biota de páramo y que impacta en todas las escalas geográficas es la transformación de los paisajes debido al cambio de uso de suelo (Alarcón Hincapié, et al., 2002). De esta manera, en la cordillera Central, las prácticas mal implementadas para el manejo de la ganadería sobre la vegetación y los ecosistemas de páramo se encuentran relacionadas con el impacto negativo de esta actividad productiva (Van der Hammen, Pabón Caicedo, Gutiérrez, & Alarcón, 2002).

La afectación bajo el efecto del pastoreo y pisoteo consiste en la compactación del suelo, fraccionamiento y reducción de las macollas y formación de terrazas. Las quemadas causan la desaparición de la necromasa (capa orgánica superficial de materia vegetal muerta), disminución de la biomasa vegetal, aparición de especies que se ven beneficiadas por las

nuevas condiciones bióticas (*Acaena cylindristachya*) y aumento de la parte desnuda del suelo.

El estado de los páramos ubicados sobre la cordillera central en el departamento del Valle del Cauca (CVC - INCIVA, 2007) consiste principalmente en una distribución heterogénea de prácticas productivas que impactan esta área. La erosión severa en los diferentes páramos del complejo Las Herosas y Chile Barragán es debida al tipo de actividad agropecuaria realizada y la relación que presenta con el grado de pendientes (inferior al 25%). El páramo Las Domínguez es el que presenta la mayor área porcentual con erosión severa (19,6%) que junto con la pérdida total de la idoneidad climática en un escenario futuro, podría conducir al ecosistema mismo y por ende las especies que habitan en el al borde de la desaparición y fragmentar la conectividad entre las áreas que aún se conserven como idóneas. Seguidamente, los páramos de Barragán-Santa Lucía (6,9%), Peñas Blancas (4,4%) y Tinajas (3,7%) tendrán una gran afectación en orden de deterioro del suelo y por factores climáticos.

El tipo de uso de la tierra corresponde principalmente a actividades de pastoreo en cobertura de pastizales, extracción de productos del bosque en coberturas de bosque natural, áreas para cultivo de hortalizas y cebolla y áreas sin uso en rastrojo y bosque con fin de conservación, lo anterior debido a las actividades productivas más relevantes que son la ganadería extensiva y la agricultura; lo cual es predominante en el páramo de Barragán-Santa Lucía donde sobresalen extensiones de papa y hortaliza (CVC - INCIVA, 2007).

Se estima que entre el 14,73% al 26,83% consisten en áreas de páramos destinadas a la actividad agropecuaria (CVC - INCIVA, 2007). Una importante acotación consiste en la alta extensión que existe en el páramo las Tinajas destinada a la conservación versus el uso agropecuario (relación 9/1) por lo cual será importante enfatizar en la cuantificación de áreas de idoneidad que coincidan con las áreas aún conservadas. Este alcance será limitado en el páramo Barragán-Santa Lucía, al encontrarse un 80% de la extensión del páramo destinada al uso agropecuario. Debido a esto, la influencia del factor conflicto por uso del suelo, directamente relacionado con la presión por transformación de las coberturas, es mayor en las Tinajas y considerablemente menor en Barragán y Santa Lucía, por lo que múltiples factores de naturaleza antrópica configuran el panorama de conservación de los páramos y la necesidad de integrar el componente climático para una medición total del impacto sobre las zonas de páramo.

Desplazamiento zonas de páramo

La transición altitudinal, cambio de asociaciones vegetales y establecimiento de la biota vegetal en los páramos, como indicadores para concluir sobre las dinámicas de la vegetación y fauna, transcurrieron durante múltiples sucesos de cambio climático en el

inicio y mediados del periodo Cuaternario hasta lo que se observa en la época tardía del Holoceno (época actual). Van der Hammen & Cleef (1986) realizan una reconstrucción de la paleoecología de los páramos y bosques en alta montaña, donde se pueden resaltar los siguientes apartes:

1. Desde la formación de la Cordillera de los Andes durante el Paleoceno (66 millones de años) e incluso en el Mioceno, la existencia de formaciones vegetales de páramo en la altura actual era nula.
2. Solo hasta la época del Plio-Pleistoceno (4-5 millones de años) la formación Andina se levanta hasta las elevaciones actuales.
3. La existencia de bosques primarios ocurrió luego de continuos eventos volcánicos, principalmente en elevaciones no superiores a 2500 m.
4. Durante el Plioceno temprano (2-4 millones de años) se dio la evolución de los cinturones altitudinales de alta montaña (bosques altoandinos y paramo) compuestos por especies de la familia Poaceae, Cyperaceae, Asteraceae, Ericaceae; las áreas de distribución de *Espeletiinae* coinciden en gran parte con regiones más jóvenes (5 millones de años) (Hooghiemstra, Wijninga , & Cleef, 2006).

Los sucesos de glaciación e interglaciación, hace aproximadamente 2.6 millones de años atrás, llevaron a una fluctuación de zonas climáticas y a la alternancia repetitiva (15 a 20 veces) entre bosques altoandinos y de páramo, lo que facilitó la formación de zonas intermedias de especiación y posiblemente un inicio al alto endemismo presente en esta zona (Hooghiemstra & Van der Hammen, 2004).

5. En el Cuaternario tardío (44.000 – 21.000 años atrás), durante la Última Máxima Glaciación, la fluctuación climática se mantiene, pero con pequeñas temporadas de frío extremo. En este tiempo geológico la vegetación de páramo logra establecerse en el área actual y domina en elevaciones inferiores.
6. Los páramos en tiempos posteriores se traslada a elevaciones inferiores, desde 2.000 a 2.700 m, donde hubo contacto con los bosques cerrados, debido principalmente a condiciones climáticas frías y secas, donde la temperatura media anual pudo ser menor a 6-7 grados de la actual, lo que indica que las pequeñas islas de páramo actuales conformaron un cinturón continuo en unión, al igual que el límite de bosque actual ocurrió en un rango altitudinal inferior a 1.500 metros.
7. En la época del Holoceno (10.000 años atrás), las temperaturas altas facilitaron que los límites superiores del bosque llegaran a elevaciones superiores a las actuales y que la vegetación de páramo quedara restringida entre 3.300-3.500 m.
8. Posteriormente, entre 7.500 a 3.000 años la temperatura superó en 2 grados la actual, causando la elevación del límite superior del bosque entre 300-400 metros y por tanto, una reducción en el área ocupada por páramo.

9. Finalmente, hace 2.900 años, hubo una disminución de la temperatura que marcó el último desplazamiento del límite del bosque y páramo a lo actualmente ocupado. Aquí se resalta el papel del cambio de la temperatura, el desarrollo de los suelos junto al incremento de la humedad que condujeron a la formación del páramo presente.

De esta manera, la compleja dinámica de los ecosistemas de alta montaña no puede resumirse a un rango temporal corto ni a un suceso eventual de extremos climáticos, a los cuales los sistemas naturales se encuentran adaptados (Luteyn, 1999). Evidentemente las especies de páramo lograron establecerse en un nicho climático restringido de alta montaña gracias a adaptaciones adquiridas en un tiempo geológico y evolutivo extenso; así, las especies presentan características que les permite tolerar fríos y radiación solar extrema, variaciones climáticas y alta exposición a rayos ultravioleta, baja presión atmosférica y vientos fuertes, a través de diferentes modificaciones morfológicas, fenológicas y evolutivas (Luteyn, 1999) & (Herzog, Martinez, Jorgensen, & Tiessen, 2011).

Sin embargo, bajo condiciones cambiantes, entra a influir una significativa reducción de la precipitación, un aumento en la temperatura media anual, la reducción del número de días fríos y una reducción de la nubosidad (Van der Hammen, Pabón Caicedo, Gutiérrez, & Alarcón, 2002), que conducen, en un tiempo no mayor a 30 años, a un estrés climático y por tanto, a la posible modificación de caracteres ecológicos en las especies. Al implicar un tiempo corto y bajo diferentes influencias antrópicas dominantes en la zona limítrofe con los bosques montanos, la comunidad paramuna podría enfrentar una situación precaria para su permanencia y posible extinción en todos los niveles jerárquicos, en un efecto cascada a múltiples escalas, tanto en zonas sobre el óptimo climático en la Cordillera Central y Occidental.

Como se menciona, la transición del límite superior del bosque (treeline) a páramo se estima que ocurrió entre 10 a 15 veces en un tiempo que abarca 2,5 a 3,9 Ma desde el inicio del Cuaternario (2,6 - 4 Ma) hasta el tiempo del último reporte de interglaciación (2,9 Ma). En consecuencia, si se asume una transición uniforme, las formaciones boscosas y no boscosas en páramo tomaron al menos entre 259,9 a 266,1 años para diferenciarse entre sí, en un contexto de detección palinológico. A partir de este hecho, varias discusiones pueden surgir en cuanto al desarrollo de estos sucesos en el tiempo, dado que la evidencia ratifica la transición vegetal, pero las consecuencias, decisiones y asunciones actuales deben contextualizarse en el tiempo geológico requerido para la adaptación del conjunto de especies, en la escala temporal de la variación climática y la influencia antrópica, como factores actuantes sobre el posible cambio de especies en un escenario futuro de cambio climático.

Según lo mencionado, es de esperarse que un aumento de temperatura de dos grados centígrados en un rango anual de 30 años, las especies (flora y fauna) no reflejen un cambio estructural aparente, y por lo tanto su dinámica y función ecológica se mantengan hasta

ese momento. No obstante, el cambio de temperatura y precipitación en el entorno y suelo, así como el aumento de CO₂ atmosférico junto al impacto antrópico que históricamente se reconoce en los ecosistemas Andinos, adquiere un papel relevante para explicar la posible transición de vegetación paramuna a zonas inferiores o de plantas de alto porte hacia pisos superiores. Esta afirmación es soportada por Hofstede *et al.* (2014) Quienes en un área muy conservada en la zona Andina de Ecuador, no observaron una diferencia significativa en la estructura y composición de diferentes parches de bosque altoandino y páramo, y por tanto comprueban la inexistencia de un límite de bosque superior en la localidad. De esta manera, los autores aluden a las acciones antrópicas la existencia de límites de bosque en otras áreas intervenidas, más no la presencia de parches de plantas leñosas en medio de pastos y arbustos de páramo.

No obstante esta afirmación tiene serias consecuencias, pues aquí se estaría ligando el cambio de clima como factor causal del desplazamiento y no, como elemento sinérgico. Al ocurrir un suceso tan complejo, el cual está sujeto a múltiples factores abióticos como bióticos, que directa o indirectamente se ven influenciados por el clima, el fenómeno parece tomar un papel causal una vez la intervención antrópica severa que persiste en este sistema repercute en la transformación del paisaje natural. Varias cuestiones relacionadas a lo que se ha mencionado siguen en debate (Ruiz Carrascal , et al., 2011), donde soluciones ligadas a la investigación en bosques paramunos muy conservados surgen como punto de partida para un monitoreo a largo plazo de los ambientes cambiantes externos y su relación con la dinámica espacial de las especies en el páramo. Asimismo las acciones de adaptación deben enfocarse en la regulación y mejora de la implementación de las prácticas productivas para un bien común humano, donde se resalta que bajo nuevas estrategias de manejo en los ecosistemas de alta montaña se podrá dilucidar la verdadera respuesta en el ecotono bosque y vegetación arbustiva paramuna, como también a un espacio de regeneración natural con consecuencias positivas para la recuperación de la abundancia y riqueza de las especies locales, interacciones específicas, función ecológica y disponibilidad de bienes ambientales.

Biodiversidad

El objetivo de este componente fue evaluar los efectos del cambio climático sobre 10 especies características de ecosistemas de alta montaña en el Departamento Valle del Cauca, entre las cuales se encuentran 3 especies de flora y 7 de fauna en un escenario de cambio climático RCP4.5 para el año 2040. En términos generales se observó que las especies mostraron cambios en las zonas climatológicamente idóneas en el escenario futuro con respecto a las condiciones presentes, estos cambios estuvieron asociados a grandes pérdidas de área con un promedio de 37,6% para todas las especies. Estudios realizados por Ramirez-Villegas en (2014) en los andes tropicales han encontrado comportamientos similares, en donde para la década de 2050, se espera que más del 50% de las especies evaluadas -11,012 especies de aves y plantas vasculares- experimentarán

reducciones de al menos un 45% en su nicho climático, mientras que el 10% de las especies podría extinguirse.

Este comportamiento puede explicarse debido a que es bien conocida la relación existente entre el cambio climático y la biodiversidad, reconociendo que al cambiar las condiciones ambientales dentro de las cuales existen las especies, se induce una respuesta adaptativa por parte de las mismas (Perrings, 2010). Aunque se ha encontrado una variedad de respuestas de las especies al cambio climático, se proyecta que las especies promedio tienen rangos geográficos más pequeños y más fragmentados como consecuencia de cambios distributivos inducidos por el cambio climático (Velásquez-Tibatá, Salaman, & Graham, 2013). Para el caso específico de regiones tropicales de alta montaña, suele presentarse desplazamiento de los rangos altitudinales de las especies hacia mayores elevaciones donde el gradiente latitudinal de temperatura no es acentuado y la mejor forma de acceder a temperaturas inferiores, para mantener las condiciones óptimas, es subir las montañas (Forero-Medinaa, 2017).

Sin embargo, es importante aclarar que las zonas presentadas incluirán en algunos casos climas que en un escenario actual no están comprendidos dentro de las áreas accesibles para las especies evaluadas. Por consiguiente, las áreas que fueron catalogadas como pérdida de idoneidad climática, no significan directamente que las especies desaparecen de esta región, más bien, es posible afirmar que estas áreas en un escenario futuro presentarían una mayor vulnerabilidad debido a que presentarían nuevas combinaciones de temperatura y precipitación que no se encuentran actualmente en el Neotrópico.

Así, aparentemente los impactos de las alteraciones climáticas en las distribuciones de especies serán proporcionalmente más perceptibles en los ecosistemas de montaña que en las zonas bajas. Adicionalmente, es probable que la severidad de estos impactos se intensifique debido a la alta proporcionalidad de especies de rango restringido que conforman estos ecosistemas (Cuesta-Camacho, Peralvo, & Ganzenmüller, 2008). Las especies que ya viven cerca de la cima de los gradientes altitudinales se enfrentan a la "extinción en la cumbre" a menos que tengan poblaciones disjuntas en otras partes de las montañas más altas o en latitudes más frías (Colwell, Brehm, Cardelus, Gilman, & Longino, 2008).

Uno de los grupos que podría verse más afectado por las variaciones en las condiciones ambientales son los anfibios, debido a su alta sensibilidad y dependencia de su entorno. Los resultados obtenidos en esta investigación corroboran esta teoría, ambas especies de anfibios estudiados presentaron cambios negativos asociados a las áreas esperadas como climatológicamente idóneas en el futuro. Específicamente, la especie *Centrolene buckleyi* presentó los resultados más alarmantes con la pérdida de más del 96% de sus áreas climatológicamente idóneas en el escenario futuro. Esta especie está catalogada actualmente por la IUCN como vulnerable y se encuentra reportada en Libro rojo de los anfibios del Valle del Cauca.

Estudios recientes han afirmado que encontrar las poblaciones de esta especie en el Valle del Cauca se ha convertido en una tarea realmente difícil, mientras que otros centrolenidos de histórica simpatria con ella, aún permanecen (Castro-Herrera & Bolívar-García, 2010). Con relación a las condiciones de sus habitantes, los individuos de esta especie suelen ser afectadas por los cambios climáticos que producen una reducción en la humedad, esto asociado con sus ciclos de vida repartidos entre el agua y la tierra o directamente en tierra pero siempre dependientes de la humedad (Castro-Herrera & Bolívar-García, 2010).

En términos generales se ha encontrado que el aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones pueden ser factores de estrés para los anfibios, haciéndolos más susceptibles a las enfermedades o que las temperaturas y la baja humedad den camino a patógenos oportunistas. Así, los cambios climáticos pueden actuar indirectamente causando cambios biológicos locales que aumentan la mortalidad en los anfibios (Castro-Herrera & Bolívar-García, 2010).

Colombia es uno de los ocho países con mayor responsabilidad por el aumento en el riesgo de extinción de especies, en especial por el deterioro de los anfibios (Forero-Medinaa, 2017). Esto debido a que, en general las especies amenazadas que habitan en Colombia no parecen estar mejorando su estado de conservación como se observó con *Centrolene buckleyi*, los individuos de esta suelen estar presentes en varias áreas protegidas de Colombia pero su distribución se encuentra muy fragmentada y persiste una disminución en la extensión y calidad de su hábitat (Castro-Herrera & Vargas-Salinas, 2008). Para reducir el riesgo de extinción a nivel global se requiere invertir en acciones de conservación en los países con mayor biodiversidad del planeta y que a su vez enfrentan amenazas importantes para su persistencia.

Por su parte, para las aves evaluadas el panorama no es más alentador, se obtuvo que estas perderán cerca del 53.45% - *Eriocnemis derbyi*- y -67.17% - *Leptosittaca branickii*- de sus áreas climatológicamente idóneas en un escenario futuro. Valores que superan por mucho lo obtenido por otras evaluaciones realizadas en el país, que han encontrado que cerca de los 4-9% de las proyecciones de hábitat adecuados para las especies de aves pueden desaparecer por completo en Colombia en 2050 bajo escenarios de cambio climáticos (Moreno, Andrade, & Ruíz, 2017) (Velásquez-Tibatá, Salaman, & Graham, 2013). En el caso específico de los psitácidos familia a la que pertenecen *Leptosittaca branickii*, evaluaciones realizadas en México, han determinado que en un futuro cercano, también se podrán ver afectados por los efectos de los cambios climáticos, que podrán ocasionar extinciones locales, variaciones en las áreas de distribución y recambio de especies (Plasencia-Vázquez, Escalona-Segura, & Esparza-Olguín, 2014)

Las especies muestran patrones distintos de respuestas de acuerdo a sus características de vida y su relación con el ambiente, sin embargo en términos generales las implicaciones del cambio climático sobre las poblaciones de aves incluyen modificaciones en sus patrones crianza; cambios en el momento de la migración; cambios en el rendimiento

reproductivo (tamaño del huevo, éxito de anidación); cambios en el tamaño de la población; cambios en las distribuciones de la población; y cambios en los diferenciales de selección entre los componentes de una población. Las aves tienen la capacidad de ser bioindicadores importantes, un concepto fácilmente comprensible para el público en general y los tomadores de decisiones debido a que las aves son populares y suelen tener un estatus icónico o carismático en todo el mundo (CRICK, 2004).

Ahora bien, el clima es uno de los factores que delimitan la distribución de las plantas, ya que cada especie requiere de ciertas condiciones de temperatura, humedad y luz para germinar, crecer, florecer y fructificar (Guitérrez & Trejo, 2014). Se espera que bajo un escenario de aumento de la temperatura provocado por el cambio climático las plantas catalicen su migración en busca de hábitats óptimos. Las especies de plantas analizadas *Calamagrostis effusa* y *Cyrtochilum ramosissimum* presentaron este comportamiento, debido a que ambos casos se evidencian movimientos de las áreas climatológicamente idóneas con una pérdida en el escenario futuro de cerca 17% de dichas áreas, en el caso de la primera especie estas áreas de pérdida representan 128.349,12 ha y en la segunda de 58.425,2ha. Las orquídeas como *Cyrtochilum ramosissimum* pueden responder a los desafíos del cambio climático cambiando su nicho climático a lo largo de tres ejes no exclusivos: tiempo -por ejemplo, fenología-, espacio -por ejemplo, rango- y uno mismo -por ejemplo, fisiología- (Reina-Rodríguez, Mejía, Llanos, & Soriano, 2017).

No todas las especies de un ecosistema determinado son igualmente vulnerables al cambio climático. En algunos casos, los individuos se ven fuertemente favorecidos por la ganancia de áreas, ampliando su rango potencial de distribución (Thuiller, 2007). Este es el caso de *Espeletia hartwegiana* que según la modelación realizada presentó un aumento de su rango climatológicamente idóneo de cerca del 10,7%. Esta especie hace parte del género *Espeletia*, conocidos comúnmente como frailejones, catalogado como uno de los grupos vegetales más representativos de los ecosistemas de páramo. Las especies de este grupo poseen estructuras xeromórficas que contribuyen con la regulación del ciclo hídrico, además de producir un gran porcentaje de la biomasa en el ecosistema, prevenir la erosión del suelo y tener interacciones con más de 125 especies de animales. Además, no solo gozan de una enorme importancia ecológica, sino que también son culturalmente importantes (Cortés-Duque & Sarmiento-, 2013).

Específicamente, la especie *Espeletia hartwegiana* es una de las pocas especies de frailejones que se encuentra en múltiples localidades de páramo, incluso es posible verla en el ecosistema transicional entre el bosque alto andino y el páramo, debió que su rango de distribución potencial abarca elevaciones desde 2.370 m.s.n.m. Hasta los 4.500 m.s.n.m. (Diazgranados, 2013). Adicionalmente, ha sido reportado que algunas especies del género *Espeletia* son consideradas altamente competitivas, siendo estas más exitosas en el ecosistema transicional entre el bosque-páramo como elementos emergentes. Inclusive, recientemente se ha observado una marcada alteración de la posición altitudinal y dinámica del ecotono bosque-páramo (ej. descenso altitudinal, límites abruptos,

sucesiones detenidas), generándose una sustitución de la vegetación boscosa por una vegetación abierta secundaria dominada por especies del páramo con buena capacidad de colonización (Llambí, 2015).

Por otra parte, algunas especies de frailejones pueden ser pioneras agresivas, con gran tasa de fertilidad y crecimiento relativamente rápido (Diazgranados, 2013) considerados en los páramos las comunidades vegetales mejor adaptadas a las condiciones de alta montaña (Vargas A. M., 2014). En el caso de las plantas, la fotosíntesis y, por tanto, el crecimiento y la productividad, se ven directamente afectados por la temperatura y la concentración atmosférica de CO₂. Esta última, ha estado aumentando desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad (Hughes, 2000). Evoluciones realizadas principalmente en cultivos recientemente han demostrado el efecto de fertilización directa en las plantas asociada a elevadas concentraciones de CO₂, encontrando inclusive en algunas especies de coníferas subalpinas de gran altitud, como el pino *Pinus aristata*, donde el carbono recién fijado se asigna principalmente al crecimiento cambial (Hughes, 2000).

Sin embargo, dada la marcada heterogeneidad de las zonas de alta montaña en los andes tropicales y la limitada comprensión de los procesos abióticos y bióticos que controlan la dinámica de la vegetación, se hacen necesarios estudios detallados sobre estos procesos, para poder predecir la velocidad de respuesta de la vegetación frente al cambio climático (Llambí, 2015). Por ello es importante desarrollar herramientas que permitan analizar la interacción entre procesos como el aumento en la temperatura, que pudieran inducir un ascenso altitudinal del bosque, y procesos que inducen el desplazamiento de su límite por debajo de su óptimo climático (Llambí, 2015).

Finalmente, los mamíferos evaluados conformados por las especies *Cuniculus taczanowskii*, *Tapirus pinchaque* y *Thomasomys aureus* mostraron resultados similares a los obtenidas con las otras especies, en donde se presentan pérdidas de áreas climatológicamente idóneas en el escenario de cambio climático futuro. Dentro de las especies de este grupo es importante resaltar a *Tapirus pinchaque*, conocido comúnmente como tapir de montaña, la conservación de esta especie es clave debido a su papel ecológico como dispersor de semillas y su compleja historia de coevolución y adaptación a los ambientes andinos (Ministerio de Ambiente, 2005). Se obtuvo para esta especie una reducción de más del 50% de las áreas climatológicamente idóneas resultado similar a lo obtenido por estudios realizados para la misma especie en el Ecuador donde el modelo de idoneidad mostró una reducción importante en el área de distribución. Las poblaciones de esta especie se consideran fragmentadas como resultado de las actividades humanas y se estima que la población total es inferior a 2.500 individuos maduros, con una disminución continuada estimada de al menos 20% en las 2 generaciones siguientes (22 años) (Lizcano, Amanzo, Castellanos, Tapia, & Lopez-Malaga, 2017).

El tapir de montaña como muchas de las otras especies evaluadas en este estudio enfrenta graves amenazas para su supervivencia. Por ello, es necesario que sobre sus hábitats

también se generen acciones de manejo con la implementación de programas de conservación que incluyan acciones no solo enfocadas hacia la protección de la especie sino del papel ecológico que tiene dentro de un ecosistema y el efecto de su desaparición para el equilibrio de mismo (RINCON, 2015).

Conclusión

El cambio climático será un factor influyente para las especies y los ecosistemas de paramo en el departamento del Valle del Cauca. Se puede afirmar como conclusión, que tanto las áreas de ecosistemas de paramo estudiadas como las especies presentaron cambios, en su mayoría negativos, de las áreas climatológicamente idóneas bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5 a 2040. En el caso de los ecosistemas de paramo para el Valle del Cauca, el Duende presentara las mayores áreas de pérdida de idoneidad climatológica con relación a los demás ecosistemas de paramos estudiados en el departamento convirtiéndolo.

Finalmente, es posible afirmar que las evaluaciones realizadas pueden ser considerados una herramienta útil para medir las implicaciones del cambio climático en los ecosistemas de paramo y la biodiversidad de especies asociadas a estos ecosistemas presentes en el Valle del Cauca, de igual forma puede apoyar la planeación, ejecución y evaluación de acciones de conservación, ya que el conocimiento sobre los factores que influyen en la distribución de las especies es de importancia para los investigadores y administradores de la vida silvestre (Plasencia-Vázquez, Escalona-Segura, & Esparza-Olguín, 2014). Sin embargo, es importante aclarar que las respuestas individuales de los ecosistemas de paramo y las especies a las diferentes tasas de cambio climático no solo están determinadas por factores climáticas, también influyen caracteres ecológicos de la especie (es decir, la capacidad de dispersión), las interacciones entre especies (es decir, la competencia) y / o por su respuesta fisiológica al estrés, lo que lleva (en algunos casos) a diferentes resultados (Ramirez-Villegas, et al., 2014).

Es necesario resaltar la necesidad de incluir de otras variables que controlan la respuesta de la vegetación en el páramo en futuros estudios, como son la geomorfología, el relieve y el material parental, que al estar expuestos a variaciones climáticas permiten el desarrollo de la cobertura paramuna (Sarmiento, 2013), por lo que el alcance de este estudio permite evaluar la respuesta a nivel de formación vegetal en páramo más no a nivel de asociaciones vegetales que involucren patrones históricos de la biogeografía y ecología de la comunidad biológica (Alarcón-Hincapié & Pabón-Caicedo, 2013).

Análisis de Vulnerabilidad del ecosistema de páramo frente al cambio climático en el Valle del Cauca

Marco metodológico y proceso metodológico

El marco metodológico propuesto es igual al que se ha planteado anteriormente en el apartado Marco metodológico en el Análisis de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico frente al Cambio Climático en el Valle del Cauca, de igual manera el Proceso metodológico del mismo título.

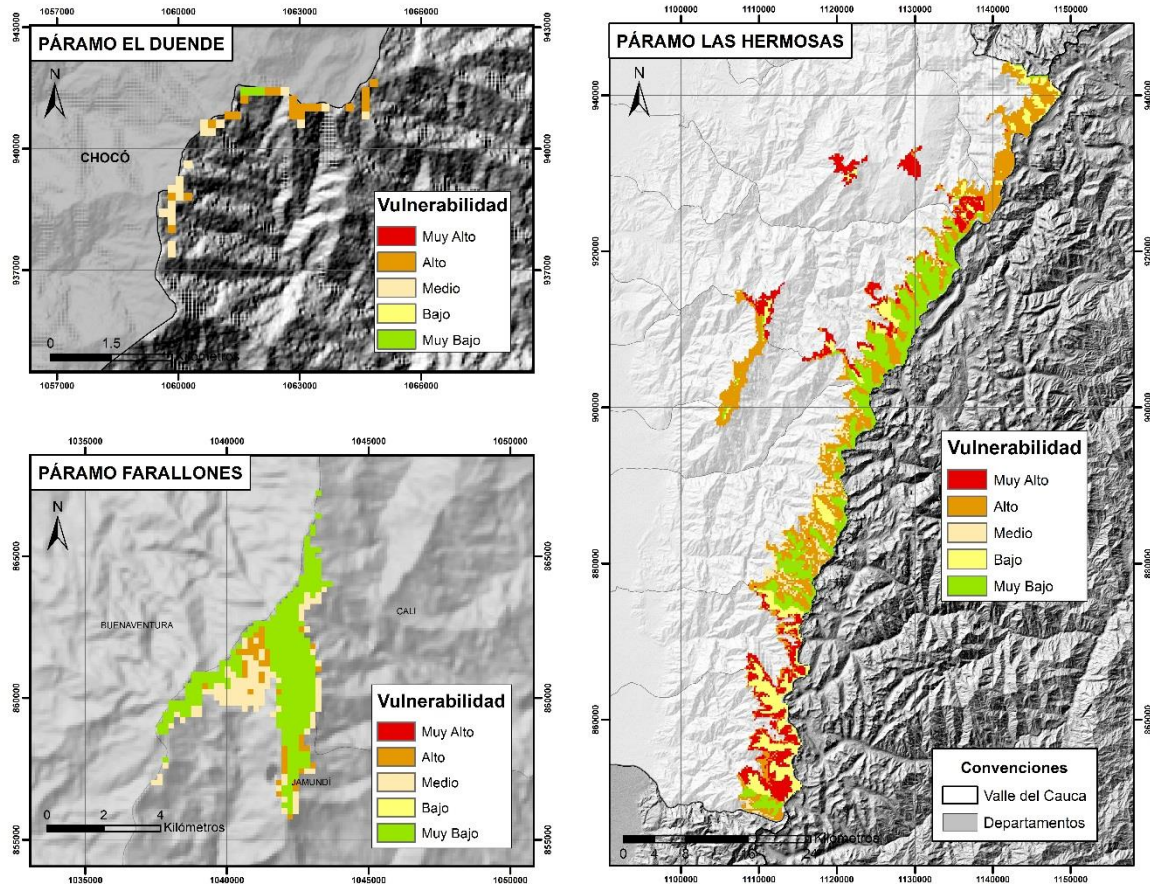


Figura 30. Vulnerabilidad de los ecosistemas de páramo.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de vulnerabilidad de páramos en el Valle del Cauca arrojó resultados críticos en especial en el Páramo Las Hermosas, al este del departamento sobre la Cordillera Central, en área de jurisdicción de los municipios de Florida y Pradera, donde la vulnerabilidad está en la categoría de “muy alta”. Sobre el mismo páramo en área de los municipios Buga, Tuluá y Sevilla, presenta vulnerabilidad “alta” y “muy alta”, siendo esta última menos frecuente, también se destaca la “muy baja” vulnerabilidad en la parte más alta de los municipios de Buga, El Cerrito y Palmira.

En el Páramo Farallones el análisis arrojó que en su mayoría presenta una vulnerabilidad catalogada como “muy baja”, sin embargo presenta pequeñas zonas con vulnerabilidad media y alta en el área que drena al municipio de Jamundí, en la subzona hidrográfica de los ríos Claro y Jamundí.

Al oeste del departamento en la zona limítrofe con Chocó, en la parte alta de los municipios de Calima y Riofrío, se encuentra localizado el Páramo El Duende, que en términos generales presenta una vulnerabilidad que oscila entre “media” y “alta”.



Análisis del impacto del Sector Agrícola frente al cambio climático en el Valle del Cauca

Contexto

El aumento ilimitado de las emisiones de gases está subiendo la temperatura del planeta. Las consecuencias incluyen el derretimiento de glaciares, el aumento de las precipitaciones, la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, y modificaciones en las estaciones del clima. El ritmo acelerado de cambio climático, junto con el aumento de la población y de los ingresos a nivel mundial, amenaza la seguridad alimentaria en todas partes (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), 2009).

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial. (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), 2009)

Probablemente las más afectadas sean las poblaciones de los países en vías de desarrollo, desde ya vulnerables y presas de la inseguridad alimentaria. Por esta razón, se propone con este estudio dar a conocer una primera aproximación de la caracterización agroclimática y la clasificación de los impactos del cambio climático sobre la productividad de los cultivos más significativos para la seguridad alimentaria en el departamento del Valle del Cauca. Así como la identificación de medidas a adoptar para mitigar los efectos del cambio climático en las zonas identificadas como más vulnerables.

En el marco de este convenio, se consideró relevante evaluar el cambio potencial en la distribución y rendimiento de los cultivos previamente priorizados para el departamento, por medio de la modelación de la distribución espacial de los cultivos, ya que la falta de conocimiento detallado de la distribución de las especies vulnerables sobre todo en el escenario futuro debido al aumento progresivo del cambio climático, representa una gran preocupación en la gestión y conservación de ciertas especies por su importancia en la seguridad alimentaria de la población, siendo esta, una de las prioridades para cualquier toma de decisiones e implementación de planes de acción (Figueroa, Stucchi, Rojas, & Pinto, 2016). Es por esto, que la modelación del hábitat es una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para predecir el efecto sobre el cambio en la distribución de las especies como resultado de los cambios en las temperaturas y regímenes pluviales afectando drásticamente el nicho de cada una de las especies.

Metodología

Un indicador de aptitud climática para determinar el crecimiento, desarrollo y reproducción de un cultivo, permite predecir y evaluar el éxito o fracaso de los cultivos en determinada zona. No obstante, se entiende que cualquier cultivo tiene un nicho específico el cual es necesario para el desarrollo y la productividad del mismo. Por lo tanto, aquellos cultivos que se encuentran en el margen climático necesario para la producción son menos productivos y más sensibles a cualquier cambio de clima. Sin embargo, no todos los cambios de clima son negativos, en ocasiones pueden ser positivos para la producción, cuando estos responden al rango óptimo de producción en determinados cultivos (CIAT, 2015). Por esta razón, se propone a partir del modelo EcoCrop y MaxEnt realizar el análisis de aptitud climática de los cultivos de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Plátano (*Musa paradisiaca*), Naranja (*Citrus Sinensis*), Mandarina (*Citrus reticulada*), Limón (*citrus aurantifolia*), Piña (*Ananas comosus*), Aguacate (*Persea americana*) y los pastos Estrella (*Cynedon plectostachyus*, y *C. nlemfuensis Vanderyst*), *Brachiaria (Brachiaria brizantha, B. humidicola, B. decumbens, y B. dictyoneura)* y Kikuyo (*Pennisetum Clandestinum Hochst. Ex Chiov*, y *P. purpureum Schumach*) para determinar el efecto del cambio climático en la distribución espacial de estos cultivos priorizados en el departamento del Valle del Cauca para el año 2040.

Los resultados que se obtienen con estos modelos permiten abordar diversas temáticas, importantes desde el punto de vista de la política pública. En las nuevas áreas con aptitud para determinado cultivo las preguntas se refieren al tipo de cultivos que se desarrollan actualmente en esas áreas y al tipo de infraestructura que existe en ellas, para atender el desarrollo de los nuevos cultivos. En las áreas que se vuelven más aptas las preguntas se refieren a cómo aprovechar las ventajas comparativas que se crean y a cómo mitigar los impactos ambientales del incremento de la producción de los cultivos que ganan aptitud. En las áreas que pierden aptitud las preguntas refieren a la necesidad de desarrollar nuevas variedades más aptas ante las nuevas condiciones y al desarrollo de prácticas alternativas de manejo. Y finalmente en las áreas que dejan de ser aptas las preguntas relevantes remiten sobre el tipo de cultivos que se podrían desarrollar como alternativa y quienes serían los afectados con la pérdida de aptitud (FAO, 2013).

Modelación con EcoCrop

EcoCrop es un modelo mecanístico sencillo que busca evaluar el nicho principal para el desarrollo de un cultivo generando un índice de aptitud climática del mismo. En este caso se utilizó la metodología presentada por el modelo para pronosticar el impacto del cambio climático sobre la aptitud de algunos de los cultivos priorizados para el Departamento del Valle del Cauca, con el fin de predecir espacialmente la aptitud de los cultivos sin tener datos de presencia de la especie. Este principalmente se basa en el conocimiento previo de los requerimientos climáticos óptimos para el desarrollo adecuado del cultivo,

basándose en un simple algoritmo que permite establecer áreas de idoneidad climática donde el cultivo se pueda desarrollar en óptimas condiciones y con un buen nivel de productividad a partir información de temperatura y precipitación (CIAT , 2015). El modelo establece tres áreas que definen la aptitud climática de un cultivo determinado: condiciones óptimas, condiciones subóptimas, y condiciones no aptas o de muerte, para esto el modelo busca zonas donde los valores óptimos de precipitación y temperatura concuerdan, y a esos valores le asigna el mayor porcentaje de aptitud climática (100%), a medida que los valores de precipitación y temperatura de las zonas del área de estudio se alejan de las condiciones óptimas, el porcentaje de actitud climática disminuye hasta llegar a zonas no aptas (valores menores al 50%), presentando un mapa con un gradiente de colores, identificándose así las zonas más idóneas y no aptas para los cultivos en el escenario actual y futuro, lo cual puede utilizarse para definir áreas vulnerables para intervenciones de adaptación, para estimar potenciales cambios en nichos geográficos y sus potenciales implicaciones en seguridad alimentaria y económica (Pantoja, 2012).

Este modelo se utilizó en este estudio para la modelación de los cultivos de frijol, plátano, naranja, mandarina, y limón. Los parámetros requeridos por el modelo EcoCrop se encuentran consignados en la Tabla 20, estos valores fueron verificados con expertos y con literatura que lo respaldan. Además, se consultó la base de datos EcoCrop de la FAO que contiene los requerimientos de ciertos cultivos con el fin de corroborar la información.

Tabla 20. Información de los cultivos priorizados para del Departamento del Valle del Cauca

Cultivo	Frijol	Plátano	Naranja	Limón	Mandarina	Piña
Gmin	90	-	180	365	60	330
Gmax	170	36	365	365	365	365
Gsl (meses)	3	-	-	-	-	-
Tkill (°C)	0	0	0	0	0	0
Tmin (°C)	13.5	15	13	12	12.5	10
Topmin (°C)	17.5	16	20	20	21	21
Topmax (°C)	23.1	24	30	28	27	30
Tmax (°C)	25.6	35	35	32	30	36
Rmin (mm)	200	700	450	750	247	550
Ropmin (mm)	363	1000	1200	1200	1046	800
Ropmax (mm)	450	2000	2000	1500	2000	2500
Rmax (mm)	710	5000	2700	2300	2700	3500

Fuente: FAO

Los resultados obtenidos por este modelo fueron comparados con los resultados del Censo Agropecuario 2014 realizado por el Departamento de Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), el cual proporciona información estadística, georreferenciada y actualizada del sector agropecuario para cada uno de los cultivos, con el fin de validar dichos resultados.

Generación de la línea base para el clima actual

Para generar la línea base climatológica de la zona de estudio, se realizó la línea base para el periodo 1981 - 2010 generada a partir de las estaciones meteorológicas disponibles de IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), de CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) y CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia) distribuidas espacialmente a lo largo del departamento del Valle del Cauca, a partir de las cuales se obtuvieron los datos diarios de precipitación y temperatura, las cuáles se agregaron a nivel mensual y posteriormente se promediaron en normales climatológicas de 30 años. Dichas estaciones fueron procesadas y analizadas siguiendo una metodología similar descrita por Hijmans, et. al. (2005), a partir de la cual se realizó una interpolación espacial para construir un mapa de resolución 1:10000 (equivalente a 100 metros de resolución espacial) para cuatro variables (precipitación, y temperatura máxima, mínima y media) para cada uno de los doce meses del año.

Generación de proyecciones climáticas futuras

Para la generación de las proyecciones climáticas para del Valle del Cauca, se utilizó los modelos globales climáticos disponibles en el en el proyecto de intercomparación de modelos acoplados -5ta fase (CMIP5). Para una descripción detallada se recomienda consultar Taylor, et. al. (2012). En este caso, se trabajó con un horizonte temporal hasta el año 2040 para el escenario de emisiones RCP4.5 propuesto por el Panel de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual asume una contaminación constante hacia el futuro, tomando como referencia las emisiones pasadas hasta la actualidad.

Para establecer los efectos del escenario RCP4.5 sobre la climatología se utilizó un total de 66 simulaciones provenientes de 14 Modelos Globales Climáticos (GCM en sus siglas en inglés) para el escenario considerado “RCP 4.5”, con el fin de determinar el clima más probable. En concordancia con la línea de base, se consideró un periodo de análisis histórico de 30 años desde 1981-2010 y un periodo futuro también de 30 años centrado sobre el año 2040 desde 2026 a 2055. Los mapas resultantes tienen una resolución espacial 1:10000.

Modelación con MaxEnt

Este modelo se basa en el enfoque de máxima entropía para la modelación geográfica de especies y se rige bajo el concepto de nicho ecológico. Este tiene como punto de partida la información climática y puntos de presencia para generar un mapa predictivo de la distribución de las especies bajo diferentes condiciones climáticas. La metodología estadística que explica el proceso algorítmico es mecanística, donde el modelo resultante

muestra la probabilidad de ocurrencia de una entidad biológica en una cuadrícula de celda en un área geográfica definida, en el cual, un valor alto de probabilidad indica que esa zona cuenta con las condiciones ambientales adecuadas para el óptimo desarrollo de la especie de interés (Elith, et al., 2011)

En términos generales se utilizó la siguiente metodología (ver Figura 31) para realizar la modelación de Distribución de Especies (SDM) de los cultivos priorizados para el Departamento del Valle del Cauca.

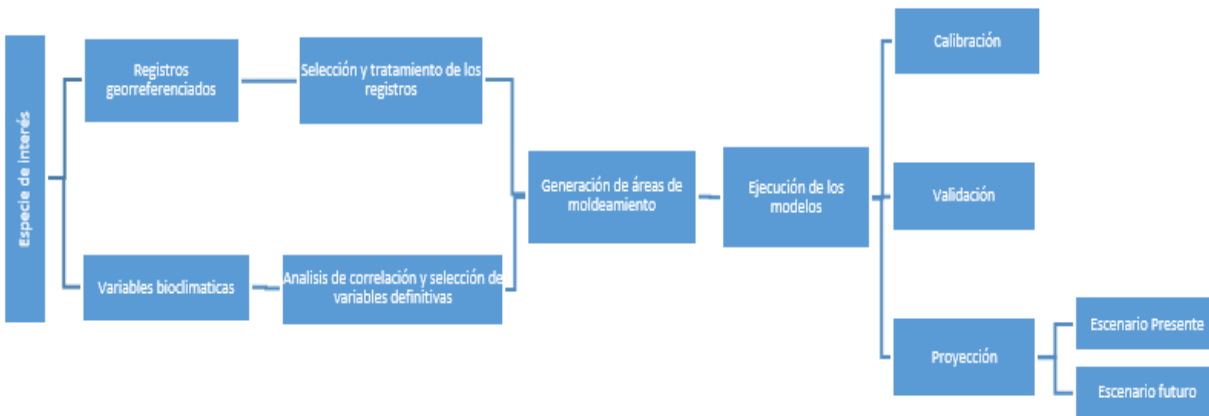


Figura 31. Metodología de la modelación de la distribución de especies (SDM) para los cultivos priorizados en el Departamento del Valle del Cauca en el presente y futuro bajo el escenario de cambio climático RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia

En este sentido, se utilizó este modelo para identificar las áreas donde potencialmente se distribuye el cultivo de aguacate hass y los pastos *Brachiaria*, *Estrella* y *Kikuyo* en el departamento del Valle del Cauca para el escenario actual y futuro. Para el caso del aguacate los puntos de presencia fueron obtenidos a partir de la información proporcionada por el Censo Agropecuario 2014.

Por otro lado, para los pastos se utilizaron los puntos de presencia de la base de datos “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF en sus siglas en inglés), el cual proporciona acceso libre y abierto a datos de biodiversidad a nivel mundial. En este caso, con el fin de obtener mayor información de cada uno de los géneros de pasto se utilizaron las especies que perteneciesen al mismo género para hacer la modelación, ya que estos responden a una misma distribución espacial y condiciones climáticas con lo cual se puede hacer una mejor representación del género sobre la zona de estudio. Es importante resaltar que la modelación se realizó así, porque el estudio solo se enfoca en su distribución espacial y efecto de los cambios de clima en su hábitat, en el caso en el que se necesite

modelar su rendimiento y su capacidad nutricional, se recomienda hacer uso de otros modelos.

Todos los puntos de presencia pasaron por un proceso de selección para evitar la intensidad de sobremuestreo y dependencia. Para esto, los registros elegidos debían tener una distancia mínima de zona buffer de 10 km entre ellos, lo cual se logró con una grilla realizada en ArcGIS, obteniéndose así un número razonable de puntos para la modelación de las especies.

Generación de la línea base para el clima actual y futuro

Para la generación de la línea base de los datos climatológicos para los cultivos priorizados en el Departamento del Valle del Cauca, se empleó los datos históricos de clima de WorldClim; los cuales son creados mediante interpolación de superficies climáticas para áreas terrestres globales (con registros desde 1950 hasta el 2000) de una red de estaciones meteorológicas, obteniéndose una resolución de hasta 1 km para las 19 variables bioclimáticas (ver Tabla 21) utilizadas a menudo en modelos de distribución de especies y técnicas de modelado ecológico relacionadas, las cuales se encuentran disponibles para todo el mundo. Las variables bioclimáticas representan las tendencias anuales (Temperatura anual, media, precipitación anual), estacionalidad (Rango anual de temperatura y precipitación) y factores ambientales extremos o limitantes (Temperatura del mes más frío y más cálido y precipitación de humedad) que permiten relacionar los factores climáticos con la ecología y biología de las especies (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005).

Tabla 21. Conjunto de variables bioclimática usadas en la modelación de nicho ecológico

Tipo	Variable bioclimática	Descripción	Unidad
Temperatura	Bio 1	Temperatura media anual	°C
	Bio 2	Oscilación diurna de la temperatura (Temp. Máxima – Temp. Mínima))	°C
	Bio 3	Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100)	-
	Bio 4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)	°C
	Bio 5	Temperatura máxima del mes más caliente	°C
	Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
	Bio 7	Rango de temperatura anual (Bio5 – Bio6)	°C
	Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
	Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco	°C
	Bio 10	Temperatura media del trimestre más caliente	°C
	Bio 11	Temperatura media del trimestre más frío	°C
Precipitación	Bio 12	Precipitación total anual	mm
	Bio 13	Precipitación del mes más húmedo	mm
	Bio 14	Precipitación del mes más seco	mm
	Bio 15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	%

Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco	mm
Bio 18	Precipitación del trimestre más caliente	mm
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío	mm

Fuente: <http://worldclim.org/bioclim>

Para realizar la modelación de la distribución geográfica de los cultivos con las variables climatológicas se recomienda según diversos autores, minimizar la correlación entre las variables utilizando un análisis de correlación con el fin de eliminar las variables altamente correlacionadas y obtener resultados que contribuyan a la predicción de la distribución potencial de los cultivos. De acuerdo con esto, de las 19 variables bioclimáticas disponibles se seleccionaron siete para realizar las modelaciones respectivas, dichas variables presentaron una baja correlación entre sí (Pearson < 0.7), y se encuentran consignadas en la Tabla 22.

Tabla 22. Variables bioclimáticas seleccionadas para la modelación de la distribución de cultivos.

Variable	Definición
Bio1	Temperatura promedio anual
Bio3	Isotermalidad
Bio4	Temperatura estacional
Bio7	Rango Anual de Temperatura
Bio12	Precipitación anual
Bio15	Precipitación estacional

Fuente: <http://worldclim.org/bioclim>

Es importante resaltar que para poder conseguir una aproximación muy fuerte de la distribución de los cultivos en el departamento del Valle del Cauca se realizó la calibración y validación del modelo con las bioclimáticas a nivel de Colombia y del Continente de América para los cultivos de aguacate y pastos respectivamente, luego se proyectaron a la región de interés, solo que en este caso las bioclimáticas de las proyecciones tanto para presente como para el futuro, fueron obtenidas con la información procesada a partir de los datos de IDEAM, CVC y CENICAÑA.

En este caso se realizó la calibración del modelo buscando el mejor ajuste con un número óptimo de puntos de presencia y distribuidos homogéneamente en el espacio, con el fin de representar resultados lógicos, el cual se corroboró con expertos y por medio del estadístico AUC (área bajo la curva), el cual permite evaluar la habilidad de predicción del modelo.

Para la evaluación de los modelos, se utilizó una de las técnicas de muestreo que tiene disponible MaxEnt, llamado Crossvalidation, el cual permite a partir de un gran número de datos, elegir cierto porcentaje de la totalidad de los puntos de manera aleatoria para la validación y el restante se utiliza para la calibración, donde el proceso de validación se hace para cada una de las réplicas. Por cada especie se realizaron 15 réplicas, para examinar la consistencia del modelo. Con base a estas replicas se evaluó el modelo, mediante el

área bajo la curva (AUC). Estos valores usualmente van entre 1 cuando el modelo tiene buen ajuste con los datos, mientras que valores cercanos o por debajo de 0,5 indican que el modelo no es significativo. Para la escogencia de los modelos, se tuvo en cuenta modelos que tengan un $AUC > 0.75$ y que fueran significativamente diferentes al azar entre las réplicas. Las proyecciones se realizaron bajo los escenarios RCP 4.5 para el año 2040. Finalmente, los modelos se convirtieron en mapas binarios utilizando el 10 percentil como corte de umbral, el cual permite determinar el límite a partir del cual el modelo predice “presencia” y posteriormente estos mapas se restaron, mediante el programa ArcGIS, para generar mapas de pérdida y ganancia de especies.

Resultados

Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de frijol

Dentro de las leguminosas de grano, el frijol es de las más importantes para el consumo humano. Se cultiva en 129 países de los cinco continentes y se estima que unos 400 millones de personas en los trópicos lo consumen. América Latina es la zona de mayor producción y consumo, se calcula que más del 45% proviene de esta región donde es considerado uno de los productos básicos de la economía campesina (CIAT , 2016)

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) brinda un alimento altamente nutritivo, que contiene proteína, fibra, carbohidratos complejos, vitaminas y micronutrientes. Por tanto, el frijol refuerza significativamente la seguridad alimentaria y nutricional entre los consumidores de escasos recursos, al tiempo que reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y diabetes (CIAT , 2016). Por eso, el frijol ha sido identificado por organismos nacionales e internacionales, como uno de los cultivos obligatorios para los programas de seguridad alimentaria de las zonas deprimidas y en conflicto. (Fenalce , 2004)

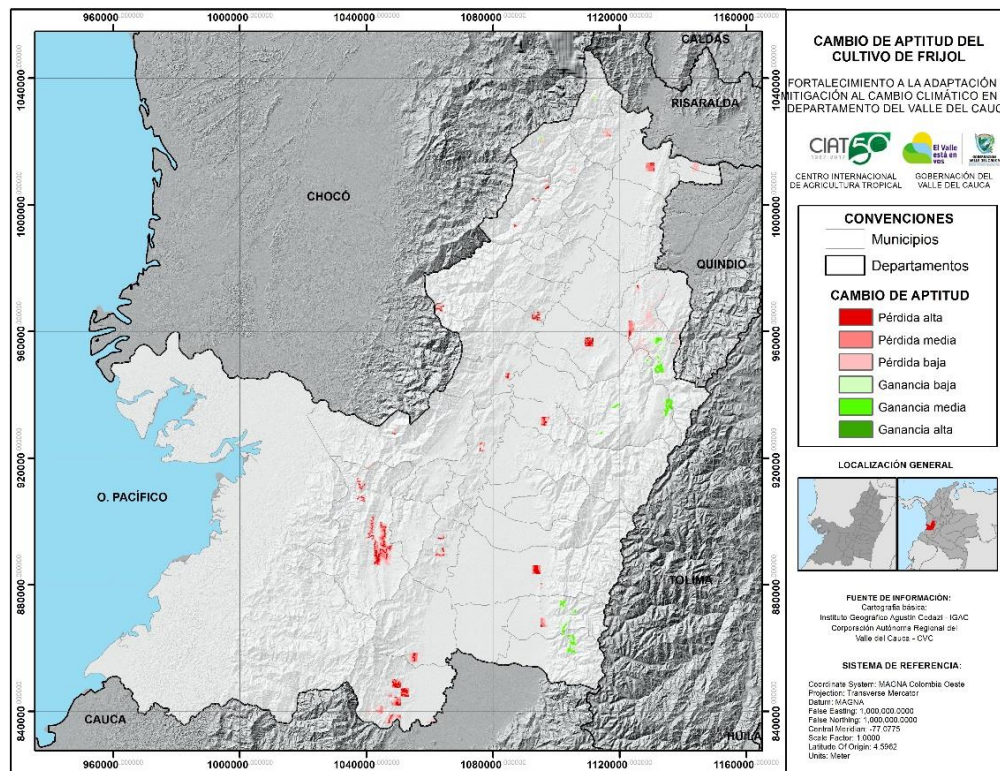
En Colombia se cultiva desde los 800 hasta los 2 900 metros sobre el nivel del mar con temperaturas entre los $27\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, sin discriminar variedades (CIAT , 2016). La producción de esta leguminosa se concentra principalmente en la región andina con el 85% de la producción, además de la Costa Atlántica que participa con el 13%. El restante se produce en regiones como la Pacífica y la Orinoquia (Fenalce , 2004).

El principal departamento productor de frijol tipo exportación en el país para 2014, a partir de la información del Ministerio de Agricultura, fue Valle del Cauca, con 63.322 kg del grano; le sigue Antioquia, con 63.309, y Cundinamarca, con 5.868 kg. Cabe anotar que estos datos no discriminan las variedades de la semilla.

En el Valle del Cauca predominan los frijoles tipo Nima – Calima, Calima y Adzuki (*vigna angularis*), los cuales se siembran en condiciones de clima medio a cálido entre los 800 y 1 800 msnm. El tamaño de este frijol es mediano entre 40 y 50 g/100 semillas, y su precio es inferior al de los frijoles de tamaño grade como los tipos cargamanto, lo cual lo hace tan apetecido en los principales mercados de frijol en Colombia. (Arias, Rengifo, & Jaramillo, 2007).

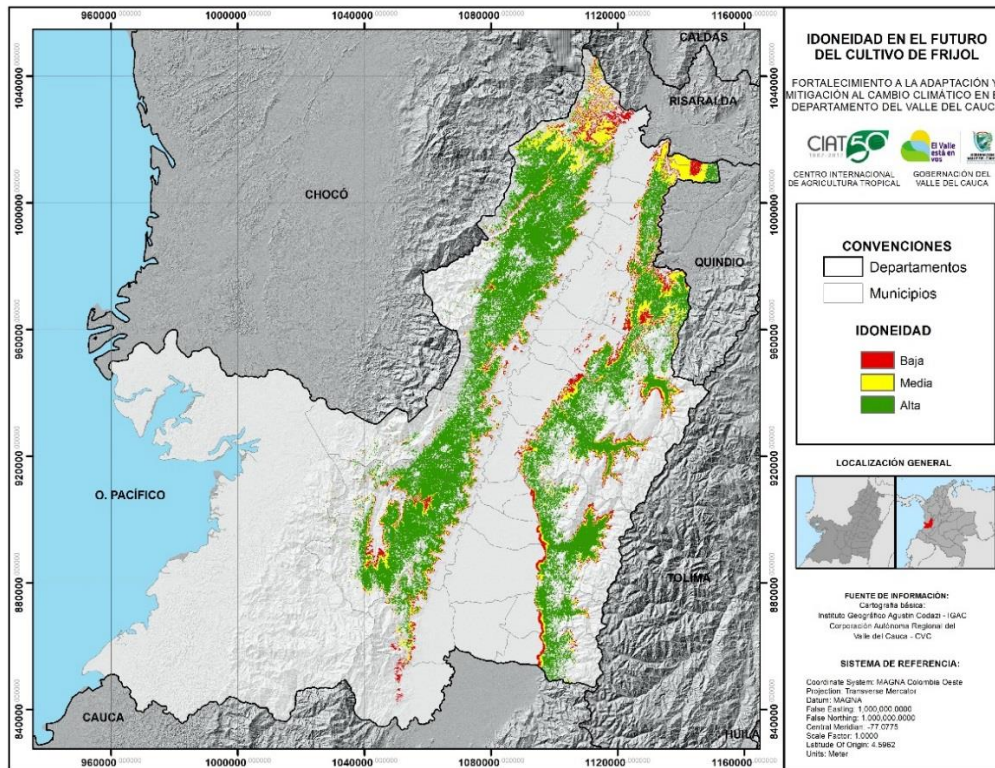
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 29 y Mapa 30 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de frijol, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 29. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 30. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de frijol.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del frijol se observan (ver Mapa 29) que la mayor parte de las zonas actualmente idóneas para el cultivo, en un futuro no van a ser tan aptas, ya que estos lugares no contarán con las condiciones climáticas óptimas para su producción y crecimiento. Esto especialmente se debe a que el frijol es un cultivo muy sensible al estrés por sequía y a las altas temperaturas, en especial las nocturnas que reducen la floración y por ende la producción (Eitzinger, et al., 2013). Los municipios que tendrán mayor pérdida de aptitud bajo el escenario de cambio climático establecido y con respecto a las zonas actualmente sembradas será Dagua, parte de Sevilla, y Jamundí, siendo estos según la fundación colombiana para la promoción de la seguridad alimentaria y nutricional y el DANE los municipios que mayor producen. Por otro lado, se espera que para los municipios Sevilla, Pradera y Florida que actualmente tienen siembra de este cultivo al año 2040 la aptitud climática sea mucho mejor, lo cual se va a ver reflejado en un incremento en la productividad del mismo.

Bajo las proyecciones de cambio climático a 2040 la modelación prevé ganancias en idoneidad principalmente en la zona media en el occidente y oriente del departamento del Valle del Cauca (ver Mapa 30), con valores de idoneidad por encima del 80% a lo largo del valle geográfico. Estos resultados son coherentes, si se tiene en cuenta que las especies tienden siempre a migrar hacia las partes altas debido a que las condiciones climáticas de sus hábitats cambian y con ello su distribución espacial.

El frijol es uno de los cultivos que mayor pérdida de aptitud tendrá en el departamento del Valle del Cauca, es pertinente buscar alternativas adoptando prácticas de agricultura sostenible adaptada al clima como la diversificación y manejo adecuado del cultivo para proteger los microclimas, con el fin de evitar impactos negativos fuertes en términos de seguridad alimentaria (Loboguerrero, 2013).

Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de plátano

La producción mundial de plátano en el mundo se caracteriza por desarrollarse en zonas secas y con disponibilidad permanente de agua. El cultivo del plátano exige un clima cálido y constante humedad en el aire. Requiere una temperatura media de 26 - 27 °C, con lluvias prolongadas y regularmente distribuidas. Estas condiciones se cumplen en la latitud 30 a 31 grados norte o sur y de 1.000 a 2.000 metros de altitud, lo cual depende de la variedad del plátano, ya que este cultivo responde a un amplio rango de altitud (MinAgricultura , 2014).

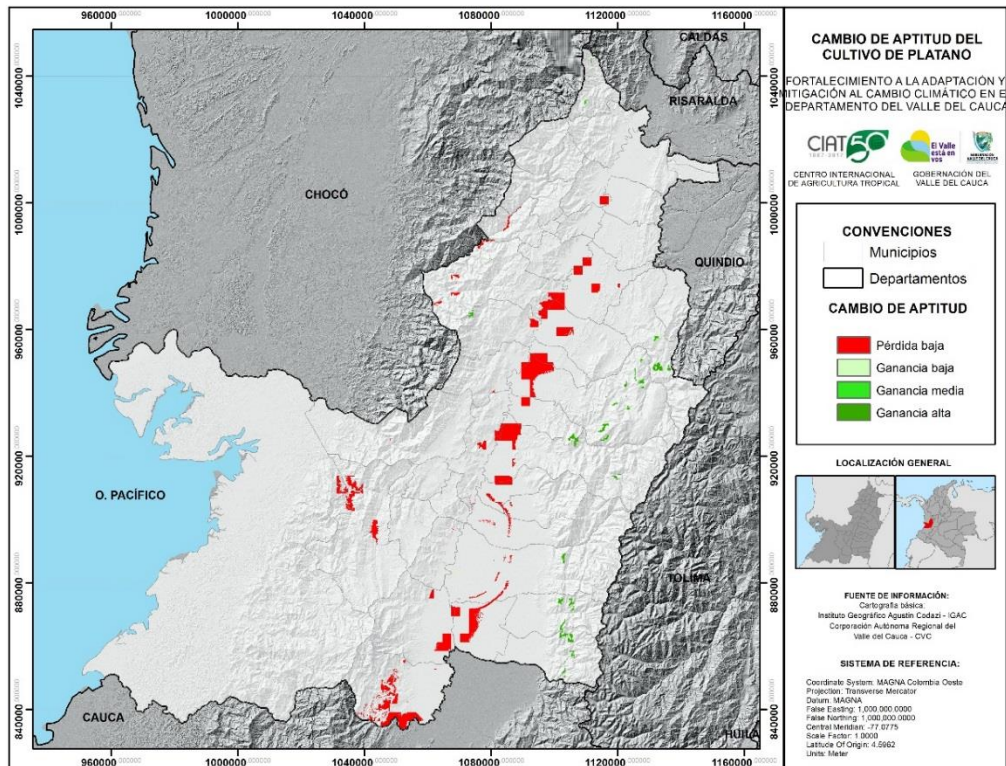
El crecimiento se detiene a temperaturas inferiores a 18°C y se producen daños a temperaturas menores a 13 y mayores a 45 °C. En el año 2007, en el mundo se produjeron 33,9 millones de toneladas de plátano, de las que se comercializan internacionalmente más de 500.000. Su producción se concentra en los países de África, América Latina y el Caribe, dado que su hábitat natural es el trópico húmedo (MinAgricultura , 2014).

En Colombia, la producción de plátano es la expresión del minifundio, si tenemos en cuenta que el 85% de los productores tienen un área sembrada entre 1 y 5 hectáreas, el 10% posee un área sembrada de entre 6 y 15 hectáreas y tan solo un 5% tiene áreas superiores a 16 hectáreas. Los departamentos de Quindío, Meta, Antioquia, Tolima, Caldas, Córdoba, Risaralda, Valle del Cauca , Nariño y Cauca, en su orden, son los mayores productores de plátano, representando un 80% de la producción y el 65% del área sembrada en el país, que para el año 2013 fue de 394.351 hectáreas (MinAgricultura , 2014).

Es considerado el cuarto cultivo más importante del mundo, por tratarse de un producto básico y de exportación, fuente de empleo e ingresos en numerosos países del trópico y subtropical (DANE, 2014). Las variedades de plátano cultivadas en Colombia son: Dominico – Hartón, Dominico, Hartón, Pelipita, morado, cachaco, popocho, pompo, maqueño, guineo y trucho según estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia, (2007). En el Valle del Cauca predominan las variedades hartón, dominico hartón y dominico, los cuales se encuentran ubicados en zonas cálidas entre los 0 y 1000 msnm para el hartón; el dominico hartón en las zonas ubicadas entre los 1000 y 1600 msnm y el Dominico por encima de los 1600 msnm (MinAgricultura , 2014).

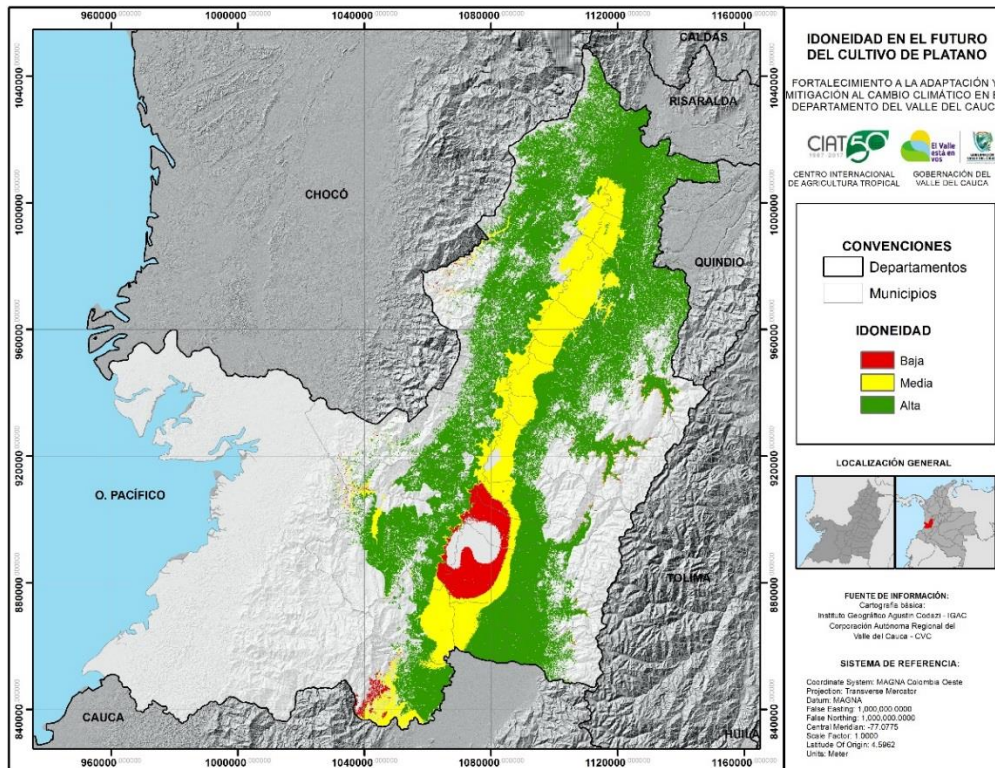
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 31 y Mapa 32 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de plátano, debido al escenario de cambio climático propuesto. En este caso cabe resaltar que la variedad de plátano modelada es el dominico – hartón debido a su gran distribución espacial en el Departamento del Valle del Cauca.



Mapa 31. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Plátano.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 32. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Plátano.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos para el cultivo de Plátano se espera un cambio de aptitud negativo sobre todo a lo largo del valle geográfico y en los municipios de Dagua, Bolívar y el Dovio. Las áreas que son óptimas actualmente bajo las nuevas condiciones climáticas, presentarán una pérdida baja de aptitud para el 2040 principalmente en la zona plana. Por otro lado, se espera que para las zonas que actualmente se encuentran sembradas con plátano hacia el occidente del Departamento presente una ganancia alta de aptitud climática.

Se prevé que para el año 2040 el cultivo de plátano de la variedad Dominico–hartón tendrá una ganancia de aptitud climática alta a lo largo del valle geográfico principalmente en la zona media, a su vez, las zonas bajas presentarán una pérdida de idoneidad para la siembra del cultivo. Se recomienda para la zona plana donde actualmente se encuentra sembrada dicha variedad ir pensando en arreglos agroforestales y en la sustitución de la variedad dominico–hartón como alternativa por una variedad más resistente ante las nuevas condiciones climáticas como es el caso de la variedad Hartón, ya que esta zona no será en el futuro apta para su desarrollo y producción.

Impacto potencial del cambio climático sobre los cítricos

Los cítricos en especial la naranja, el limón y la mandarina están entre los frutales más importantes a nivel mundial. Su cultivo y consumo se realiza por igual en los cinco continentes, siendo explotados en forma comercial en todos los países donde las condiciones del clima son óptimas para su desarrollo (ICA, 2012). Son cultivos permanentes, con una longevidad que oscila entre los 30 y 40 años. Se desarrollan en climas subtropicales, pues tienen escasa resistencia al frío. Requieren buenas precipitaciones (repartidas durante todo el año), cuando éstas no se presentan es necesario recurrir al riego. Son ávidos de luz, especialmente para los procesos de floración y fructificación, y susceptibles a corrientes fuertes de viento que pueden ocasionar pérdidas en la fructificación. Necesitan suelos profundos y permeables, y no toleran la salinidad (ICA, 2012).

En el mundo, un 65% de la producción total de cítricos corresponde a naranjas y un 18.5% a mandarinas, reuniendo en conjunto el 83.5%, mientras que el restante 16.5% corresponde a Lima-Limón y toronjas-pomelos, siendo esta última especie la de menor peso en el conjunto de cítricos analizados (ICA, 2012).

Las exportaciones de cítricos a nivel del mundo, representan solamente el 13,73% de la producción, lo cual indica un alto consumo interno en los países productores, al igual que de procesamiento de la frutas para el mercado nacional e internacional (ICA, 2012).

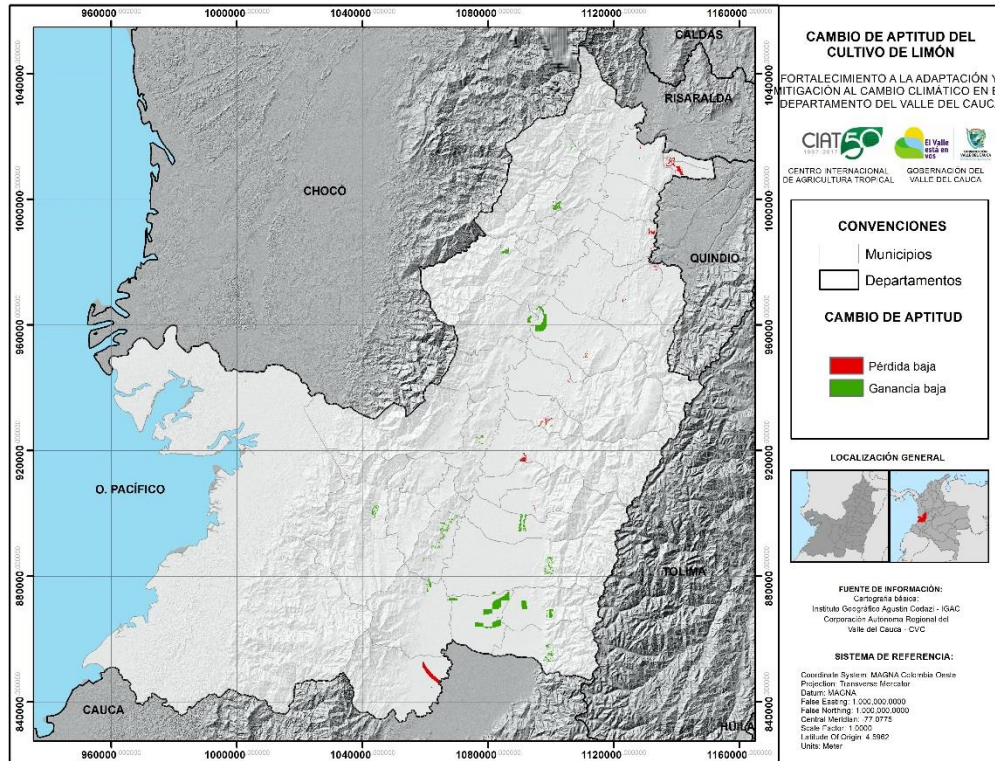
La geografía colombiana presenta condiciones favorables para el cultivo de los cítricos; las zonas productoras se encuentran ubicadas entre los 0 m y los 1600 m de altitud, con temperaturas medias de 23 a 34°C, pluviosidades acumuladas anuales de 900 mm a 1200 mm y luminosidad mayor a 1900 horas de brillo solar anual. La producción de fruta es permanente, a través de todo el año, con épocas marcadas de concentración de la cosecha, según sea la distribución de la precipitación, unimodal o bimodal, características de la zona Andina (Universitaria Lasallista , 2012).

Actualmente, Colombia reporta 62.409 hectáreas establecidas en cítricos, distribuidas en 12 departamentos en al menos 10.500 unidades productivas (DANE, 2010). En el departamento Valle del Cauca, 41 de los 42 municipios cultivan cítricos; en la actualidad, de acuerdo con la Unidad Regional de Planificación Agropecuaria (UPRA), existen 3.441 hectáreas sembradas.

Cultivo de limón

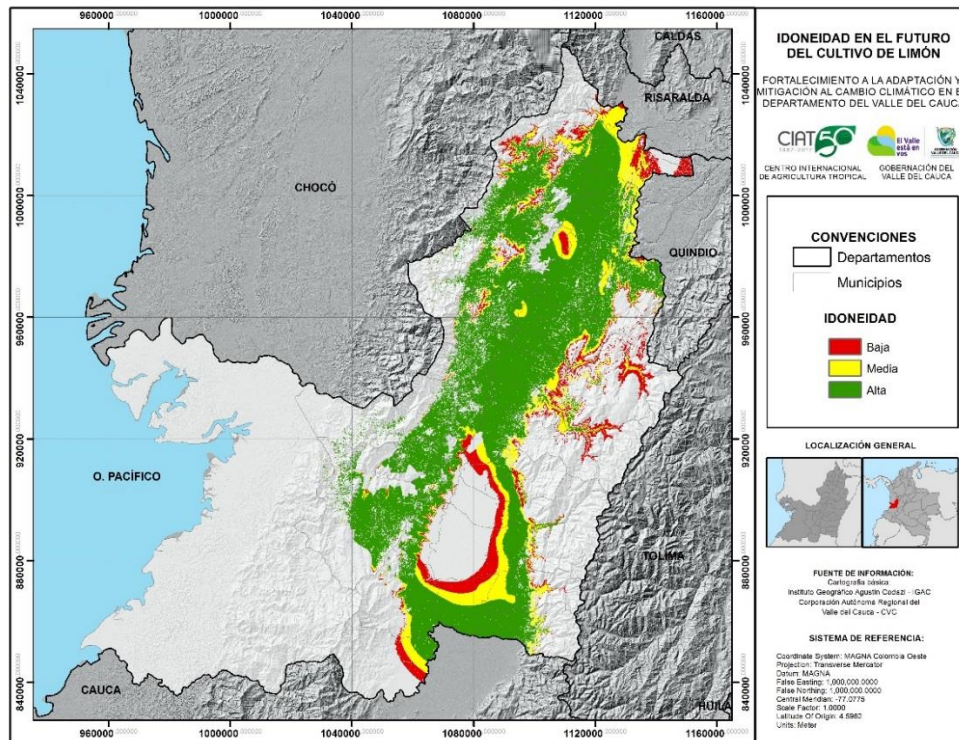
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 33 y Mapa 34 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de Limón, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 33. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Limón.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 34. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Limón.

Fuente: Elaboración propia.

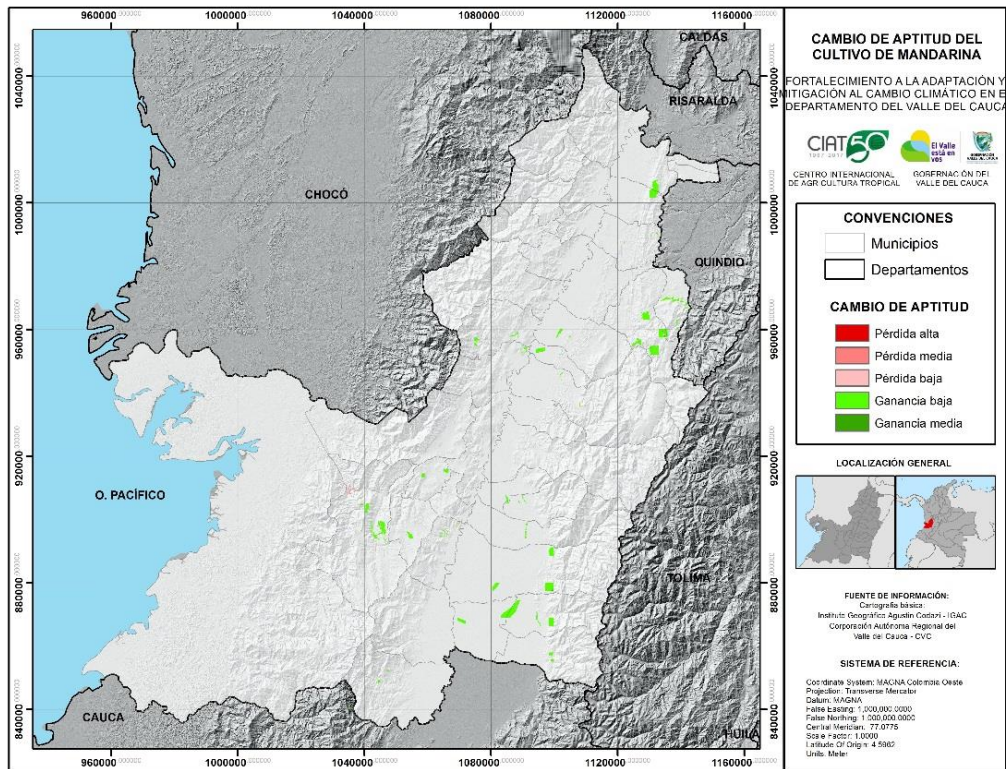
En el caso del cultivo de Limón se espera que las zonas que actualmente se encuentran cultivadas presenten una ganancia baja de aptitud climática (ver Mapa 33), principalmente en los municipios de Bugalagrande, Candelaria, y Pradera. Según los resultados obtenidos este cultivo se podría ver beneficiado ante las nuevas condiciones climáticas de acuerdo al escenario de cambio climático establecido, la ganancia de aptitud por parte de este cultivo ante las adversidades climáticas se puede explicar si se tiene en cuenta que este es considerado como un cultivo resiliente, es decir, que los cambios climáticos no alteran significativamente su producción y desarrollo, adaptándose fácilmente a los cambios en su nicho ecológico. Por otro lado, se tiene una pérdida de aptitud baja para el año 2040 en los municipios de Alcalá, Jamundí y Tuluá.

Se espera que para el 2040 el cultivo se vea beneficiado ante las condiciones climáticas (ver Mapa 34), el cual se va a ver reflejado en un aumento de área de distribución espacial para este, sobre todo en la parte media y baja del valle geográfico del Departamento.

Cultivo de mandarina

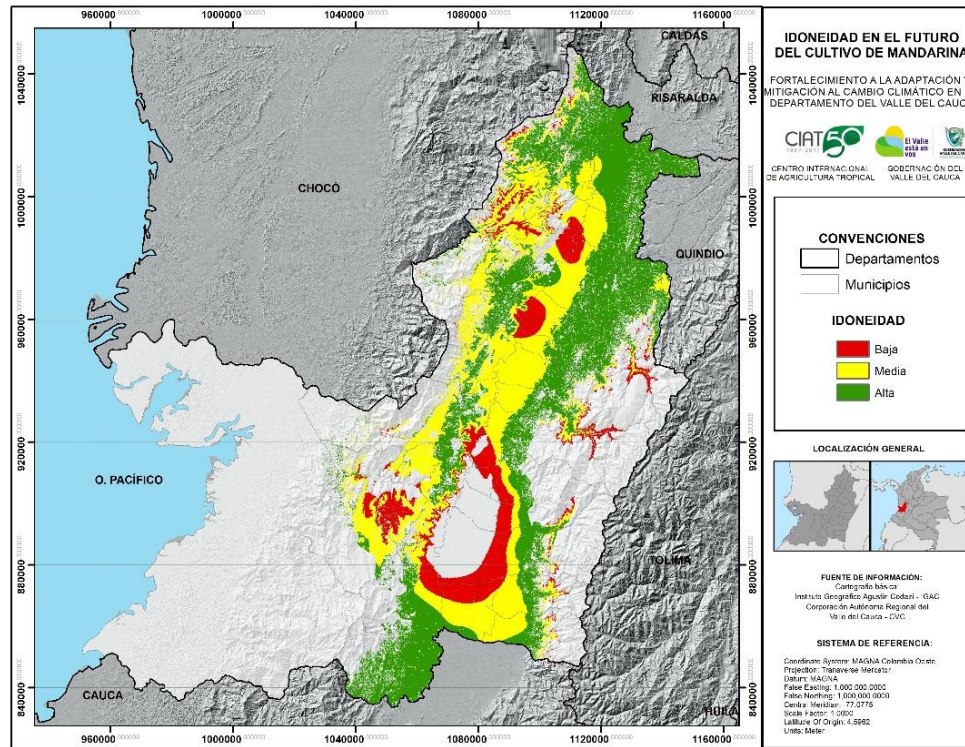
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 35 y Mapa 36 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de Mandarina, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 35. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Mandarina.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 36. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Mandarina.

Fuente: Elaboración propia.

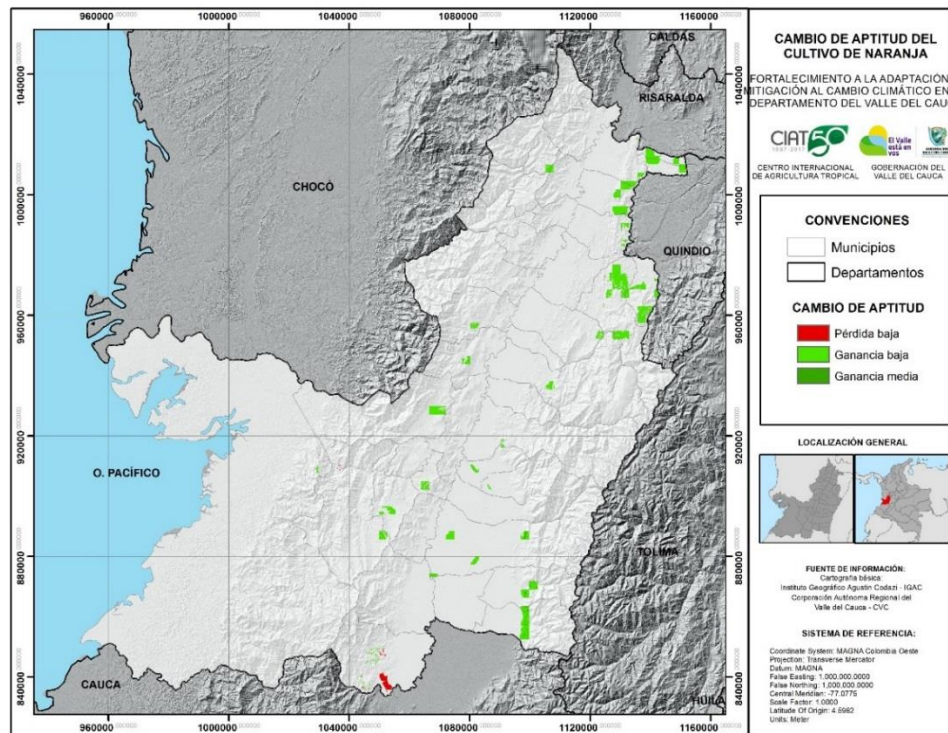
En el caso del cultivo de mandarina se espera una ganancia de aptitud climática baja para las todas las zonas que se encuentran sembradas actualmente en el Departamento del Valle del Cauca (ver Mapa 35). Los municipios que se van a ver beneficiados con este aumento de aptitud, el cual se va a ver reflejado en un aumento en la producción del cultivo son Sevilla, Cartago, Dagua, Palmira, y Pradera.

Se espera que para el año 2040 se presente un aumento de aptitud climática alta para la parte norte y occidente del Departamento y una aptitud climática media para la parte baja y parte media a lo largo de la margen izquierda del río Cauca (ver Mapa 36). Estas zonas son consideradas como óptimas para la implementación de este cultivo en el futuro donde las nuevas condiciones climáticas permitirán el desarrollo idóneo del mismo. Es importante resaltar que la mandarina al pertenecer a los cítricos al igual el limón tiene una mayor resistencia a los cambios frente a las nuevas condiciones climáticas, lo cual los convierte en una buena alternativa para afrontar las condiciones adversas del cambio climático.

Cultivo de naranja

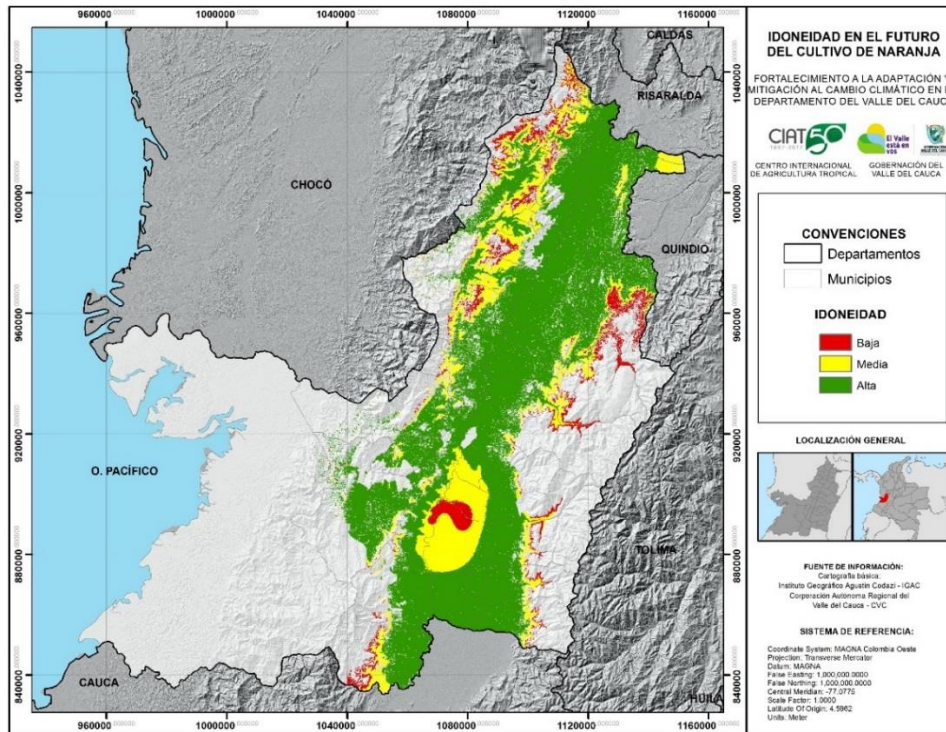
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 37 y Mapa 38 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de Naranja, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 37. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Naranja

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 38. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Naranja

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del cultivo de naranja se espera una ganancia de aptitud climática baja para casi todas las áreas que se encuentran actualmente sembradas (ver Mapa 38), donde los municipios que presentaran esta ganancia son Caicedonia, Florida, Pradera, Sevilla, Obando, Argelia, Calima, Dagua, Palmira y la Cumbre. Este aumento de aptitud se va a ver reflejado en un aumento en la producción del mismo, lo cual va ser beneficioso para los actuales cultivadores del sector. También se espera una pérdida leve para el municipio de Jamundí, donde se refleja que bajo las condiciones del cambio climático esa zona no será óptima para el crecimiento idóneo del cultivo.

Se espera que para el 2040 el rango de distribución espacial del cultivo se amplíe sobre todo en la parte plana y parte media hacia el oriente y occidente del Departamento (ver Mapa 38). Se observa que la distribución espacial para todos los cultivos pertenecientes a los cítricos presentaron el mismo comportamiento, lo cual corrobora lo mencionado anteriormente en cuanto a la resistencia ante los cambios adversos de clima, ya que estos se van a ver beneficiados altamente por estos cambios.

Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de la piña

Durante los últimos 100 años, la piña se ha convertido en uno de los principales cultivos frutícolas comerciales de los trópicos. La piña es la segunda cosecha de importancia

después de los plátanos, lo que contribuye a más del 20% de la producción mundial de frutas tropicales. La producción mundial comenzó en 1500 cuando se propagó la piña en Europa y las regiones tropicales del mundo (FAO, 2005). Las principales zonas productoras son Hawaii, Brasil, Malasia, Taiwán, México, Filipinas, Sudáfrica y Puerto Rico. En 1968, la producción total se elevó a 3.6 millones de toneladas, de las cuales sólo 100.000 toneladas fueron enviadas frescas (principalmente de México, Brasil y Puerto Rico) y 925.000 toneladas fueron procesadas (Cerrato I., 2013).

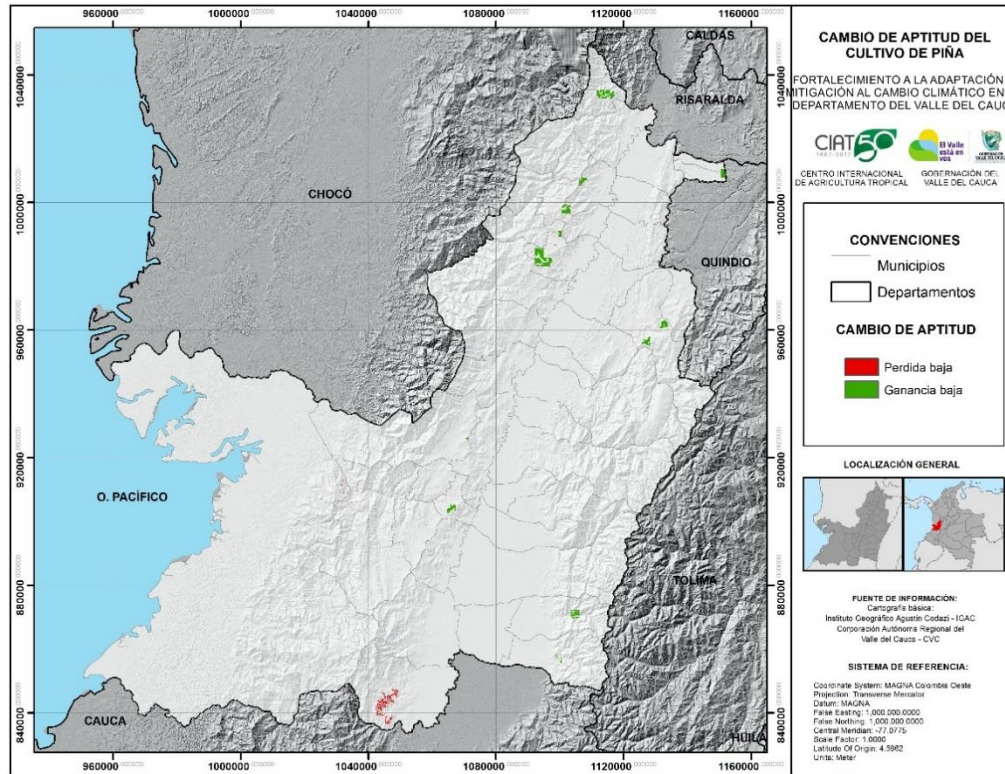
La piña ha obtenido un incremento en los mercados de las frutas debido a la demanda de consumo por alimentos saludables, es por ello que la piña es la fruta tropical de mayor demanda en el mundo, por su agradable sabor y alto contenido de fibra (Cerrato I., 2013). La piña domina el comercio mundial de frutas tropicales, aunque otras frutas han ganado cuota de mercado. Las estadísticas del 2000 indican que el comercio de piña tomó 51% de un total de 2.1 millones de toneladas del mercado de frutas enteras con mangos ocupando el segundo lugar, con 21.7%. La piña es la fruta mejor posicionada ya que su comercio está orientado a los países desarrollados como Japón, Estados Unidos y la Comunidad Europea. En consecuencia, durante la década pasada la producción mundial de piña aumentó a una tasa de 1,9% por año, a pesar de la ocurrencia de clima desfavorable y situaciones económicas. La rápida expansión del comercio de piña fresca, actualmente solo el 8% de la cosecha es exportado. (FAO, 2005).

Según la FAO la producción mundial de piña al 2010, sumó 19.166.560 toneladas métricas con un área total de 848.140 hectáreas. Los rendimientos globales son de 22,6 tm/ha, siendo Brasil el mayor productor con cerca de 2,5 millones de toneladas, Indonesia presenta los mayores rendimientos y Costa Rica es el mayor exportador a escala mundial en cuanto a fruta fresca con 60%, seguido por Filipinas con el 12%, Ecuador y Estados Unidos con el 4%. Por su parte los mayores importadores son Estados Unidos con el 32%, seguido por Bélgica con el 13% y Países Bajos con el 8%.

En Colombia, el cultivo de la piña se desarrolla bien en altitudes entre los 800 y los 1200 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo a las cifras de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2015), se registró un total de 8.871 hectáreas (has) sembradas para el cultivo de la piña, de las cuales el 51,38 %, correspondió a el área en edad productiva, de donde se extrajo un total de 125.150 toneladas (t), así, el departamento de Valle del Cauca reportó los mayores volúmenes con un 35,22 %, seguido de Quindío con el 25,29 %, Santander 11,68 %, Cauca 10,82 % y Casanare con 7,20 % (DANE, 2016).

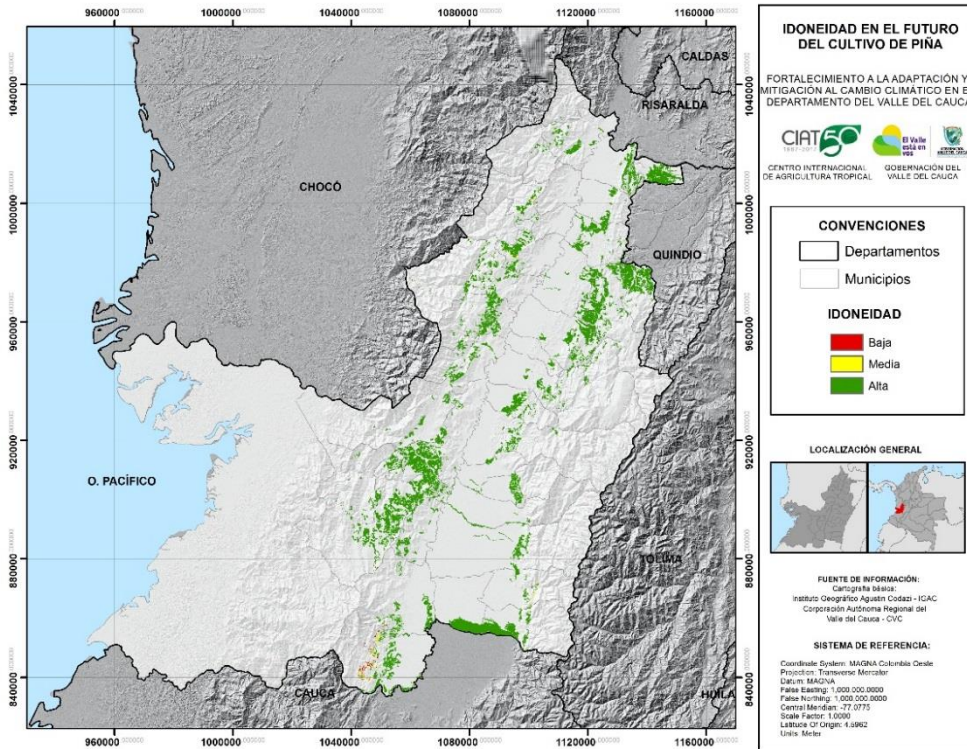
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 39, Mapa 40, y Mapa 41 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de Piña, debido al escenario de cambio climático propuesto.



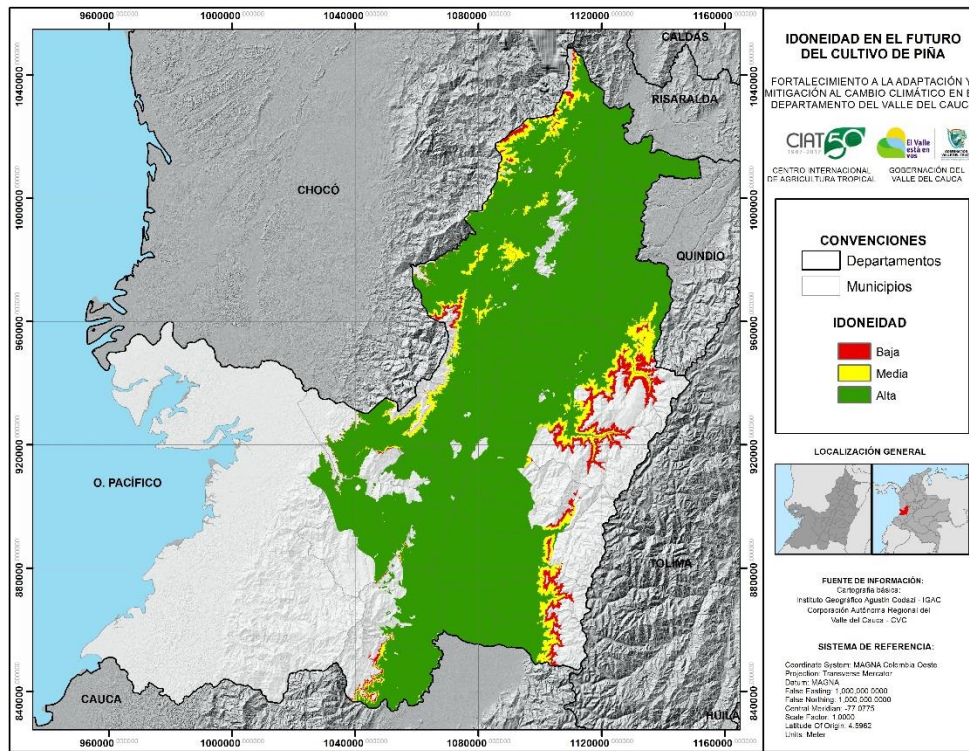
Mapa 39. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Piña.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 40. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Piña en zonas con aptitud actual según la UPRA.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 41. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Piña

Fuente: Elaboración propia.

Para el cultivo de Piña se espera que las zonas que actualmente se encuentran cultivadas presenten una ganancia baja de aptitud climática principalmente en los municipios de Roldanillo, La Unión, Toro, el águila, Sevilla y Caicedonia (Mapa 39). Según los resultados obtenidos, este cultivo puede tener ventajas ante las nuevas condiciones climáticas de acuerdo al escenario de cambio climático establecido, ya que hay un aumento el área de idoneidad según la distribución espacial del cultivo para el año 2040, respondiendo positivamente ante las nuevas condiciones climáticas. Por otro lado, se tiene una pérdida de aptitud mínima para el municipio de Jamundí, siendo esta zona no apta el cultivo para el año 2040.

De acuerdo con la información proporcionada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) de las zonas con aptitud actual para la implementación del cultivo de piña, se prevé un aumento de idoneidad alto para estas zonas para el Año 2040. Además, se espera una ganancia de idoneidad sobre todo en la parte media y baja del Valle geográfico del departamento (ver Mapa 41). Es importante resaltar que este cultivo al pertenecer a las plantas C4 tiene un mecanismo que permite tener mayor resistencia ante los cambios de climas tan adversos debido al cambio climático, lo que lo convierte en una gran alternativa para hacerle frente a los impactos negativos que se pueden producir frente a la seguridad alimentaria del Departamento.

Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de Aguacate

La producción mundial del aguacate hass, ha crecido 139% en los últimos 20 años. EE UU es el mayor importador mundial con un 50% y con un consumo tasa promedio del 16% durante los últimos 8 años. El rendimiento de la producción mundial, se encuentra entre 4.53 – 11.20 Ton/ha (*Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015*).

El cultivo del aguacate hass ha sido uno de los grandes éxitos en los últimos tiempos. Originalmente se dio en Estados Unidos y se convirtió en un fruto tan popular que Colombia comenzó a producirlo para abastecer la demanda interna y a iniciar el proceso de tecnificación de la tierra y el debido manejo para que cumpliera con los mayores estándares de calidad y así lograr exportar a diferentes países que actualmente lo producen, pero no logran abastecer la demanda (*Quintero, 2017*).

En Colombia, el 25% del aguacate plantado es de variedad Hass y se produce en más de 15 departamentos, 6 de ellos concentran el 76% de la producción, sin embargo, es el cultivo que mayor dinámica de crecimiento tiene en el país. El aguacate Hass es el tercer cultivo más importancia en Colombia, donde los departamentos con mayor trabajo para este son: Tolima, Quindío, Valle del cauca y Cauca; siendo manejado en altitudes desde 1500 hasta 1800 msnm (*Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015*). El sector de mayor potencial de desarrollo para el cultivo del aguacate hass son: Antioquia, Eje Cafetero, Tolima, y Valle del Cauca (*Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2014*).

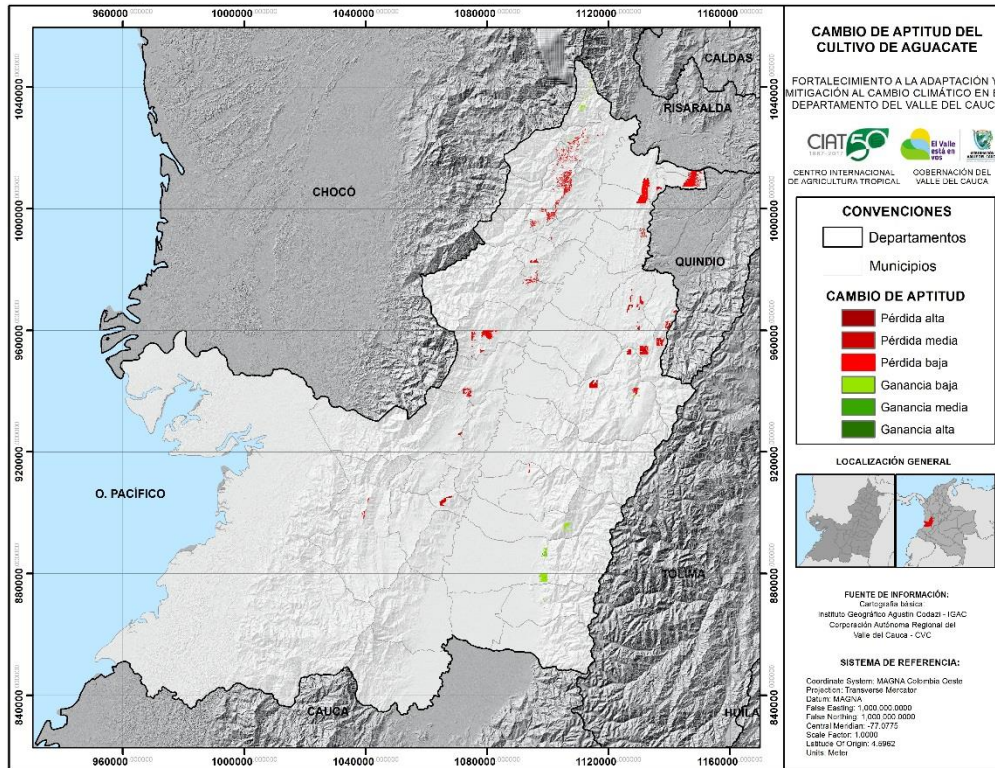
Las áreas cosechadas en Colombia de esta variedad para los años comprendidos entre 2008 – 2013, fueron de 1680 ha a 5775 ha. Se espera que Colombia llegue a ser uno de los países más productivos, ya que cuenta con disponibilidad del recurso hídrico, condiciones tropicales que le permiten tener varias floraciones durante el año, los recursos disponibles en el suelo y además desarrolla un modelo productivo adaptado a sus condiciones (*Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015*).

Para el Valle del Cauca, la concentración de la producción es del 8%, con 1974 has sembradas y 1598 has cosechadas, con un rendimiento de 14 Ton/ha. Este cultivo participa con aproximadamente un 5% de los empleos directos generados dentro del sector frutales y con un 3,74% del empleo total generado en el sector agrícola; evidenciando la importancia que viene tomando este cultivo en la agricultura nacional (*Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015*).

Resultados

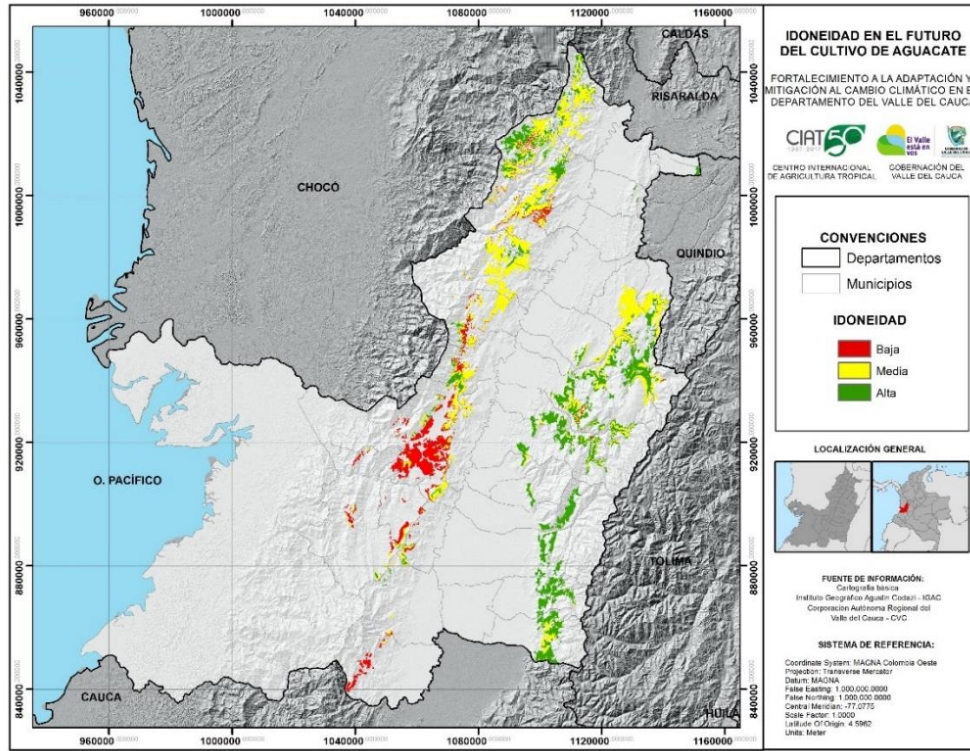
A continuación se muestran representados en el Mapa 43, Mapa 43 y Mapa 44 los resultados del modelo EcoCrop sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del cultivo de Aguacate, debido al escenario de cambio climático propuesto. En este caso se modelo

el aguacate hass para del departamento del Valle del Cauca, por su importancia económica para el sector agrícola.



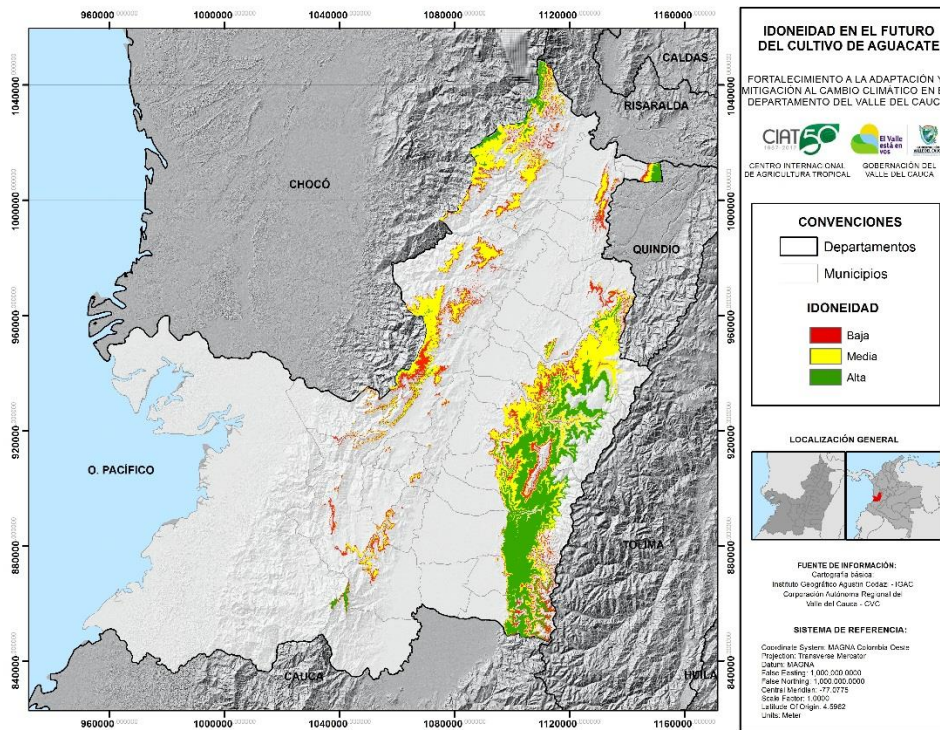
Mapa 42. Cambio en la Idoneidad climática para el cultivo de Aguacate.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 43. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Aguacate en zonas con aptitud actual según la UPRA.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 44. Escenario futuro de cambio climático para el cultivo de Aguacate.

Para el caso del cultivo de aguacate se espera que las zonas que actualmente se encuentran cultivadas presenten una pérdida una aptitud climática de baja a media principalmente en los municipios de Roldanillo, La Unión, Toro, Sevilla, San Pedro, Tuluá, Buga y Caicedonia (ver Mapa 42). Además, según los resultados bajo el escenario propuesto de cambio climático, va haber una disminución en el área de distribución espacial de la especie, ya que no se tendrán las condiciones climáticas idóneas para su crecimiento en las zonas de actual producción, con lo cual se puede inferir que este cultivo será sensible ante los cambios adversos producto del cambio climático. Por otro lado, pocas zonas presentaran ganancias, de aptitud climática, en este caso solo en el municipio de Palmira se espera un aumento alto de aptitud climática.

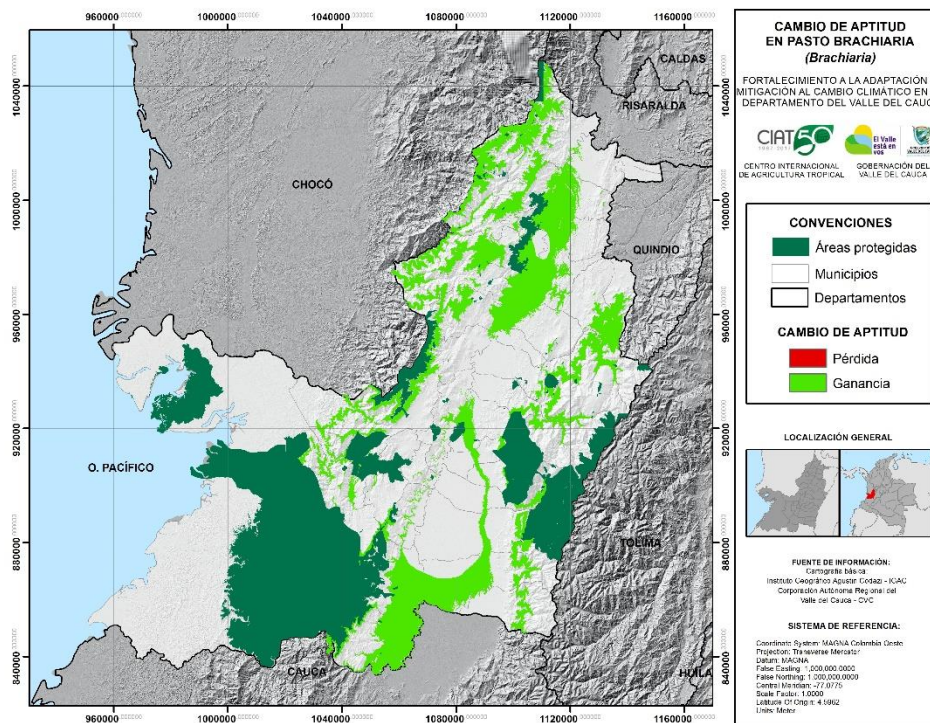
De acuerdo con la información proporcionada por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) de las zonas con aptitud actual para la implementación del cultivo de aguacate se espera que muchas de estas zonas actualmente aptas para siembra y producción de este cultivo vayan perdiendo de manera progresiva su idoneidad sobre todo en los municipios de Restrepo, Vijes, Dagua, La cumbre, y Calima (ver Mapa 43). Por otro lado, se va a tener una ganancia de idoneidad para el cultivo para la zona media y alta en el occidente y norte del departamento (ver Mapa 44).

Impacto potencial del cambio climático sobre el cultivo de pastos

Pasto *Brachiaria* (*Brachiaria*)

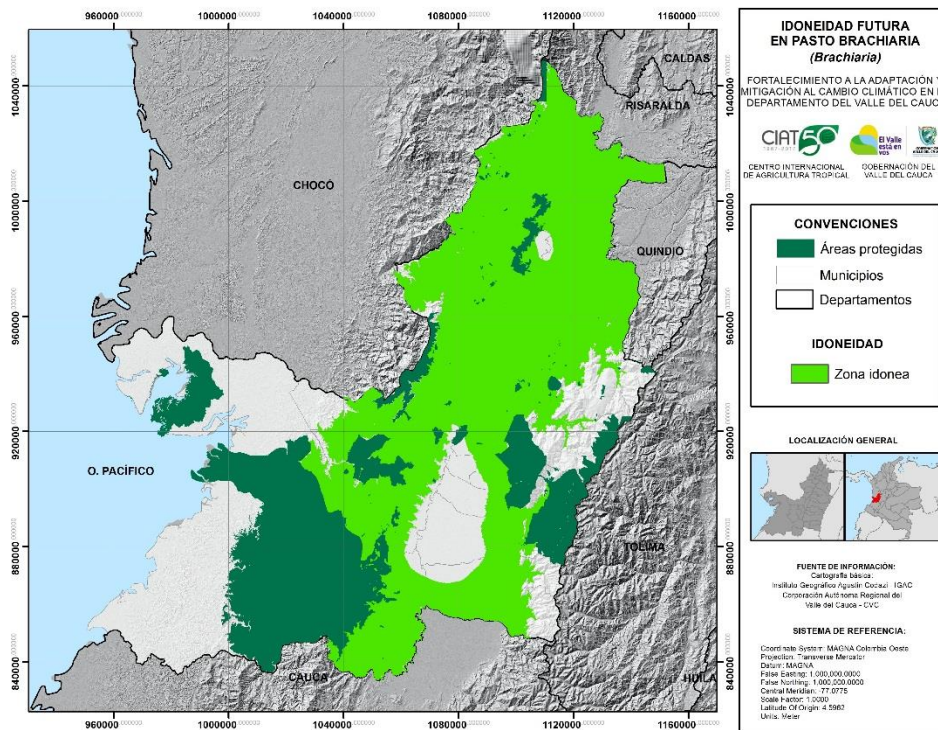
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 45 y Mapa 46 los resultados del modelo MaxEnt sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del Pasto *Brachiaria* para el Departamento, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 45. Cambio en la Idoneidad climática para el Pasto *Brachiaria*.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 46. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Brachiaria.

Fuente: Elaboración propia.

Según Peters, et. Al., (2011) el género *Brachiaria* se adapta a un rango amplio de ecosistemas, en zonas tropicales crece desde el nivel del mar hasta los 1800 m y con precipitaciones entre los 1000 y 3500 mm/año y temperaturas por encima de los 19 °C. Este tipo de pasto, crece muy bien en en regiones de baja fertilidad con seguias prolongadas, pero es susceptible a zonas mal drenadas y con encharcamientos prolongados.

En el caso del pasto *Brachiaria*, se espera una ganancia de aptitud climática para la parte media en el sur, norte y occidente del Departamento más específicamente en los municipios de Cerrito, Palmira, Candelaria, Pradera, Florida, Cali, Yumbo, Dagua, Bugalagrande, Zarzal, Roldanillo, Obando, La victoria, el Cairo, Versalles, el Dovio, Calima, Río frío y Trujillo. De acuerdo con los resultados obtenidos (ver Mapa 45), se prevé una ganancia de altitud del cultivo como respuesta al aumento de las temperaturas migrando hacia las partes altas hasta aproximadamente los 2300 msnm, reduciendo su área de distribución en la parte baja. Es importante mencionar que este cultivo al crecer bajo condiciones de sequias prolongadas su disminución de área es mínima ante las nuevas condiciones, ya que es resistente temperaturas relativamente altas.

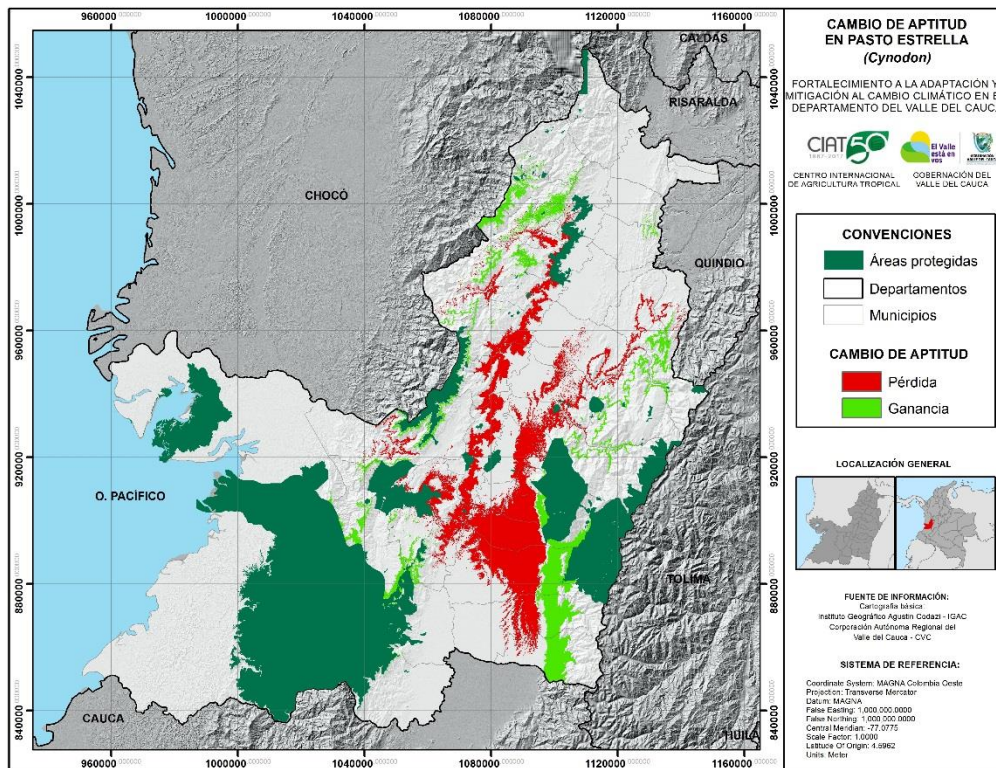
Para el año 2040 bajo las nuevas condiciones climáticas de acuerdo con el escenario de cambio climático establecido, se va a presentar un aumento en el área de distribución espacial de la especie sobre todo en las partes altas, ya que las condiciones climáticas van

hacer favorables para su crecimiento y desarrollo, viéndose reflejado en aumento en su potencial de producción (ver Mapa 46)

Pasto Estrella (*Cynodon*)

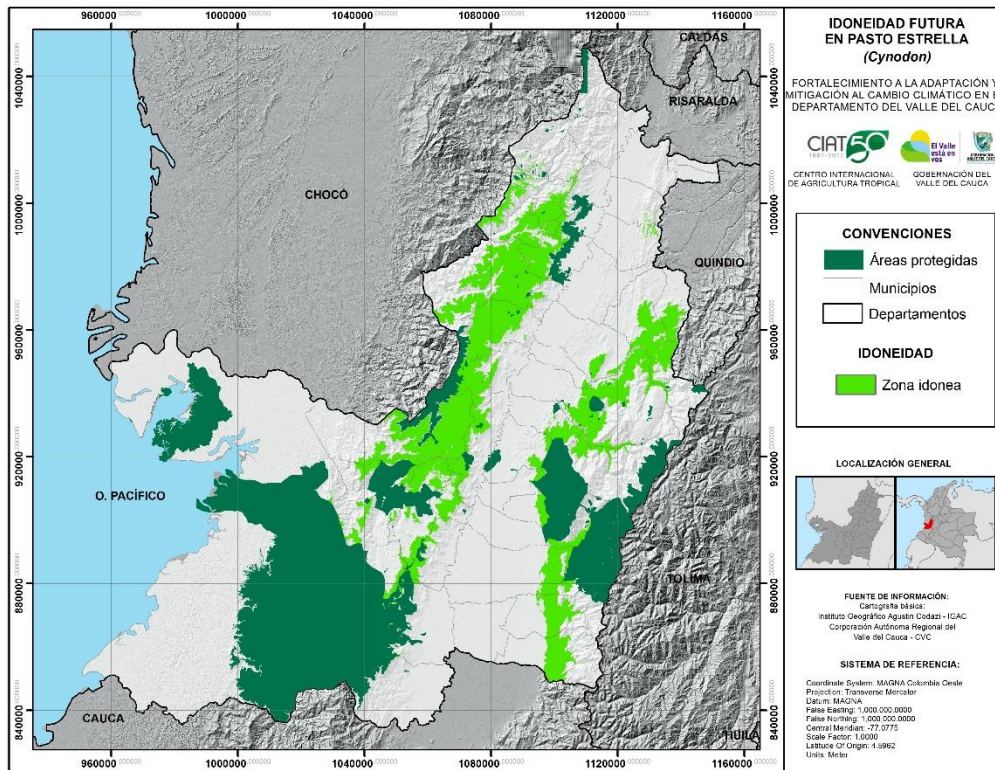
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 49 y Mapa 50 los resultados del modelo MaxEnt sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del Pasto Estrella para el Departamento, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 47. Cambio en la idoneidad climática para el Pasto Estrella.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 48. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Estrella.

Fuente: Elaboración propia.

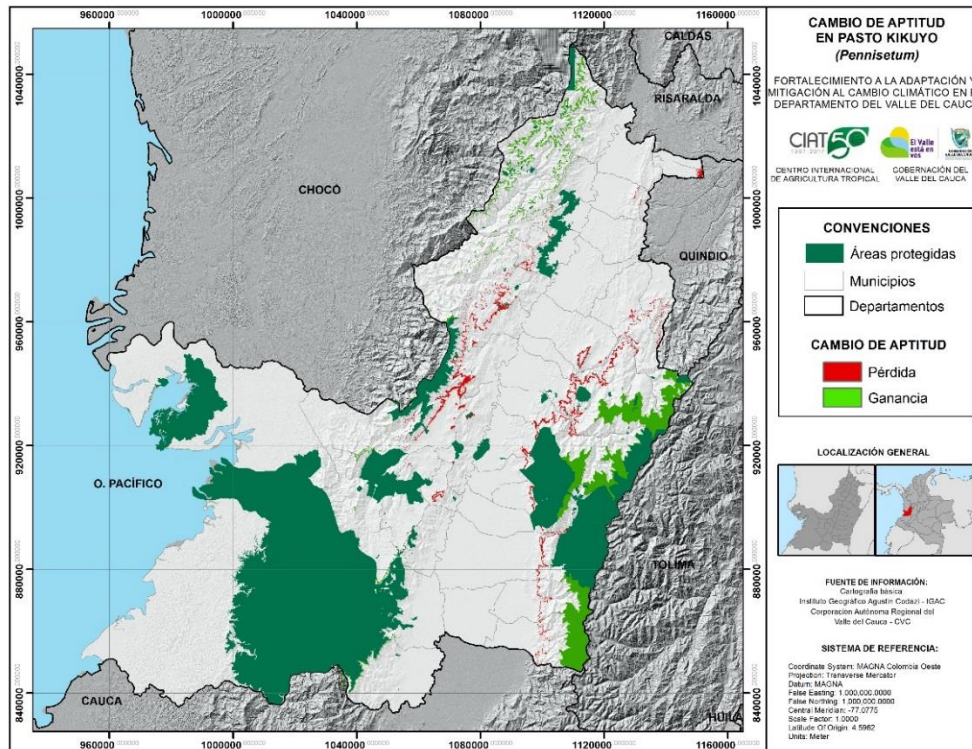
El pasto estrella se caracteriza por ser de zonas bajas y medias. Según Peters, et. al., (2011) el género *Cynodon* se encuentra en un rango de altitud de 0 a 2000 msnm y crece muy bien bajo precipitaciones de 800 a 3500 mm/anuales. Además, se adapta muy bien a climas cálidos y medios y soporta encharcamientos prolongados. De acuerdo a los resultados (ver Mapa 47) se espera una pérdida progresiva de aptitud climática a lo largo del Valle geográfico debido a un aumento en la temperatura de acuerdo al escenario de cambio climático propuesto, dejando las zonas que actualmente cuentan con la presencia de este en un futuro como no idóneas, ya que no van a contar con las condiciones más adecuadas para su óptimo desarrollo. La pérdida de idoneidad se dará más específicamente en los municipios de Pradera, Palmira, Cerrito, Ginebra, Buga, Guacarí, Vijes, Yotoco, Restrepo, San Pedro, Andalucía, Trujillo, Río Frío, Bugalagrande, Sevilla, Roldanillo, Bolívar, La Unión y Calima. Teniendo en cuenta esto, se puede inferir que bajo las nuevas condiciones climáticas se espera una respuesta negativa por parte de este tipo de pasto, ya que es el que más pérdidas presentará ante este escenario.

Se espera para el año 2040 según los resultados del modelo (ver Mapa 48) que este tipo de pasto disminuya su área de distribución, además se prevé un desplazamiento altitudinal hasta los 2500 msnm, debido a que el cambio climático obliga a las plantas a desplazarse a las zonas más altas, como respuesta a los cambios de temperatura y del régimen pluvial del nicho de la especie.

Pasto Kikuyo (*Pennisetum*)

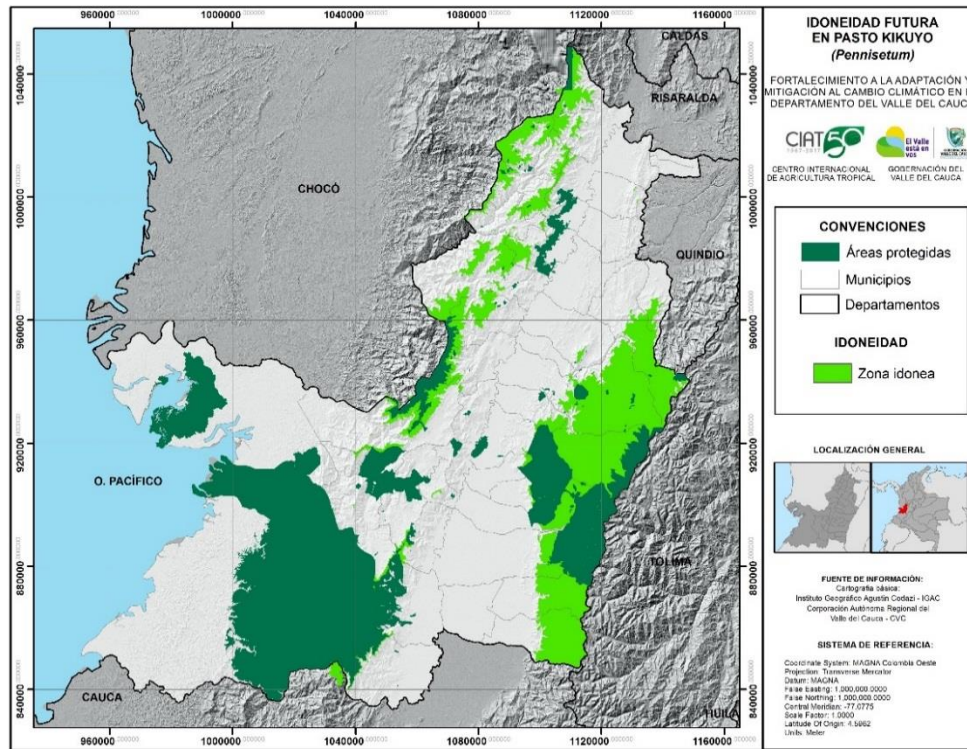
Resultados

A continuación se muestran representados en el Mapa 49 y Mapa 50 los resultados del modelo MaxEnt sobre el cambio de aptitud, y el escenario futuro del Pasto Kikuyo para el Departamento, debido al escenario de cambio climático propuesto.



Mapa 49. Cambio en la Idoneidad climática para el Pasto Kikuyo.

Fuente: Elaboración propia.



Mapa 50. Escenario futuro de cambio climático para el Pasto Kikuyo.

Fuente: Elaboración propia.

Según Peters, et. al., (2011) el género *Pennisetum* es característico de alta montaña, y se encuentra ubicado desde los 1500 hasta los 2500 msnm soportando un amplio rango de precipitaciones, sin embargo, este tipo de pasto no resiste periodos de sequias prolongados ni encharcamiento, lo cual lo hace más susceptible a los cambios de clima adversos. De acuerdo a los resultados obtenidos por el modelo (ver Mapa 49), se prevé pérdidas de idoneidad sobre todo en la parte media en el oriente y occidente del valle geográfico como respuesta al cambio en las condiciones climáticas del nicho de la especie, sobre todo en el aumento de la temperatura.

Se espera una pérdida de área progresiva de la especie para el año 2040 (ver Mapa 50), ya que debido a las nuevas condiciones climáticas la especie tendría que desplazarse hacia las zonas más altas, pero al no contar con una zona de expansión el área de idoneidad para esta se irá reduciendo. Por otro lado, se espera una ganancia de idoneidad en la parte alta en el oriente y occidente del valle geográfico del río Cauca. Este tipo de pastos según los resultados también será sensible bajo las condiciones de cambio climático establecidas.



Análisis del impacto del sector salud frente al cambio climático en el Valle del Cauca

El cambio climático tiene implicaciones sobre la salud pública, principalmente en grupos con mayor vulnerabilidad, como ancianos, niños, enfermos cardiovasculares y aquellas poblaciones con menores ingresos según la evaluación realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los efectos en la salud relacionados con el cambio climático pueden ser tanto directos, como las olas de calor, o indirectos, a través de cambios en los vectores, calidad de las aguas y alimentos, lo cual favorece la aparición de enfermedades.

Respecto de las enfermedades infecciosas, la incidencia y la distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por el agua, alimentos y vectoriales, pueden verse afectadas por cambios en las condiciones climáticas. Cambios en la temperatura, la humedad, el patrón de precipitaciones o vientos, o las superficies de agua que influyen en la reproducción y maduración de vectores. Son procesos ecológicos complejos, en los que intervienen otros factores ambientales y sociodemográficos, por lo que es difícil efectuar predicciones lineales. Sin embargo, la mayor parte de los modelos indican que el cambio climático podría inducir un incremento en el número de casos y la presencia estacional de enfermedades transmitidas por vectores, como el paludismo, y el dengue (Berberian & Rosanova, 2012).

La distribución geográfica y la dinámica poblacional de las enfermedades vectoriales se relacionan con los patrones de temperatura, lluvia y humedad; dado que la mayoría de los vectores son artrópodos de sangre fría altamente sensibles a las temperaturas ambientales, el calentamiento mundial favorece su desarrollo, toda vez que las temperaturas más altas aceleran el metabolismo de los insectos, incrementan la producción de huevos y la necesidad de alimentarse. Las lluvias por su parte tienen un efecto indirecto sobre la longevidad del vector, debido al aumento de la humedad que crea un hábitat favorable para su desarrollo. El paludismo, el dengue, la plaga y los virus neurotrópicos son las patologías transmitidas por artrópodos más involucrados (Berberian & Rosanova, 2012).

El sector de la salud pública, tiene experiencia en enfrentar los efectos del clima; sin embargo, el estado actual de la salud de la población refleja de cierta forma, el grado de fracaso de las políticas y medidas diseñadas para reducir los riesgos. Por lo tanto, es necesario fortalecer las funciones básicas de los sistemas de salud y modificar las actuales actividades de gestión de riesgo. Así mismo, las políticas de mitigación y reducción de GEI aplicadas, como el uso eficiente de energía, reforestación y uso de energías alternativas.

Considerando estas premisas y la importancia de las enfermedades transmitidas por vectores en el sector de la salud pública, se propone analizar la distribución del vector *Aedes aegypti* en el Departamento del Valle del Cauca, con el fin de poder establecer el nicho potencial para esta especie, generando información que permita hacer ajustes a las políticas en el control de enfermedades emergentes, como la infección por virus del dengue, Chikunguña y Zika. La infección por virus del dengue es un reto para la salud pública en el mundo, ya que más de 2.500 millones de persona viven en zonas en riesgo de dengue y

más de 100 países han informado de la presencia de esta enfermedad viral en su territorio (Candelario , et al., 2015).

Los componentes ambientales son críticos para la supervivencia y reproducción de *A. aegypti*, además el clima influye de manera sustancial en diferentes aspectos fisiológicos y etiológicos tanto de larvas como adultos y en la interacción del vector con los patógenos, lo que convierte a la transmisión de arbovirosis humanas, en un proceso altamente sensitivo al ambiente (Berberian & Rosanova, 2012)

En Colombia, es un problema de salud pública de carácter prioritario en el contexto regional y nacional (Padilla, Rojas, & Gomez, 2012). Hasta la semana epidemiológica 52 de 2015 se notificaron 94.916 casos, 98,6 % de los cuales correspondieron a dengue y, 1,4 %, a dengue grave (Instituto Nacional de Salud , 2015). En el aumento de la incidencia de esta enfermedad influyen, además de los factores climáticos, los procesos de empobrecimiento y de urbanización no planificada (Franco, 2001).

Este vector, se caracteriza por ser una especie muy antropofílica que se desarrolla principalmente en recipientes con agua limpia (McCall & Kittyapong, 2006) y, según los reportes más recientes, se encuentra en todos los departamentos hasta los 2.302 msnm (Lopez, et al., 2016). El aumento del número de potenciales criaderos del mosquito se ve directamente influenciado por la falta de un servicio continuo de abastecimiento de agua, lo que lleva a su almacenamiento, muchas veces inadecuado (tanques bajos y albercas), dentro de los domicilios, así como por la falta de saneamiento básico que resulta en la disposición de residuos sólidos a campo abierto, especialmente de residuos que pueden contener agua lluvia, problemas que se presentan con mayor frecuencia en las áreas rurales (Padilla, Rojas, & Gomez, 2012)

En el caso del dengue, cuando este es hemorrágico, la enfermedad puede llegar a ser mortal, siendo más del 47% de las víctimas niños. En el caso del Chikungunya, esta enfermedad causa fuertes dolores en las articulaciones que pueden persistir por semanas, meses o incluso durante años en un porcentaje que puede rondar el 12% de los casos, inhabilitando por mucho tiempo y en diferentes aspectos a las personas afectadas. El zika, a pesar de que es una enfermedad con síntomas similares pero más leves que el Dengue y Chikungunya, se ha demostrado que está directamente relacionada con un aumento significativo en el riesgo de microcefalia en recién nacidos, debido a que las madres presentaron esta enfermedad en su embarazo (Instituto Nacional de Salud , 2015)

Por lo anterior, se considera a la modelación como una herramienta para construir conocimiento sobre cómo afectará el cambio climático a la salud, especialmente a través de los vectores que transmiten las enfermedades; con el fin, de fortalecer los sistemas de salud, especialmente en la planificación e implementación de las acciones encaminadas al control y mitigación de los factores de riesgo del ambiente que potencializan el desarrollo

de estas enfermedades; disponiendo de esta forma de los mecanismos necesarios, para poder hacer frente a los cambios esperados.

Metodología

Para determinar el nicho potencial de *Aedes aegypti* para el departamento del Valle del Cauca, se utilizó el modelo de distribución de especies MaxEnt, en este caso se realizó una búsqueda de registros del vector *Aedes aegypti* en la base de datos mundial Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

Con el fin de corregir el muestreo desigual en diferentes zonas de Colombia, el cual puede afectar fuertemente la modelación de distribución de especies (MDS), subestimando las áreas idóneas para las especies (Radosavljevic & Anderson , 2014), se eliminaron registros que estuvieran en un radio de 10km de distancia de otros.

Se consideraron 6 variables bioclimáticas a una resolución de 1 km², obtenidas a partir de los datos de “downscaling” estadístico de Modelos Generales de Circulación (GCM) (Hijmans, Cameron , Parra, Jones, & Jarvis, 2005). Estas variables han demostrado ser efectivas y eficientes al momento de caracterizar de manera inicial la distribución potencial de animales terrestres, sin presentar mayores aumentos en la precisión del modelo cuando se adicionan otros tipos de variables (tipos de ecosistemas, coberturas vegetales, etc.) (Bucklin , et al., 2015). Para evitar el sobreajuste del modelo debido a variables climáticas fuertemente colineales, se seleccionaron finalmente las siguientes variables que no se encontraron correlacionadas (Pearson<0.7) a una resolución aproximada de un 1 km²: temperatura promedio anual (Bio1), isothermality (Bio3), temperatura estacional (Bio4), temperatura promedio anual (Bio7), precipitación anual (Bio12) y precipitación estacional (Bio15).

Los MDS combinan variables ambientales con los registros de la distribución conocida de una especie para generar un modelo que identifica las áreas potencialmente adecuadas de distribución (distribución potencial). Básicamente, estos modelos se basan en el principio que la distribución de una especie está limitada por las condiciones ambientales, a las cuales estas pueden sobrevivir.

Para la creación de los MDS, se empleó el algoritmo de máxima entropía, implementado en el programa MaxEnt (Elith, et al., 2011). Este algoritmo se encuentra considerado entre los mejores métodos, para datos que presentan solo ocurrencias (Elith, et al., 2006). Los modelos fueron elaborados con los parámetros por defecto que presenta el programa.

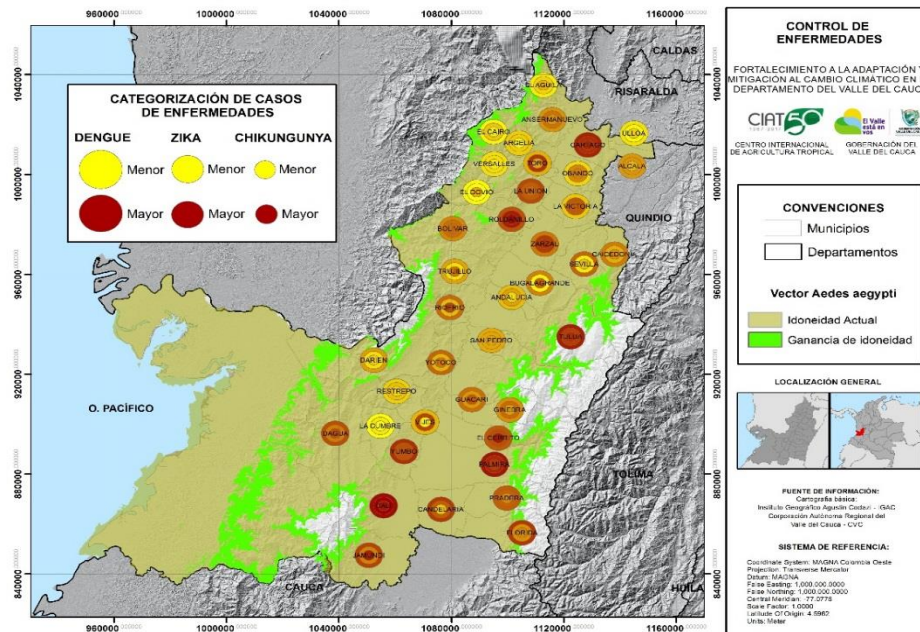
Dependiendo de la distribución de esta especie, también se seleccionaron diferentes áreas para hacer la modelación (“Background”) con base en los rangos de registros y las regiones biogeográficas donde se encuentran. Realizar esta selección de áreas para modelaje es de

vital importancia al momento de implementar estos algoritmos, debido a que la respuesta a las variables ambientales y la evaluación de los modelos, se puede ver fuertemente afectadas por esto, obteniendo resultados estadísticamente confiables pero erróneos (Radosavljevic & Anderson , 2014).

Para la evaluación de los modelos, se tomó entre 75-80% de los registros para calibrar el modelo y el restante para validarlo. Por cada especie se realizaron 15 réplicas, para examinar la consistencia del modelo. Con base a estas replicas se evaluó el modelo, mediante el área bajo la curva (AUC). Estos valores usualmente van entre 1 cuando el modelo tiene buen ajuste con los datos, mientras que valores cercanos o por debajo de 0,5 indican que el modelo no es más informativo que lo obtenido por azar. Para la escogencia de los modelos, se tuvo en cuenta modelos que tengan un $AUC > 0.75$ y que fueran significativamente diferentes al azar entre las réplicas. Las proyecciones se realizaron bajo el escenario RCP 4.5 para el año 2040.

Resultados

A continuación, se presenta en el Mapa 51 los resultados obtenidos por el modelo MaxEnt sobre el cambio potencial en la distribución del vector *Aedes Aegypti* en el Departamento del Valle del Cauca. Además de los lugares donde se focalizaron los mayores casos de transmisión del virus de Zika, Dengue y chikunguña, respectivamente, según la Secretaría Departamental de Salud y la Unidad ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca (UESVALLE).



Mapa 51. Cambio en la distribución potencial de Aedes Aegypti para el escenario de Cambio Climático RCP4.5 para el año 2040.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, el vector Aedes bajo el escenario futuro de cambio climático propuesto, ganaría aptitud climática principalmente en el suroccidente y nororiente del Departamento y en la parte alta del municipio de Buenaventura, es decir, en los municipios del águila, El Cairo, Tuluá, Buga, Cerrito, Palmira, Pradera, Florida, Cali, Calima, Trujillo y Río frío. En general, se presenta un aumento en el rango altitudinal, el cual es producto del aumento de las temperaturas, volviendo estos sitios idóneos para la reproducción y establecimiento del vector. Cabe destacar que estos vectores se ven favorecidos por las altas temperaturas debido a que bajo estas condiciones estos aceleran su metabolismo, incrementan la producción de huevos y la necesidad de alimentarse (Berberian & Rosanova, 2012).

Este estudio indica, que para el año 2040 se espera que el vector Aedes Aegypti presente una mayor amplitud en su distribución espacial, lo cual se va a ver reflejado en un impacto negativo para las poblaciones de las zonas aledañas, siendo esto, una primera aproximación y un recurso importante para identificar y caracterizar las zonas climáticamente favorables para el desarrollo del mismo, con el fin de implementar planes que mitiguen el impacto de su aumento de distribución.

Aquí es importante resaltar, que todos los modelos bioclimáticos utilizados para determinar la distribución potencial de las especies, involucran errores de comisión (clasificar una ausencia como presencia) y de omisión (clasificar una presencia como ausencia) (Peterson & Vieglais, 2001); (Anderson, Lew, & Perterson, 2003)). Sin embargo, son métodos formales, rigurosos y válidos, para predecir en un área particular donde pudiera

existir una especie de interés. Los modelos de nicho fundamental, ayudan a determinar dónde se encuentran las condiciones ambientales más adecuadas para que la especie prospere, en función de parámetros obtenidos previamente ((Romo, Snabría, & García, 2012); (Acosta & Vergara, 2013))

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran una buena predicción de la distribución potencial de la especie, presentando un valor de área bajo la curva (AUC), por encima del parámetro de predicción al azar (0,5). De acuerdo con MaxEnt se estimó un valor de 0.812, lo cual indica que la distribución actual en el hábitat estudiada, se encuentra bien descrita por el clima. Los valores del índice de Kappa (por encima de 0.5), indican también una buena capacidad predictiva del modelo. Según el algoritmo de máxima entropía el modelo mostró que las variables más determinantes en la distribución espacial de la especie estudiada fueron la temperatura media anual y la precipitación anual, con contribuciones entre el 38.2 y 23.7, respectivamente.

La distribución poblacional del vector, está controlada por factores endógenos (biológicos) y exógenos (bioclimáticos) y la contribución de cada variable puede afectar de manera particular a cada especie (Yang et al., 2008). El modelo obtenido con MaxEnt, indica que las áreas desfavorables para la presencia de la especie coinciden con zonas de mayor altura (>3000 m), que son zonas con bioclimas poco adecuados, con temperaturas menores de 10 °C, las cuales son condiciones inadecuadas para la sobrevivencia del vector (Ataroff & Sarmiento, 2004).



Medidas de Adaptación al Cambio Climático para el Valle del Cauca



El Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC define la adaptación como un proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, en el caso de los sistemas humanos, la adaptación pretende moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades emergentes, en cuanto a los sistemas naturales, la adaptación es facilitada a través de la intervención humana.

De acuerdo con Meza y Gonzáles (2012), “Actualmente, la agricultura, ganadería y silvicultura son actividades productivas responsables de un tercio del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial. Son actividades amenazadas por el cambio climático que, al mismo tiempo, poseen un enorme potencial para mitigarlo de manera costo-eficiente. La mitigación del cambio climático, a través de la estabilización o reducción de la cantidad de carbono atmosférico –y otros gases- puede lograrse, esencialmente, por dos vías: reduciendo las fuentes o el ritmo de las emisiones, e incrementando el ritmo de la absorción de carbono (sumideros). El 70% del potencial de mitigación agrícola se encuentra en los países en desarrollo. La mitigación es posible a través de cambios en tecnologías y en prácticas de manejo agrícola. “Las medidas de adaptación y mitigación se pueden complementar entre si y en conjunto pueden reducir los riesgos del cambio climático.

Por otro lado según Reiter P (2001), diferentes modelos sugieren que el incremento de las temperaturas a nivel global, aumentarán las tasas de transmisión y la extensión de la enfermedad, sin embargo asegura que el clima rara vez ha sido el determinante principal de su prevalencia, ya que existen otras actividades e impactos en la ecología local que representan una mayor relevancia. El autor concluye que el análisis de las enfermedades transmitidas por mosquitos es complejo, debido a que este debe considerar factores como: la interacción del clima, la ecología, la biología propia de los vectores y otros análisis que se alejan de un análisis simplista, de esta manera el autor destaca que la distribución de los vectores no sólo depende del cambio del clima, ya que los factores más determinantes son la política, la economía y las actividades humanas.

Estructuración de medidas de adaptación.

Inicialmente el equipo técnico del PICC propuso un portafolio de medidas de adaptación para el Valle del Cauca en relación con las zonas que presentaron la más alta vulnerabilidad en el análisis del impacto del cambio climático en los programas de gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad y gestión integral del recurso hídrico, estas medidas fueron socializadas con diferentes actores mediante dos reuniones en las que estuvieron presentes la CVC, el CINARA de la Universidad del Valle, la Secretaría de Salud del Valle, la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca, la UESVALLE y el CIAT. Mediante estas socializaciones se ajustaron los enfoques de las medidas y se propusieron nuevas acciones a implementar, además se acordó que los programas estarían enmarcados en unas líneas estratégicas en relación con los enfoques de las medidas y que deben existir líneas estratégicas transversales en todo el plan que se encarguen de promover campañas de educación, comunicación, transferencia de conocimientos y monitoreo y verificación del cumplimiento (Figura 32).

Es de suma importancia que se articulen las acciones del PICC con las actividades que la CVC viene desarrollando con el fin de promover su fortalecimiento en función del cumplimiento de la meta de adaptación establecida mediante este plan. La dirección técnica ambiental en su programa de fortalecimiento de sistemas de producción sostenible ha venido adelantando actividades en torno a la restauración de coberturas boscosas, la implementación de sistemas productivos en procesos de reconversión tecnológica, en estrategias de conservación en áreas de importancia ecosistémica, en el fortalecimiento de capacidades institucionales, en estudios detallados y semidetallados de suelos, en planes de ordenación forestal y en acciones de promoción y transferencia de tecnologías, entre otras. Este tipo de iniciativas se pueden acoplar perfectamente y presentarse como intervenciones multipropósito toda vez que cumpliendo con las metas programadas por la corporación ayude en el desarrollo de las medidas de adaptación planteadas en este apartado.



Figura 32. Líneas estratégicas y programas del PICC Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

Líneas estratégicas

Mediante las socializaciones se llegó al consenso de establecer unas líneas estratégicas que enmarcaran las medidas de adaptación según en el enfoque con las que fueron diseñadas, de acuerdo con esto las líneas resultantes fueron:

Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático

Esta línea estratégica abarca todas aquellas medidas que comprenden cambios en la manera como se han venido desarrollando ciertas actividades económicas o culturales, que implican la implementación de nuevas tecnologías y métodos más amigables con el medio ambiente y en especial con la conservación de la biodiversidad, los ecosistemas de páramo y el recurso hídrico, uno de los principales objetivos es que se las medidas puedan ser desarrolladas de manera consensuada con la comunidad y que la implementación de las mismas no afecte negativamente la economía de la población.

Intervención en zonas de interés ambiental

Los análisis de vulnerabilidad desarrollados a lo largo de este plan han identificado unas zonas prioritarias de intervención debido a su relevancia respecto a los programas que se han venido trabajando, esta línea estratégica reúne las medidas que pretenden intervenir zonas de gran importancia ambiental dado que han identificado como vulnerables para la preservación del recurso hídrico y/o para los ecosistemas de páramo, por lo tanto esta línea estratégica apoyará las medidas que giran en torno a la conservación, restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de zonas que han sido disturbadas o que aun teniendo un bajo grado de intervención antrópica presentan una alta vulnerabilidad al cambio climático.

Planificación y articulación institucional frente al cambio climático

Esta línea estratégica enmarca las medidas que de alguna manera servirán de apoyo para la toma de decisiones en la planificación territorial, mediante figuras de protección y formulación de lineamientos regulatorios, que requieren un trabajo mancomunado entre instituciones públicas, privadas e internacionales que tengan intereses en el territorio.

Monitoreo y verificación de implementación

Esta se plantea como una línea estratégica transversal al PICC, que será la encargada de hacer seguimiento al desarrollo de las actividades que se planteen para la ejecución de las medidas de adaptación, de manera que se garantice el cumplimiento de las metas de adaptación en los tiempos en los que se plantea e identifique barreras y cuellos de botella que se puedan presentar en el camino. Esta labor la debe desempeñar una o varias entidades que tengan pertinencia en el territorio y cuenten con una capacidad institucional instalada, de modo que se pueda hacer una vigilancia integral del plan. Este monitoreo incluye reportes periódicos en los que se expongan las acciones realizadas, porcentaje de implementación y metas alcanzadas.

Educación, fortalecimiento de capacidades institucionales y transferencia del conocimiento

El proceso de implementación de todas las medidas incluye jornadas de capacitación, socialización y difusión, tanto para la población que está asentada en los lugares de interés como para la comunidad en general y demás actores relevantes del territorio, por tal razón se plantea esta línea estratégica como transversal al PICC, que además de fortalecer las campañas antes mencionadas, se encargará de generar oportunidades de investigación para centros especializados y universidades, y fortalecer las capacidades institucionales en torno al cambio climático y a la implementación de acciones en pro de la adaptación del territorio. De manera que

esta línea estratégica propenderá por fortalecer y aprovechar las capacidades de los actores clave del departamento.

Programas

En la Tabla 23 se muestra un listado de las medidas de adaptación que fueron diseñadas para PICC y los programas que las contienen, varias de las medidas comparten programas debido a que la implementación de las mismas estarían promoviendo el incremento de la capacidad adaptativa del departamento en términos de gestión del recurso hídrico y protección de ecosistemas estratégicos y biodiversidad.

Tabla 23. Medidas de adaptación por programa.

Medida	Programa
1. Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo.	Gestión integral del recurso hídrico & Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad
2. Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo.	
3. Gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico.	
4. Restauración ecológica de ecosistemas de páramo.	
5. Fortalecimiento de estrategias de PSA y otros incentivos.	
6. Restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua.	
7. Fortalecimiento de los lineamientos para el uso del agua en cuencas altamente vulnerables al cambio climático.	
8. Restauración y enriquecimiento de bosques riparios en zonas planas.	
9. Creación de parcelas de monitoreo en los páramos.	Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad
10. Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad.	
11. Observatorio regional de cambio climático.	Gestión integral del recurso, hídrico Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad, salud pública y planificación territorial y Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria
12. Fortalecimiento de los nodos regionales (Pacífico Sur y Eje cafetero).	
13. Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera.	Gestión integral del recurso hídrico & Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria
14. Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico.	
15. Mejoramiento de la red hidrométrica de las cuencas.	Gestión integral del recurso hídrico
16. Restauración de suelos para uso agrícola.	Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria
17. Sistema de alertas agroclimáticas tempranas.	
18. Sistemas Silvopastoriles de baja intensidad.	
19. Servicios Climáticos para el sector de Salud.	Salud pública y planificación territorial
20. Control de Vectores.	
21. Fortalecimiento de capacidades en cambio climático en la salud.	

Fuente: Elaboración propia.

Gestión integral del recurso hídrico.

Entre los principales pilares de este programa está la optimización del uso del recurso hídrico por medio de medidas que promuevan prácticas de conservación y uso racional del recurso, haciendo énfasis en zonas que presentan alta vulnerabilidad en cuanto a disponibilidad del mismo. Otro de los objetivos es promover como factor prioritario la recuperación y protección integral de los ecosistemas de páramo, sub-páramo y bosques alto-andinos, entendidos como ecosistemas estratégicos en la preservación y regulación de los principales cauces de las cuencas abastecedoras.

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.

El principal objetivo del programa es la preservación de los ecosistemas estratégicos, siendo enfático en el ecosistema de páramo y la biodiversidad del departamento por medio de la promoción de medidas de adaptación en torno a la restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas que presenten un alto grado de vulnerabilidad al cambio climático. El diseño de las medidas está encaminado a promover prácticas como sistemas agroforestales y silvopastoriles que faciliten la conectividad ecológica entre ecosistemas estratégicos, mediante el uso de herramientas de manejo del paisaje en un trabajo conjunto entre las CVC, el Instituto Von Humboldt, Corpoica, Universidades, Agricultores y empresarios de la región. También propende por la promoción de prácticas de manejo sostenibles en la agricultura local, como los BPA, la agricultura orgánica, la agricultura de conservación, la diversificación de cultivos, la rotación de cultivos y el manejo integrado de nutrientes, de manera que se evite la ampliación de la frontera agrícola y se reduzcan los impactos generados por el sector. También se considera relevante el apoyo en la resolución de conflictos en torno a la gestión integral de los servicios ecosistémicos y a la conservación de la biodiversidad.

Salud pública y planificación territorial.

Teniendo en cuenta que los análisis de distribución del vector *Aedes aegypti* evidencian un incremento en la distribución del vector, alcanzando centros poblados que antes no eran idóneos para la especie, se hace necesario implementar acciones en pro de reducir los casos de enfermedades que puedan presentarse. Es por eso que el objetivo del programa es contribuir con la adaptación del sector salud a los posibles impactos ocasionados por el cambio climático, mediante la mejora de capacidades institucionales, al igual que de los centros médicos y personal de respaldo del sector en temas de cambio climático y su incidencia en la distribución de vectores

Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

El objetivo principal del programa es contribuir con la adaptación del sector agrícola y mejorar la seguridad alimentaria, mediante prácticas sostenibles que contribuyan con el incremento de la

eficiencia del sector, logrando que los pequeños y medianos agricultores produzcan más en la misma área que se ha destinado para este fin, promoviendo la diversificación de cultivos, prácticas silvopastoriles y agroforestales y disminuyendo la expansión de la frontera agrícola.

A continuación se plantean las medidas de adaptación para los programas de gestión integral del recurso hídrico, gestión y protección de los ecosistemas de páramo y la biodiversidad, salud pública y planificación territorial y productividad agropecuaria y seguridad alimentaria:

Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo

Programas:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
Gestión integral del recurso hídrico.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Mantener y mejorar la integridad ecológica del páramo con otros ecosistemas, facilitando y fortaleciendo corredores biológicos que favorezcan la conectividad entre el bosque alto andino y el páramo.

Descripción:

El límite del páramo está precisamente fluctuando en esa franja localizada entre el bosque alto andino y el páramo bajo o sub páramo. Esta fluctuación permite el refugio climático, diversidad de hábitats y oferta de recursos alimenticios para la fauna silvestre, especialmente para los grandes y pequeños mamíferos que requieren de un alto grado de conservación de la conectividad espacial y ecológica de estos ecosistemas. La fragmentación y pérdida de conectividad puede conducir al aislamiento de poblaciones y la extinción de especies, así como a la pérdida de servicios ecosistémicos (Rivera & Rodríguez, 2011).

Para la implementación de esta medida se propone incorporar la metodología de “Herramientas de Manejo del Paisaje” (HMP) propuesto por Lozano-Zambrano (2009) y articularlo con las acciones que la corporación ha venido desarrollando, tal como el proyecto 1002 “*Restauración de coberturas boscosas y rehabilitación de suelos en conflicto por uso y manejo*” y el proyecto 3001 “*Conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos mediante el conocimiento, la preservación, la restauración y el uso sostenible*”.

Acciones requeridas:

- Identificación de actores y sus roles e instrumentos planificadores (vacíos y cuellos de botella).
- Socialización de la medida.
- Concertación de acuerdos con los productores por derechos de restauración.
- Caracterización biológica.
- Análisis de viabilidad socioeconómica de la acción y diseño de las estrategias y mecanismos de intervención.
- Construcción de vivero de especies nativas.
- Plantación de 150 plántulas por hectárea para revegetalización (100) y cercas vivas (50)
- Mantenimiento de las zonas restauradas.
- Talleres de asesoría técnica de manejo agropecuario de los cultivos predominantes de la zona.
- Evaluación de eficacia biológica y evaluación de impactos socioeconómicos.
- Socialización e intercambio de experiencias.

Lugar de aplicación:

Zona de transición de bosque Alto Andino con Páramos del Duende, los Farallones de Cali, las Hermosas y Chili Barragá (Mapa 52).

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Flujo génico.
- Refugios climáticos.
- Provisión de servicios ecosistémicos.
- Fijación de carbono.
- Generación de oportunidades de investigación en biodiversidad y ecosistemas de páramo.

Posibles fuentes de financiación:

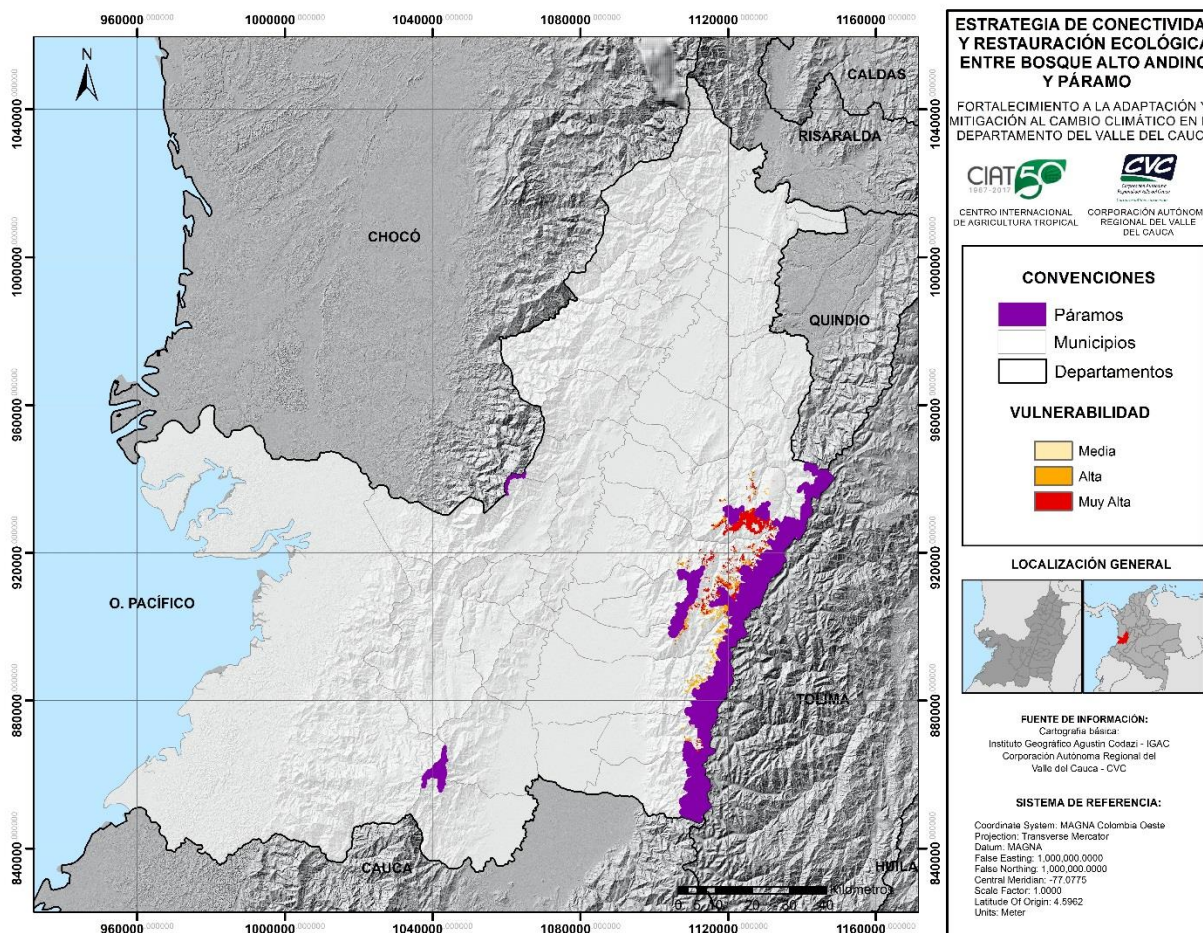
CVC, MADS, WWF, SINA, BID, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo adaptación, Fondo Colombia en paz, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Climate investment funds, Adaptation fund, Fondo del Agua, International Climate Initiative.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNN, Cortolima, CRQ, CODECHOCO, IIAP, SINAP, The Nature Conservancy, Fundación fondo

agua por la vida y la sostenibilidad, CENICAÑA, ASOCAÑA, ASOAMAIME, ASONIMA, ASOBOLO, ASODES, ASOFRAYLE y organizaciones de campesinos.

Costo estimado:
\$98.946.417.509



Mapa 52. Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo.

Fuente: Elaboración propia.

Se propone la restauración ecológica entre el bosque alto andino y páramo bajo los lineamientos de herramientas de manejo del paisaje (HMP) propuesto por Lozano-Zambran (2009) y articularlo con las acciones que la corporación ha venido desarrollando, tal como el proyecto 1002 “Restauración de coberturas boscosas y rehabilitación de suelos en conflicto por uso y manejo” y el proyecto 3001 “Conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos mediante el conocimiento, la preservación, la restauración y el uso sostenible”.

La transformación de paisajes naturales en paisajes rurales ha generado que muchos ecosistemas estratégicos solo se mantengan como fragmentos aislados y dispersos en diferentes

tamaños y formas, inmersos en matrices culturales y en especial en terrenos privados (Zambrano-Lozano, 2009).

La conformación de paisajes rurales requiere de una organización territorial mediante procesos de planeación, manera tal que se puedan implementar acciones coordinadas en torno a la recuperación y conservación de los bienes y servicios ecosistémicos que hacen parte y son generados por los terrenos rurales (Zambrano-Lozano, 2009).

Para el desarrollo de las actividades propuestas, es importante que estén enmarcadas bajo las siguientes acciones:

- Reconocimiento del territorio.
- Oportunidades de conservación.
- Diseño de estrategias de conservación.
- Implementación de herramientas del paisaje.
- Seguimiento y evaluación.

Criterios de priorización:

La implementación de esta medida se enfoca en las áreas catalogadas como ecosistemas de sub-páramo y bosque alto-andino, debido a que corresponden a ecosistemas de transición en los que es importante concentrar medidas en función de mejorar la conectividad ecológica por medio de labores de restauración ecológica. A pesar que el escenario ideal es conservar todos los ecosistemas de transición a páramos, es necesario establecer sitios prioritarios de implementación, donde la ejecución de la medida se verá reflejado en el incremento de la capacidad adaptativa de los ecosistemas. Con este objetivo se seleccionaron las áreas que mostraron una vulnerabilidad que varía entre “media”, “alta” y “muy alta” al cambio climático y que hacen parte de la zona analizada, se propone la implementación de la medida en su mayoría en las zonas aledañas al páramo Las Hermosas y una pequeña fracción en Los Farallones de Cali y El Duende, que corresponden a 14.369.4 ha, en la Tabla 24 se representan las áreas a intervenir por jurisdicción municipal y por el grado vulnerabilidad que arrojó el análisis de páramos.

Tabla 24. Áreas y lugares de implementación

Municipios	Área con índice de vulnerabilidad (ha)		
	Medio	Alto	Muy Alto
Tuluá	0,00	666,99	4.317,48
San Pedro	0,00	0,00	0,09
Buga	4,86	1.504,89	3.044,61
Calima el Darién	8,10	0,00	0,00
El Cerrito	273,69	1.149,84	570,87
Palmira	1.007,28	1.390,50	10,35

Municipios	Área con índice de vulnerabilidad (ha)		
	Medio	Alto	Muy Alto
Florida	33,39	12,15	0,00
Cali	2,88	0,00	0,00
Jamundí	4,32	2,61	0,00
Pradera	0,00	185,94	164,43
Sevilla	8,19	3,96	1,98
Subtotal	1.342,71	4.916,88	8.109,81
Total	14.369,40		

Fuente: *Elaboración propia.*

Para la ejecución de la medida se sugieren tres etapas de implementación, en la primera se intervendrán las zonas que mostraron la más alta vulnerabilidad correspondiente a 8,109.8 ha, en los municipios de Tuluá (4.317.48 ha), Buga (3.044.61 ha), El Cerrito (570.87 ha), Pradera (164.43 ha), Palmira (10.35 ha) y Sevilla (2 ha).

Por su parte la segunda fase comprenderá las áreas con alta vulnerabilidad correspondiente a 4,916.88 ha, con lugar de los municipios de Buga (1.504.89 ha), Palmira (1.390.50 ha), El Cerrito (1.149.84 ha), Tuluá (666.99 ha), Pradera (185.94 ha), Florida (12.15 ha), Sevilla (4 ha) y Jamundí (2.61 ha).

La fase tres se desarrollará en 1,392.71 ha catalogadas con un nivel medio de vulnerabilidad y que hace parte de los municipios de Palmira (1,007.28 ha), El Cerrito (273.69 ha), Florida (33.39 ha), Calima Darién (8.10 ha), Sevilla (8.19 ha), Buga (4.86 ha), Jamundí (4.32 ha) y Cali (2.88 ha).

Tabla 25. Costos estimados de la medida (Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Identificación de actores y sus roles e instrumentos planificadores (vacíos y cuellos de botella).	\$4.500.000			\$4.500.000
Socialización de las acciones a implementar e identificación de los intereses de la comunidad.	\$10.100.000	\$30.300.000	\$20.200.000	\$60.600.000
concertación de acuerdos con productores y pagos por derechos de restauración	\$1.149.541.000	\$7.663.680.000	\$12.089.455.200	\$20.902.676.200
Caracterización biológica.	\$53.880.000	\$161.640.000	\$107.760.000	\$323.280.000
Análisis de la viabilidad socioeconómica de la acción y diseño de las estrategias y mecanismos de intervención	\$32.000.000	\$96.000.000	\$64.000.000	\$192.000.000
Construcción de viveros de especies nativas.	\$295.550.000	\$754.393.500	\$1.185.475.500	\$2.235.419.000
Plantación 150 plántulas por hectárea para revegetalización (100) y cercas vivas (50)	\$2.406.447.729	\$8.422.567.047	\$13.235.462.510	\$24.064.477.286
Mantenimiento de las zonas restauradas	\$1.076.878.760	\$14.478.036.656	\$22.997.344.176	\$38.552.259.592
Talleres de asesoría técnica de manejo agropecuario de los cultivos predominantes de la zona	\$21.554.100	\$75.439.350	\$118.547.550	\$215.541.000
Evaluación de eficacia biológica y evaluación de impactos socioeconómicos.		\$142.560.000	\$95.040.000	\$237.600.000
Socialización e intercambio de experiencias.		\$4.050.000	\$2.700.000	\$6.750.000
Seguimiento y Gerencia.	\$353.531.611	\$2.228.006.659	\$3.494.118.946	\$6.075.657.215
Interventoría.	\$353.531.611	\$2.228.006.659	\$3.494.118.946	\$6.075.657.215
Totales	\$5757514811	\$36.284.679.870	\$56.904.222.827	\$98.946.417.509

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

La medida contempla la intervención de zonas de transición que han sufrido cambios de bosques a otro tipo de cobertura y contempla las siguientes actividades:

Identificación de actores y sus roles e instrumentos planificadores (Vacíos y cuellos de botella)

Un profesional se encargará de recolectar información de línea base de las zonas a intervenir, con el fin de conocer instrumentos de planificación, actores y sus roles. El objetivo es conocer detalladamente la zona a través de información bibliográfica y por medio de la socialización llenar vacíos de información en la caracterización del terreno.

Socialización de la medida

En la primera etapa de implementación se realizarán dos talleres en veredas priorizadas para 50 personas, también se realizará difusión de información por medio de emisora, volantes, avisos en tiendas y zonas de aglomeración (misas). Para la realización de estos talleres, se debe tener en cuenta el costo de los refrigerios, alquiler del lugar de reunión (si tiene algún costo), alquiler

de Video beam. Se contratará un sociólogo por un mes, este deberá realizar trabajo de reconocimiento, hacer la socialización y procesar la información levantada a través de las reuniones. Posteriormente se realizarán socializaciones cada cuatro años, atendiendo zonas en el mismo orden de implementación de la medida, en total se realizarán 10 reuniones.

Concertación de acuerdos con los productores por derechos de restauración

Una vez identificados los productores que ocupan el área de interés, se negociarán acuerdos de pago para que los productores permitan la intervención de las zonas a restaurar, se estima que el productor recibirá una suma de dinero por el orden de los \$400.000 al año por hectárea, incluyendo gastos de los contratos, a la vez que se buscarán herramientas de pagos por servicios ambientales (PSA) que servirán para incentivar al productor a conservar los terrenos restaurados durante parte de la implementación de la medida, al igual que en los próximos años a partir del 2040. Estos predios restaurados serán recomendados como prioritarios a la hora de aplicar recursos de PSA.

Caracterización biológica

Para el desarrollo de esta actividad se requiere un Ingeniero Forestal, un Biólogo y un guía de la zona que acompañe las comisiones, esta labor se realizará durante aproximadamente tres meses durante los cuales la comisión recorrerá las zonas de interés, se determinarán las especies que se restaurarán y los sitios priorizados para cada especie.

Análisis de la viabilidad socioeconómica de la acción y diseño de las estrategias y mecanismos de intervención.

Este análisis será realizado por un Economista y un Especialista en Restauración, por medio de una contratación de aproximadamente seis meses, dicho análisis debe incluir un estudio detallado de los productores y sus actividades económicas, con proyecciones al año 2040, que identifique las estrategias y los mecanismos que se irán implementando.

Construcción de vivero de especies nativas

Se construirá un vivero que proveerá las especies que serán liberadas y propagadas en el área de influencia, se estima que la construcción del vivero este por el orden de los \$80'000.000.

Plantación de 150 plántulas por hectárea para revegetalización (100) y cercas vivas (50)

El proceso de plantación iniciará en el año 2019 y consiste en la plantación 100 especies nativas y 50 para cercas vivas por hectárea.

Mantenimiento de las zonas restauradas

El mantenimiento comienza en el año 2020, después de que se ha iniciado algún tipo de proceso de restauración.

Talleres de asesoría técnica de manejo agropecuario de los cultivos predominantes de la zona.

Se realizarán asesorías técnicas para los productores por medio de talleres anuales, donde se enfatizará en el manejo agropecuario de los principales sistemas productivos de la zona y estrategias de mercadeo que ayuden a incrementar las ganancias en los productores.



Evaluación de eficacia Biológica y evaluación de impactos socioeconómicos

Al igual que en la caracterización biológica se requerirá de un Ingeniero Forestal, un Biólogo, un guía de la zona y un economista. Esta comisión será la encargada de realizar visitas de campo durante dos meses y cada cuatro años, en las que se realizarán muestreos, registros fotográficos y encuestas a los agricultores, con el fin de conocer los principales impactos que la medida ha generado en cuanto a los ecosistemas de páramo, a la agricultura y su incidencia en la actividad económica de los productores.

Socialización e intercambio de experiencias

La socialización se realizará cada cuatro años y el objetivo es que los productores que han participado en la medida puedan resolver dudas e intercambiar experiencias.

Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo

Programas:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
Gestión integral del recurso hídrico.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Promover la conservación de ecosistemas de páramo que aún no cuentan con una figura de protección y que presentan una alta vulnerabilidad al cambio climático.

Descripción:

El departamento del Valle del Cauca cuenta con tres zonas importantes de ecosistemas de páramos, El Duende, los Farallones de Cali, las Hermosas y Chili Barragá. La mayoría de estas zonas cuentan con alguna figura de protección, que favorece a su conservación. Sin embargo 12.084 ha en zonas de páramo no cuentan con herramientas que propendan por su protección, por lo cual es importante promover y fortalecer mecanismos y estrategias como sistemas de pagos por servicios ambientales (PSA) y áreas de reserva de la sociedad civil, que velen por la conservación de estos ecosistemas estratégicos, con el fin de garantizar la prestación de los servicios ecosistémicos.

Acciones requeridas:

- Socialización de las acciones de conservación en páramos e identificación de propietarios de los predios localizados en este ecosistema.
- Análisis de la viabilidad socioeconómica de las acciones seleccionadas e identificación de oportunidades.
- Priorización de medidas a implementar.
- Capacitaciones sobre herramientas de conservación y su importancia.
- Financiación de medidas por predio y asesoría técnica.
- Evaluación de impactos socioeconómicos.

Lugar de aplicación:

Zona de transición de bosque Alto Andino con Páramos del Duende, los Farallones de Cali, las Hermosas y Chili Barragá (Mapa 53).

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase2 2036



Co-beneficios:

- Provisión de servicios ecosistémicos.
- Captura de carbono.
- Facilita refugios climáticos.
- Generación de sentido de pertenencia por el territorio en la comunidad.
- Promoción de campañas educativas en torno al medio ambiente.
- Generación de nuevas oportunidades de negocio.

Posibles fuentes de financiación:

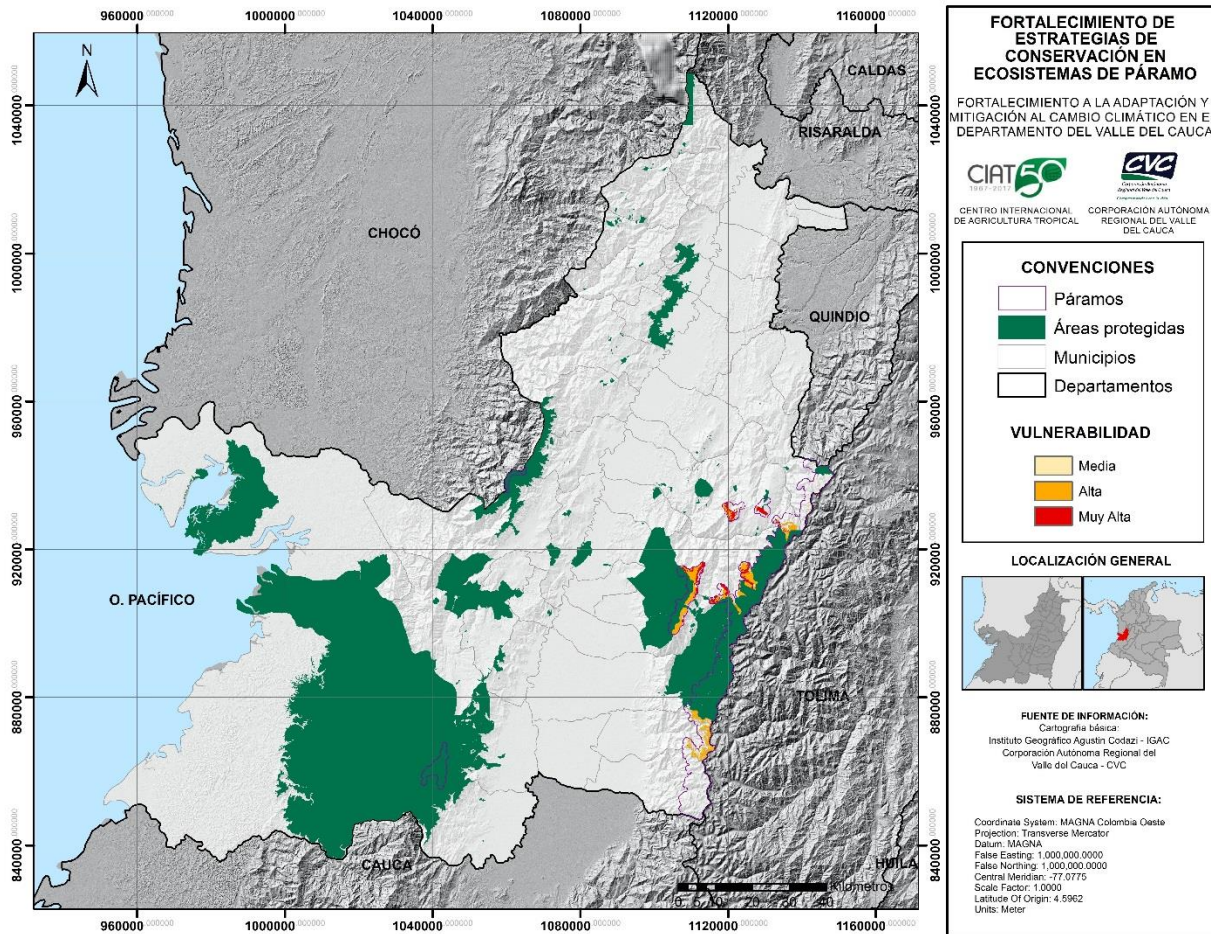
CVC, MADS, WWF, SINA, BID, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo adaptación, Fondo Colombia en paz, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Climate investment funds, Adaptation fund, Fondo del Agua, International Climate Initiative.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNN, Cortolima, CRQ, CODECHOCO, IIAP, SINAP, The Nature Conservancy, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, CENICAÑA, ASOCAÑA, ASOAMAIME, ASONIMA, ASOBOLO, ASODES, ASOFRAYLE y organizaciones de campesinos.

Costo estimado:

\$6.684.346.680



Mapa 53. Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

Esta medida intenta cobijar con alguna figura de conservación aquellas zonas que siendo catalogados como páramos no cuenta con herramientas legales o figuras de conservación. Para ello se identificaron las zonas que están por fuera de las áreas protegidas según parques nacionales naturales (PNN) y que además según el análisis de vulnerabilidad al cambio climático del PICC están ubicados en la clasificación media, alta o muy alta. A partir de este se determinó que las zonas a intervenir corresponden a la jurisdicción de los municipios de Tuluá, Buga, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Florida, Pradera y Sevilla, que en total suman cerca de 12.000 ha con algún grado de vulnerabilidad, de las cuales 3.401,19 ha presentan un grado “muy alto”, 8.560,26 ha un grado “alto” y 122,58 ha un grado medio.

Tabla 26. Áreas y lugares de implementación (Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas de páramo).

Municipio	Área con índice de vulnerabilidad (ha)		
	Media	Alta	Muy Alta
Tuluá	11,9	1.143,45	1.125,18
Buga	20,88	3.271,86	1.923,93
Ginebra	0,00	18,45	2,61
El Cerrito	19,80	1.439,55	283,41
Palmira	10,89	22,23	0,27
Florida	15,39	36,63	0,00
Pradera	0,00	2.500,02	60,57
Sevilla	43,83	128,07	5,22
Subtotal	122,58	8.560,26	3.401,19
Total	12.084,03		

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de la medida se proponen tres etapas en las cuales se irán desarrollando actividades según el grado de vulnerabilidad que se presenta en la Tabla 26, empezando por las zonas con categoría “muy alta” correspondiente a los municipios de Buga, Tuluá, El Cerrito, Pradera, Sevilla y Ginebra. La siguiente fase comprende la intervención de 8.560 ha con índice de vulnerabilidad alto en los municipios de Buga, Pradera, El Cerrito, Tuluá, Sevilla, Palmira y Ginebra. Finalmente se implementará una fase en la que se tendrán en cuenta las zonas que presentaron una vulnerabilidad media que comprende un área total de 122.5 ha y hace parte de los municipios de Sevilla, El Cerrito, Buga, Florida, Palmira y Tuluá.

Tabla 27. Costos estimados de la medida (Fortalecimiento de estrategias de conservación en ecosistemas estratégicos).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Socialización de las acciones de conservación en paramo e identificación de los propietarios de los predios localizados en este ecosistema (Priorización de medidas).	\$8.475.000	\$28.250.000	\$8.475.000	\$45.200.000
Análisis de la viabilidad socioeconómica de las acciones seleccionadas e identificación de oportunidades.	\$36.000.000	\$60.000.000	\$12.000.000	\$108.000.000
Priorización de medidas a implementar	\$22.500.000	\$75.000.000	\$22.350.000	\$119.850.000
Capacitaciones sobre herramientas de conservación y su importancia.	\$21.900.000	\$73.000.000	\$21.900.000	\$116.800.000
Financiación de medidas por predio y asesoría técnica	\$624.201.500	\$2.808.906.750	\$1.560.503.750	\$4.993.612.000
Evaluación de impactos socioeconómicos.	\$15.000.000	\$285.000.000	\$180.000.000	\$480.000.000
Seguimiento y Gerencia.	\$50.965.355	\$233.110.973	\$126.366.013	\$410.442.340
Interventoría.	\$50.965.355	\$233.110.973	\$126.366.013	\$410.442.340
Totales	\$830.007.210	\$3.796.378.695	\$2.057.960.775	\$6.684.346.680

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

La medida tiene como objetivo principal aquellas áreas que no han cambiado en los últimos años y que siguen siendo algún tipo de bosque, serán cobijadas mediante esta medida en zonas que son catalogadas como páramos pero que no cuentan con alguna figura de protección. La implementación de esta medida intervendrá aproximadamente 12.000 hectáreas en 33 veredas, en las que se espera impactar en cerca de 800 familias productoras. Para lo cual se propone desarrollar las siguientes acciones:

Socialización de las acciones de conservación en páramos e identificación e identificación de propietarios de los predios localizados en este ecosistema

Inicialmente se realizará una socialización de la medida con productores que están acentuados en zonas de páramo que no cuentan con figura de protección, en esta primera reunión se hablará acerca de la importancia de conservación de estos ecosistemas y que es necesario reconocer que en estas áreas se realizan actividades productivas que deben ser cada vez más amigables con el medio ambiente. El objetivo es poder brindar al agricultor diferentes medidas de conservación que permitan el desarrollo de su actividad productiva afectando mínimamente los ecosistemas de páramo.

Esta reunión permitirá identificar los productores de la zona y exponerles un pliego de acciones en pro de la conservación que podrán ser implementadas en sus sistemas productivos. Mediante esta reunión se alimentarán las acciones y se aterrizarán al contexto local.

Se realizarán 16 talleres en los que se esperan que asistan 50 personas, para un total de 800 en toda la zona a intervenir. El taller será impartido por un ingeniero agrónomo, que cuente con unas fuertes bases en conservación y en manejo de sistemas productivos agropecuarios, estos se realizarán hasta el año 2032.

Análisis de la viabilidad socioeconómica de las acciones seleccionadas e identificación de oportunidades

De acuerdo a las acciones que se establezcan como prioritarias en los primeros talleres, se realizarán análisis de viabilidad socioeconómica por medio de la intervención de un especialista en sistemas productivos y con conocimientos en conservación de ecosistemas.

Priorización de medidas a implementar

Se realizarán visitas a los predios de los productores y en estas se expondrán las acciones más viables según la actividad que el productor desarrolle, con el fin de concertar finalmente las acciones que serán implementadas.

Capacitaciones sobre herramientas de conservación y su importancia

Realización de talleres focales por grupos de productores en los que se les enseñará como es el proceso de implementación de la medida por medio del acompañamiento de un Zootecnista, un



Ingeniero Agrícola y un Economista, estos profesionales deben tener amplios conocimientos en sistemas productivos y en acciones de conservación.

Financiación de medidas por predio y asesoría técnica

La implementación de la medida consiste en invertir un capital semilla por hectárea promedio de \$400.000 para la adopción de acciones de conservación y \$200.000 para asesorías técnicas, en pro del desarrollo de las acciones previamente priorizadas por los productores.

Evaluación de impactos socioeconómicos

Se realizarán visitas técnicas a los tres y cinco años de implementación de la medida, esta visita será realizada por un técnico de campo que levante información sobre lo que ha significado económicamente la adopción de la medida para los productores y como han ido cambiando las condiciones de la zona después de la implementación de la medida. Esta información será procesada y analizada por un economista experto que determinará los principales impactos que se han generado en cada uno de los sistemas productivos intervenidos.

Gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico.

Programas:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
Gestión integral del recurso hídrico.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Integrar a las comunidades locales en la delimitación y procesos ecológicos desarrollados en ecosistemas de páramo y zonas de transición, con el fin de frenar la expansión de la frontera agropecuaria y brindar alternativas de producción sostenible.

Descripción:

Los páramos han estado y están ocupados por comunidades humanas que hacen parte de las dinámicas propias de estos ecosistemas desde hace décadas. En este sentido, estas comunidades deben hacer parte integral de las acciones que se pretendan desarrollar en este territorio.

Existe El Convenio de Diversidad Biológica, este es un tratado internacional ratificado por el congreso a través de la ley 165 de 1994, en el que se reconoce la estrecha y tradicional dependencia de muchas comunidades locales y poblaciones indígenas con sistemas de vida tradicionales basados en los recursos biológicos y la conveniencia de compartir equitativamente los beneficios, además insta a los gobiernos nacionales, a que con arreglo a su legislación nacional, respeten, preserven y mantengan los conocimientos, las innovaciones y las prácticas de las comunidades indígenas y locales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica (CORTOLIMA, 2009).

Es importante establecer los bienes y servicios que las comunidades obtienen de dicho ecosistema con el fin de identificar áreas sensibles a la intervención antrópica (por ejemplo, nacimientos de agua). Así determinar herramientas de manejo del ecosistema en el cual las comunidades participen activamente y se logre un resultado conjunto entre los implementadores de la medida y dichas comunidades.

Acciones requeridas:

- Análisis histórico de la ocupación, tenencia y uso de la tierra en las zonas de páramo del Valle del Cauca.
- Estrategias de manejo del territorio ajustadas a las necesidades económicas de las comunidades locales y ecológicas ajustadas a las necesidades de protección y recuperación del ecosistema y los servicios ecosistémicos que estos prestan.

- Proceso de concertación sobre manejo del ecosistema de páramo con las comunidades locales.
- Evaluación de impactos socioeconómicos.

Lugar de aplicación:

Las Hermosas y Chili Barragán.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2028

Co-beneficios:

- Reducción de impacto ecológico.
- Mejoramiento calidad de hábitat para especies de flora y fauna.
- Calidad en servicios ecosistemas.
- Resolución de conflictos socioambientales.

Posibles fuentes de financiación:

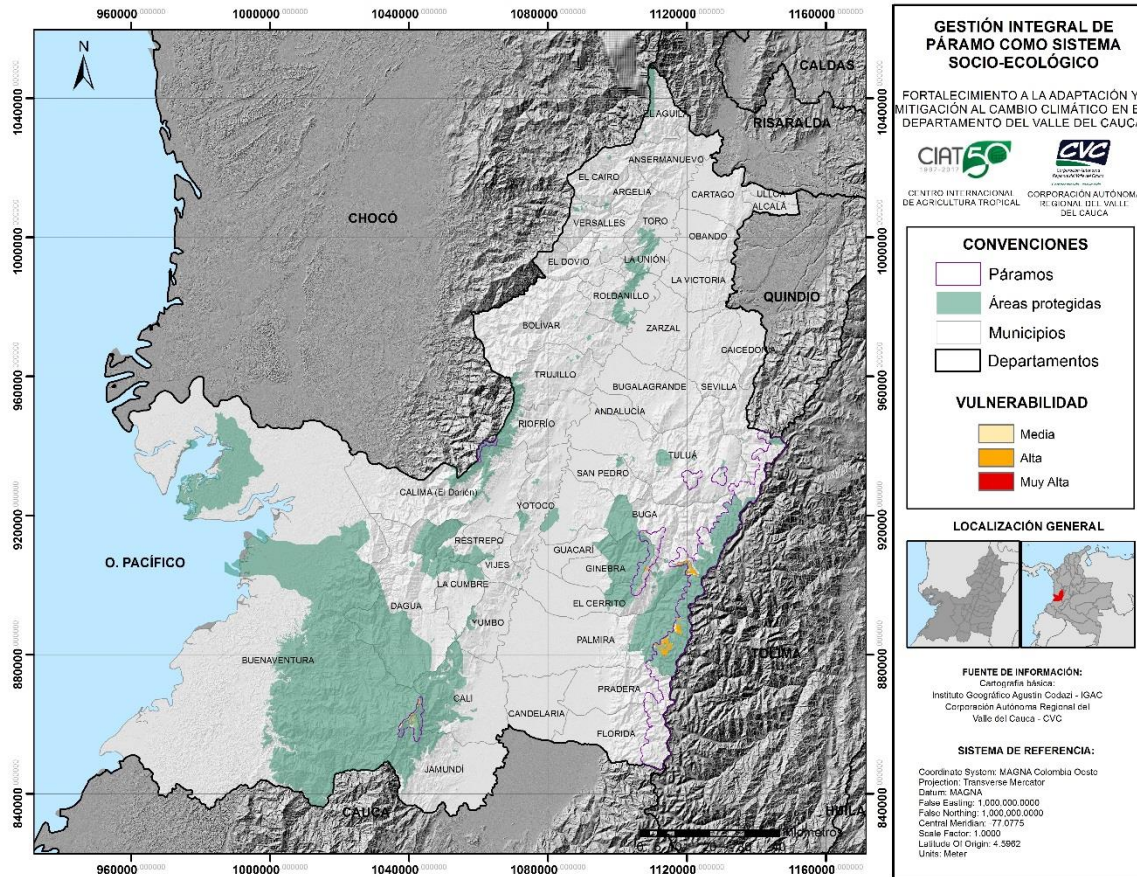
CVC, CODEPARH, MADS, WWF, BID, SINA, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo adaptación, Fondo Colombia en paz, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Climate investment funds, Adaptation fund, Fondo del Agua, International Climate Initiative, UNGRD, ECDBC, REDD+, Protocolo Verde.

Entidades responsables:

CVC, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, The Nature Conservancy, PNN, Cortolima, CRQ, CODECHOCO, IIAP, SINAP, ONG'S, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, CENICAÑA, ASOCAÑA, ASOAMAIME, ASONIMA, ASOBOLO, ASODES, ASOFRAYLE y Organizaciones campesinas.

Costo estimado:

\$1.689.812.880



Mapa 54. Gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

Para la selección de las zonas a intervenir se tuvieron en cuenta las veredas que hacen parte del ecosistema de páramo y que además presentaron grados de vulnerabilidad entre “medio”, “alto” y “muy alto”, en el análisis de vulnerabilidad de los ecosistemas de páramos, la implementación de la medida se realizará en las veredas de las partes altas de los municipios priorizados dependiendo del grado de vulnerabilidad que presentan (Tabla 28), en ese orden de ideas los municipios prioritarios serán: Buga, Tuluá y Palmira.

Tabla 28. Lugares de aplicación de la medida según el grado de vulnerabilidad.

Municipios	Grado y áreas vulnerables (ha)		
	Media	Alta	Muy Alta
Tuluá	19,44	423,09	802,53
Buga	73,89	1.647,45	987,57
Ginebra	0,00	1,89	0,54
El Cerrito	42,84	401,85	45,18
Palmira	719,55	1.320,12	1,44

Municipios	Grado y áreas vulnerables (ha)		
	Media	Alta	Muy Alta
Florida	17,46	14,13	0,00
Pradera	0,00	337,14	106,92
Sevilla	55,89	44,37	4,68
Subtotal	929,07	4.190,04	1.948,86
Total	7.067,97		

Fuente: Elaboración propia.

Se plantea que el desarrollo de la medida se efectúe mediante tres fases, de modo que se inicie con una versión piloto en uno de los municipios que estén dentro de la categoría de vulnerabilidad “muy alta”, de esta manera se puede estimar el alcance de la medida y la eficiencia de su aplicación en el primer acercamiento. La fase dos y tres serán réplicas de la primera una vez se hayan hecho los ajustes correspondientes a la metodología de implementación.

Tabla 29. Costos estimados para la medida (gestión integral del páramo como sistema socio-ecológico).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Costo total
Análisis histórico de la ocupación, tenencia y uso de la tierra en las zonas de páramo del Valle del Cauca	\$58.300.000		\$58.300.000
Estrategias de manejo del territorio ajustadas a las necesidades económicas de las comunidades locales y ecológicas ajustadas a las necesidades de protección y recuperación del ecosistema y los servicios ecosistémicos que estos prestan	\$18.000.000	\$30.000.000	\$48.000.000
Proceso de concertación sobre manejo del ecosistema de páramo con las comunidades locales	\$202.108.800	\$1.140.883.200	\$1.342.992.000
Evaluación de impactos socioeconómicos.		\$33.000.000	\$33.000.000
Seguimiento y Gerencia	\$19.488.616	\$84.271.824	\$103.760.440
Interventoría	\$19.488.616	\$84.271.824	\$103.760.440
Totales	\$317.386.032	\$1.372.426.848	\$1.689.812.880

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Esta medida quiere llegar a aquellos productores que están ubicados en ecosistemas de páramo con una figura de protección distinta a la de Parques Nacionales, se estiman que pueden ser cerca de 100 familias intervenidas.

Análisis histórico de la ocupación, tenencia y uso de la tierra en las zonas de páramo del Valle del Cauca.

Para este análisis se requiere un sociólogo con conocimientos en antropología y un ingeniero ambiental que cuente con un guía de la zona para realizar trabajo de campo durante tres meses, en los cuales se realizarán encuestas y reuniones permitan conocer

culturalmente la zona y como históricamente han cambiado las prácticas y los tenedores del territorio. Estos profesionales realizarán un análisis de la información levantada en campo y construirá informes que condensen la información más relevante que permita caracterizar los actores que han venido haciendo uso del suelo en el tiempo. Además de identificar las dinámicas sociales y ecológicas de las comunidades locales y de los servicios ecosistémicos que benefician a las comunidades.

Estrategias de manejo del territorio ajustadas a las necesidades económicas de las comunidades locales y ecológicas ajustadas a las necesidades.

Un Ingeniero agrónomo con experiencia en sistemas productivos sostenibles y en herramientas de conservación, será el encargado de crear estrategias productivas que respondan a las necesidades de los agricultores y que además promuevan prácticas conservacionistas para cada finca en el año 2019. Esta labor se repetirá para el año 2025, luego de realizar socializaciones en las que se pueda actualizar la información levantada durante el primer año.

Proceso de concertación sobre manejo del ecosistema de páramo con las comunidades locales.

Asumiendo que cada familia tenga en promedio 16 ha, se realizará una concertación progresiva con las familias durante el transcurso del plan, con el fin de subsidiar proyectos sostenibles que promuevan prácticas que favorezcan a la conservación del ecosistema de páramo. Una familia con un predio promedio de 16 ha, recibirá \$400.000 por hectárea para invertir en el sistema productivo y además recibirá asesoría técnica en la implementación por un valor de \$400.000 por finca. Esta labor será replicable en el tiempo una vez se determinen impactos socioeconómicos en la implementación de la medida.

Análisis de impacto socioeconómico

Para el año 2024 se realizará un primer análisis de impacto por parte de un economista, en el cual se podrá conocer las principales implicaciones que tuvo la implementación de este tipo de acciones en la comunidad, desde el punto de vista económico, social y cultural. Luego esta labor se replicará para el año 2028.

Restauración ecológica de ecosistemas de páramo.

Programas:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
Gestión Integral del recurso hídrico.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Restaurar áreas intervenidas por acciones antrópicas en ecosistemas de páramo en la delimitación de parques nacionales, que permitan recuperar servicios ecosistémicos.

Descripción:

La restauración ecológica se define como la aplicación de técnicas y estrategias tendientes al restablecimiento parcial o total de la estructura y función de los ecosistemas disturbados. En los páramos los regímenes de disturbios están relacionados a las continuas acciones antrópicas, que generan efectos negativos en la composición, estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Dichos disturbios, afectan el ecosistema dependiendo del tipo, de la magnitud y de la frecuencia del mismo, es decir, que dependen del tipo de intervención antrópica que se realice de acuerdo a los cambios en el uso del suelo y la aplicación de tecnologías. En este sentido, la restauración ecológica busca eliminar estos disturbios y recuperar en la medida de lo posible los valores, bienes y servicios que las comunidades locales han perdido por estas intervenciones.

Acciones requeridas:

1. Acuerdos Interinstitucionales para apoyar propuestas GEF para la implementación de medidas del PICC.
2. Identificación de actores y sus roles e instrumentos planificadores (vacíos y cuellos de botella).
3. Identificación de zonas a intervenir en ecosistemas de páramo, así como las relaciones ecológicas de flora, fauna y de especie de flora nativa apropiadas para la restauración, tipos de disturbio y estrategias de restauración.
4. Implementación de las medidas de restauración.

Lugar de aplicación:

Páramos y zona de transición de bosque Alto Andino con Páramos del páramo El Duende, los Farallones de Cali, Las Hermosas y Chili Barragán.

Tiempo de implementación:

- Fase Piloto 2019 – 2020
- Fase 1 2021 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040



Co-beneficios:

- Conectividad ecológica.
- Refugio climático y hábitat de fauna silvestre.
- Regulación hídrica.
- Conservación de suelos.

Posibles fuentes de financiación:

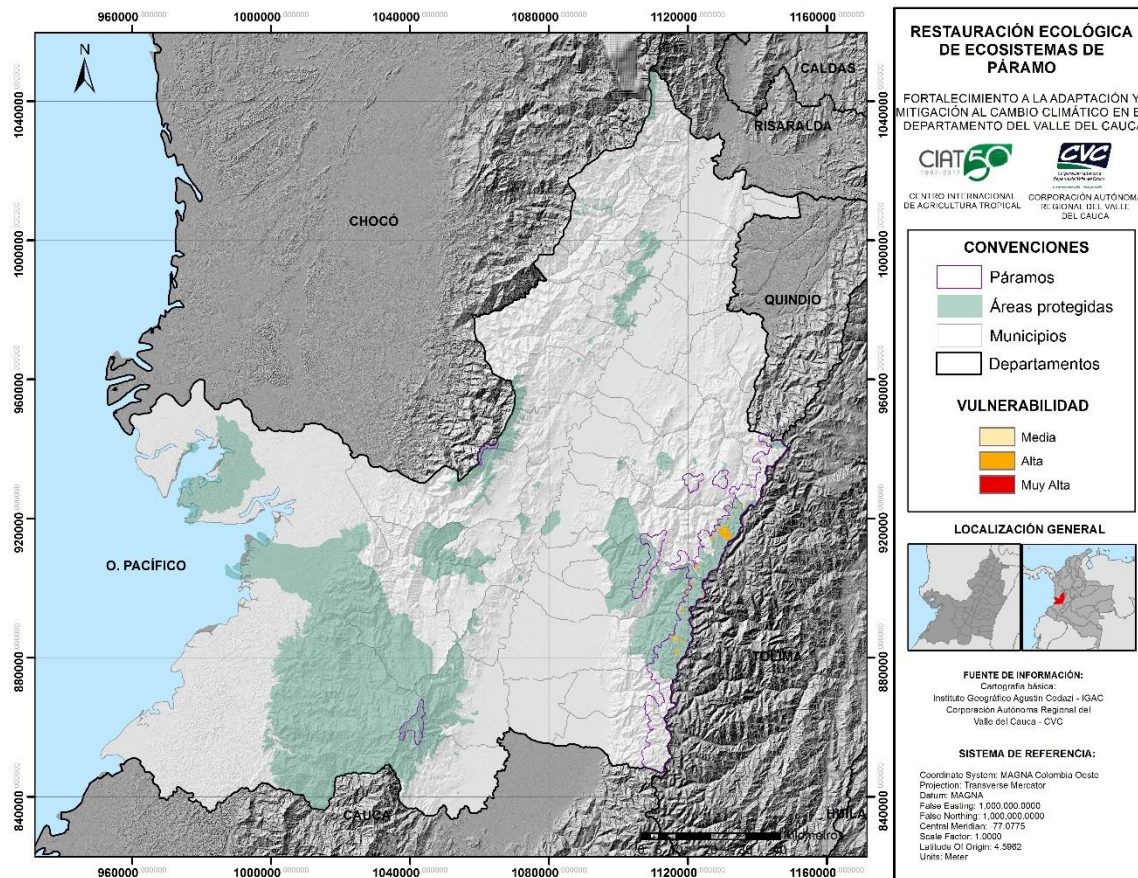
CVC, MADS, WWF, SINA, BID, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo adaptación, Fondo Colombia en paz, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Climate investment funds, Adaptation fund, Fondo del Agua, International Climate Initiative.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, The Nature Conservancy, PNN, Cortolima, CRQ, CODECHOCO, IIAP, SINAP, ONG'S, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, CENICAÑA, ASOCAÑA, ASOAMAIME, ASONIMA, ASOBOLO, ASODES, ASOFRAYLE y Organizaciones campesinas.

Costo estimado:

\$23.239.891.800



Mapa 55. Restauración ecológica de ecosistemas de páramo.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

En el Mapa 55 se presentan las zonas que son catalogadas como ecosistemas de páramo, algunas de las cuales cuentan con figuras de conservación, pero también evidencias una vulnerabilidad importante al cambio climático. Al igual que se presentan zonas que no tienen figuras de conservación y presentan una vulnerabilidad que oscila entre “media” y “muy alta” en la clasificación del análisis de vulnerabilidad de los ecosistemas de páramos. Es necesario realizar medidas de restauración en especial en estas últimas zonas mencionadas, debido a que es posible que al no estar clasificadas como áreas protegidas, la intervención antrópica sea mayor.

Tabla 30. Costos estimados de la medida (restauración ecológica de ecosistemas de páramo)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Acuerdos Interinstitucionales para apoyar propuestas GEF para la implementación de medidas del PICC.	\$44.029.000	\$102.087.000	\$68.058.000	\$214.174.000
Identificación de actores y sus roles e instrumentos planificadores (vacíos y cuellos de botella).	\$4.500.000			\$4.500.000
Identificación de zonas a intervenir en ecosistemas de páramo, así como las relaciones ecológicas de flora, fauna y de especie de flora nativa apropiadas para la restauración, tipos de disturbio y estrategias de restauración.	\$278.700.000			\$278.700.000
Implementación de las medidas de restauración.		\$9.944.248.000	\$9.944.248.000	\$19.888.496.000
Seguimiento y Gerencia.	\$22.906.030	\$703.243.450	\$700.861.420	\$1.427.010.900
Interventoría.	\$22.906.030	\$703.243.450	\$700.861.420	\$1.427.010.900
Totales	\$373.041.060	\$11.452.821.900	\$11.414.028.840	\$23.239.891.800

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

La implementación de esta medida se realizará en zonas de páramo que cuentan con algún tipo de vulnerabilidad en la delimitación de Parques Nacionales Naturales. El objetivo es que el ecosistema de páramo en las áreas protegidas como Parques Nacionales Naturales sea intervenido con técnicas de restauración por medio del trabajo mancomunado entre Parques Nacionales Naturales, las Corporaciones Autónomas Regionales, Gobernaciones y Alcaldías, bajo la ejecución de proyectos financiados por el Fondo GEF y con el consentimiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Acuerdos interinstitucionales para apoyar propuestas GEF para la implementación de medidas del PICC

Durante el primer año se realizarán reuniones entre los actores de la región y se llegarán a acuerdos interinstitucionales para fomentar la implementación de acciones de restauración financiados por el Fondo GEF, en estos acuerdos se establecerá un responsable que esté en la capacidad de organizar las instituciones, enfocar los recursos a las zonas priorizadas determinadas en el PICC, mantener una buena comunicación entre las instituciones y ayudar en la gestión en pro de facilitar el acceso a los recursos del fondo GEF.

Identificación de actores, sus roles e instrumentos de planificación (vacíos y cuellos de botella)

En esta etapa se tendrá en cuenta la contratación de un Politólogo con conocimientos en políticas públicas que realizará una revisión de actores y roles que más relevancia tienen

en el departamento, el consultor contará con un mes para hacer dicha caracterización y debe entregarse un informe detallado con información precisa para cada uno de los actores identificados, al igual que los principales vacíos de información y dificultades más importantes de la caracterización.

Identificación de zonas a intervenir, estrategias de restauración y estudio de la interacción de flora y fauna.

Se propone la intervención de universidades por medio de trabajos de grado y tesis enfocadas en la identificación y el estudio de este tipo de problemáticas que han sido identificadas previamente en la zona (quemadas, compactación, pérdidas de suelo, malas prácticas, etc) abarcando tres temas principales: caracterización y validación de zonas a intervenir según las modelaciones generadas en el PICC, estrategias de restauración e identificación de relaciones ecológicas entre flora y fauna.

En la primera etapa se propone la contratación de tres Biólogos profesionales que conformaran el equipo de apoyo en cabeza de un coordinador que será un especialista en restauración, estos a su vez deberán tener el acompañamiento de dos guías de la zona. Este comité será el encargado de hacer la validación en campo durante de las áreas priorizadas y generará informes mediante datos georreferenciados de las condiciones reales de la zona durante un plazo máximo de tres meses.

Se realizará una segunda etapa en la que una comisión conformada por: dos biólogos profesionales, un ingeniero forestal especialista en restauración y un guía de campo. Realizarán trabajo de campo con el fin de identificar y caracterizar interacciones entre flora y fauna en ecosistemas de páramo que ya han sido validados y en los que se propone algún tipo de intervención, el objetivo será identificar las zonas perturbadas y encontrar una zona aledaña que se establecerá como modelo de restauración.

En la tercera etapa se contará con un especialista en restauración (preferiblemente la misma persona que estuvo en cabeza de la primera etapa) y un biólogo con conocimientos en herramientas de restauración. Este equipo tendrá la labor de diseñar estrategias de restauración que respondan a las necesidades determinadas en la primera etapa.

Implementación de proyectos para restauración

En esta etapa se iniciará el proceso de implementación de estrategias de restauración por medio de convocatorias abiertas, a las que podrán aplicar implementadores como por ejemplo: WWF, TNC, PNUD, PNUMA, FAO, etc.

Creación de parcelas de monitoreo en los páramos.

Programa:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Monitorear el comportamiento de los páramos, con el fin de tomar decisiones durante la implementación del PICC y garantizar su conservación.

Descripción:

Establecer parcelas demostrativas en áreas de los páramos El Duende, los Farallones de Cali, Las Hermosas y Chili Barragán, como herramienta para el seguimiento en el mediano y largo plazo de las tendencias de los recursos naturales en los páramos y las dinámicas a nivel de ecosistema.

Los páramos son ecosistemas que se caracterizan por prestar múltiples bienes y servicios a la humanidad, además poseen características ecológicas intrínsecas propias que los hacen irremplazables y a su vez altamente vulnerables, lo que convierte estos ecosistemas en áreas propensas a ser protegidas y definidas como parte integral de la estructura ecológica principal de la alta montaña. Esto permite que sean articulados o incluidos dentro de los sistemas nacionales de áreas protegidas.

Las parcelas permanentes de monitoreo (PPM), son una herramienta para el manejo e investigación de las dinámicas de los bosques naturales. Los datos que se obtienen de la instalación de dichas parcelas, como crecimiento y producción, tiene implicaciones directas en el manejo forestal del ecosistema de páramo y de esta manera tomar decisiones oportunas cuyos resultados se podrán ver reflejados a mediano y largo plazo (Gómez, 2010).

Este tipo de herramientas facilita la investigación aplicada para la toma de decisiones en temas de conservación de los recursos naturales en los páramos, según las necesidades identificadas y la zonificación ambiental realizada.

Para el desarrollo de esta medida se recomienda la implementación de la metodología desarrollada por IDEAM (2011), en la Estimación de reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales. Donde proponen la construcción

de parcelas permanentes de 0.25 ha (50 x 50m) con brújula de precisión, cinta métrica y delimitadas por tubos de PVC.

Algunos de los elementos que deben tenerse en cuenta según Gómez (2010):

1. Tableros.
2. Cámara fotográfica.
3. GPS.
4. Baterías.
5. Brújulas.
6. Clinómetro.
7. Hipsómetro.
8. Cintas forestales color rojo, amarillo y azul.
9. Cinta métrica.
10. Cinta diamétrica (cm).
11. Clavos de aluminio.
12. Lamillas de aluminio.
13. Pintura en Spray.
14. Esquineros permanentes de la PPM (hierro, aluminio o tubo PVC).
15. Sueros Antiofidicos.
16. Botiquín de primeros auxilios.
17. Imagen satelital.
18. Hoja cartográfica del sitio.

Acciones requeridas:

- Validación de áreas a monitorear.
- Socialización de la medida con la comunidad.
- Capacitación de operarios para muestreo.
- Implementación de la medida.
- Análisis y reporte de datos.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Hábitat para especies de flora y fauna.
- Refugios climáticos.
- Conservación de la biodiversidad endémica.
- Provisión y regulación de servicios ecosistémicos.

Posibles fuentes de financiación:

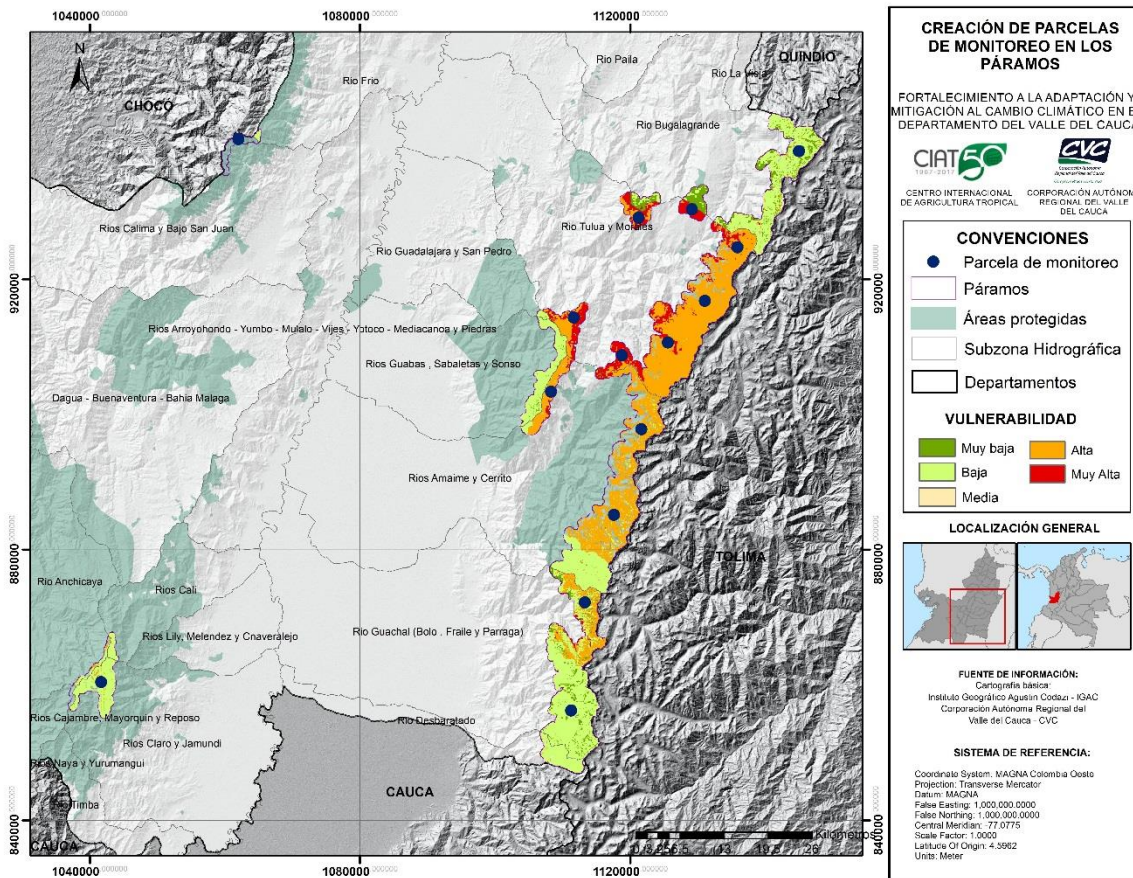
CVC, MADS, SINA, BID, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, International Climate Initiative, Protocolo Verde.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, The Nature Conservancy, Universidades, Centros de Investigación, PNN, CODECHOCO, IIAP, SINAP, Organizaciones campesinas, Alcaldías, Gobernaciones (Valle del Cauca, Cauca, Chocó, Tolima y Huila), Jardín Botánico.

Costo estimado:

\$2.412.012.000



Mapa 56. Creación de parcelas de monitoreo en los ecosistemas de páramo.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

Se recomienda la instalación de parcelas de monitoreo que estén de manera constante y por un tiempo prolongado en las zonas de páramo en el Valle del Cauca, en especial en aquellas áreas que se destacaron por presentar una alta vulnerabilidad al cambio climático, inicialmente y como factor prioritario se recomienda la ubicación de siete estaciones (Fase 1) en el páramo de Las Herosas, ya que es el páramo que ha denotado mayor vulnerabilidad, sin embargo se sugiere que en Farallones de Cali y El Duende, se cuenten con al menos una parcela (Fase 2) por medio de la cual se pueda monitorear el impacto de los ecosistemas ante eventos extremos que se pronostican para los próximos años. En cuanto al páramo de las Herosas y Chili Barragán se proponen en total trece parcelas de monitoreo (Fase 2), que según los resultados que presenten y las oportunidades de investigación que genere, de podrían ampliar.

Tabla 31. Costos estimados para la implementación de la medida (Creación de parcelas de monitoreo en los ecosistemas de páramo)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Validación de áreas a monitorear	\$46.800.000			\$46.800.000
Socialización de la medida con la comunidad	\$2.500.000			\$2.500.000
Capacitación de operarios para muestreo	\$7.500.000	\$4.000.000	\$5.000.000	\$16.500.000
implementación de la medida	\$169.500.000	\$783.000.000	\$897.500.000	\$1.850.000.000
Análisis y reporte de datos	\$10.000.000	\$90.000.000	\$100.000.000	\$200.000.000
Seguimiento y Gerencia	\$16.541.000	\$61.390.000	\$70.175.000	\$148.106.000
Interventoría	\$16.541.000	\$61.390.000	\$70.175.000	\$148.106.000
Totales	\$269.382.000	\$999.780.000	\$1.142.850.000	\$2.412.012.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Se crearán parcelas de monitoreo las cuales se esperan que estén implementadas para el año 2021.

Validación de las áreas a monitorear

Se realizarán recorridos en campo por las áreas que fueron planteadas en el PICC, con el fin de validar la información y definir los lugares más idóneos donde se pueden establecer las parcelas de monitoreo. Para esta labor se contará con dos biólogos profesionales que durante dos meses recorrerán las zonas con ayuda de guías en cada zona de interés.

Socialización de la medida

Visitas a productores o entidades con jurisdicción en las zonas donde se colocarán las trampas, se estima que de los anteriores, 5 predios pueden ser privados en los que será necesario concertar y llegar a acuerdos.

Capacitación de operarios para muestreos

Capacitación de delegados en las zonas para retirar información de las cámaras y asegurarse que las cámaras funcionen correctamente durante el periodo de toma de información.

Compra de materiales e instalación de parcela e Instalación y monitoreo

Inicialmente se comprarán 15 cámaras trampa, estaciones climáticas portables, cámaras fotográficas y equipos de camping, entre otros materiales que deben contemplarse en el trabajo de campo. Posteriormente se instalarán las parcelas de monitoreo con cámaras trampa, estaciones y delimitaciones.

Muestreos de insitu y de cámaras

Una persona de la zona que previamente ha sido capacitada, preferiblemente un campesino cuyos predios estén próximos a las parcelas, será el encargado de recolectar la información de las cámaras y las estaciones climatológicas, además de asegurarse que los equipos instalados funcionen correctamente una vez cada 15 días. A su vez un biólogo de profesión recolectará la información cada tres meses, realizará muestreo en campo y elaborará reportes con las imágenes que han sido tomadas, el análisis de los muestreos y los datos climáticos procesados.

Análisis y reporte de datos

Un biólogo especializado será el encargado de realizar informes anuales a partir del análisis de los informes trimestrales presentados por el biólogo que procesa la información de campo. Dichos reportes se realizarán por un periodo de 20 años y cada 5 años se analizarán los cambios que se han venido presentando desde el momento de instalación de las parcelas.

Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad.

Programa:

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Recolectar información que permita registrar cambios en la biodiversidad de los páramos, a partir de un monitoreo periódico de especies asociadas a estos ecosistemas, además de monitorear el impacto de las medidas que tienen como objetivo generar cambios positivos sobre los ecosistemas de páramo

Descripción:

Las proyecciones climáticas que se prevén para los próximos años indican un incremento de la temperatura la cual implica enormes riesgos para los sistemas naturales, puesto que muchas especies son altamente sensibles a cambios de temperatura y se ven afectadas directamente debido a su baja capacidad adaptativa, esto puede acarrear consecuencias tan fatales como la extinción de muchas especies. De ahí la importancia de comparar en el tiempo y el espacio las variaciones que se pueden presentar en las principales especies asociadas al ecosistema de páramo, y de esta manera identificar las especies que se pueden ver mayormente afectadas.

Esta medida debe incluir monitoreo de la vegetación en el gradiente altitudinal, mediante diferentes parcelas de observación, medición y análisis del crecimiento de los árboles representativos de cada tipo de vegetación con el uso de dendrómetros electrónicos, observación periódica de aves que preferiblemente tengan datos históricos de hace 40 años y monitoreo de poblaciones de anfibios, al igual que debe considerarse el monitoreo del clima con estaciones meteorológicas en diferentes altitudes (GIZ, 2011).

Acciones requeridas:

- Validación de áreas a monitorear.
- Conformación de comisiones y salidas de campo.
- Análisis y reporte de datos.

Lugar de aplicación:

Páramos del páramo del Duende, los Farallones de Cali, las Hermosas y Chili Barragán.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2019 - 2024

Co-beneficios:

- Monitoreo de la veracidad de los mecanismos de conservación y restauración establecidos.
- Mejor vigilancia y control de posibles deforestaciones.
- Generación de temas de investigación que pueden ser apoyados por universidades ONG u organismos internacionales.
- Generación de información científica del estado actual de los páramos y el comportamiento de sus dinámicas ecosistémicas en el tiempo.

Posibles fuentes de financiación:

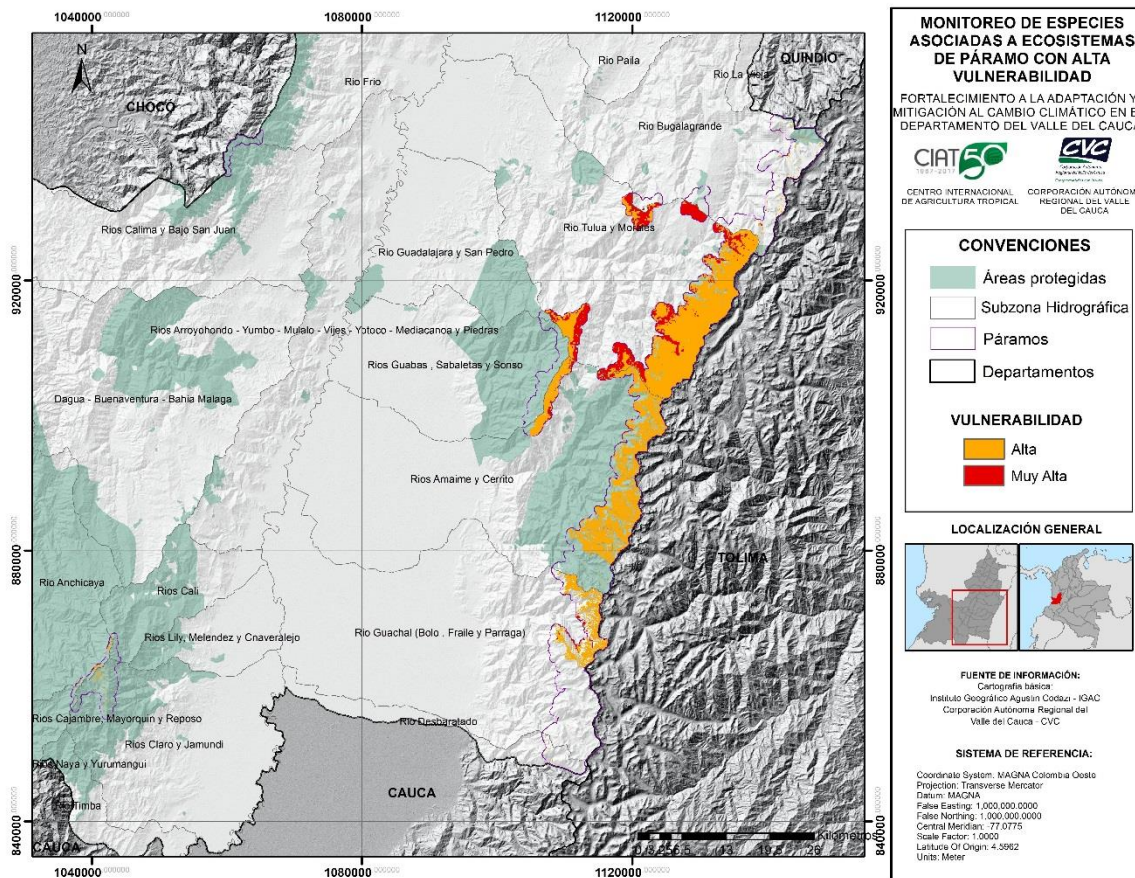
CVC, MADS, WWF, SINA, BID, Fondo Compensación ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Climate investment funds.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, ONGs, Parques Nacionales, Universidades, organismos internacionales, CORTOLIMA, CODECHOCO, CRC, MADS, Jardín Botánico.

Costo estimado:

\$5.136.156.000



Mapa 57. Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

La implementación de la medida tendrá especial interés en los páramos de la cordillera central en el departamento del Valle del Cauca a razón de la alta vulnerabilidad que al cambio climático, sin embargo es una medida que debe realizarse de manera paralela en los demás páramos (Farallones de Cali y El Duende), para que se tenga un análisis completo del estado actual de las especies que en el presente estudio mostraron impactos significativos al escenario de cambio climático proyectado, este monitoreo de especies permitirá refinar los futuros estudios que se realicen sobre impactos del cambio climático en las especies asociadas a los ecosistemas de páramo, por medio del levantamiento de información confiable.

Tabla 32. Costos estimados para la implementación de la medida (Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Identificación de zonas de interés	\$50.600.000			\$50.600.000
Conformación de comisiones y salidas de campo		\$2.062.800.000	\$2.292.000.000	\$4.354.800.000
Análisis y reporte de datos		\$50.000.000	\$50.000.000	\$100.000.000
Seguimiento y gerencia	\$3.542.000	\$147.896.000	\$163.940.000	\$315.378.000
Interventoría	\$3.542.000	\$147.896.000	\$163.940.000	\$315.378.000
Totales	\$57.684.000	\$2.408.592.000	\$2.669.880.000	\$5.136.156.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Validación de zonas de interés

Se realizará una validación de las cinco zonas que han sido identificadas como altamente vulnerables en el PICC, esto se realizará por medio de visitas de campo con dos biólogos especialistas quienes al final presentarán un informe detallado de la zona, identificando los sitios idóneos para realizar los transectos y ubicar estaciones temporales en cada una de las labores de monitoreo.

Conformación de comisiones y salidas de campo para la realización de muestreos directos e indirectos.

Con base en las zonas identificadas en la actividad anterior, durante un mes un grupo de profesionales conformado por dos biólogos y un guía de la zona, realizarán recorridos en los transectos identificados, en estos se tomarán muestras físicas, registros fotográficos y se diligenciará una bitácora de campo. Posteriormente los biólogos tendrán aproximadamente dos meses para entregar informes de campo detallados que posteriormente serán analizados por un especialista quien será el encargado de realizar informes del estado de las especies de páramos para todo el departamento.

Observatorio regional de cambio climático.

Programas:

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Gestión y protección de ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
- Salud pública y planificación territorial.
- Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

- Crear un espacio de conocimiento conformado por las universidades de la región, centros de investigación y comunidad científica en general, donde se contribuya al análisis, evaluación y adaptación frente al cambio climático y su interacción con la sociedad, el medio ambiente y la economía, con base en los procesos climáticos que sucedan en el departamento y los resultados de la implementación paulatina de las medidas de adaptación.
- Obtener y generar información pertinente que permita identificar impactos detallados en los ecosistemas (naturales e intervenidos) más vulnerables, que sean producto del cambio climático y de esta manera poder tomar medidas enfocadas a la resiliencia.
- Apoyar a las instituciones financiadoras, interventoras y de monitoreo de las medidas de adaptación, al igual que a las entidades implementadoras de las mismas, en la generación de ideas para mejorar los procesos y hacer ajuste, de ser necesario, en la implementación del plan.

Descripción:

Los servicios ecosistémicos que proveen los ecosistemas en el departamento del Valle del Cauca, son fundamentales para el desarrollo de todas las actividades realizadas en el departamento, por esta razón, garantizar su funcionalidad debe ser de gran importancia e interés de todos los habitantes de este territorio.

Por esta razón esta medida consiste en generar espacios de comunicación entre diversos actores de la comunidad, en donde se discutan temas de interés para el departamento dentro de un contexto permanente de cambio climático.

La conformación del observatorio, deberá realizarse para analizar todo el departamento en conjunto, sin embargo podrá enfocar y priorizar sus temas y ecosistemas de interés de acuerdo con la importancia de cada uno de estos.

En este sentido, se propone iniciar el observatorio con análisis sobre los páramos, ya que estos son de gran importancia para la diversidad ecológica y la conservación de especies endémicas en el Valle del Cauca y en el país, por tal razón se considera que este es un espacio propicio para el estudio del funcionamiento de sistemas y procesos naturales en un contexto de cambio climático.

Para este ecosistema específico, se plantea que la conformación del observatorio considere aspectos clave como lo son:

- Seguimiento de especies, ecosistemas estratégicos y servicios ecosistémicos (este punto se articula con la medida “*Creación de parcelas de monitoreo en páramos*” y “*Monitoreo de especies asociadas a ecosistemas de páramo con alta vulnerabilidad*”).
- Gestión de la información, que transforme los datos generados en información útil y disponible para el fortalecimiento de investigaciones.
- Gestión con los actores involucrados que permita poner en marcha las acciones que se implementen y propiciar ambientes para la capacitación y retroalimentación de las medidas.
- Capacitación de calidad para los tomadores de decisiones y personal a cargo de la gestión del territorio.
- Difusión que permita trasladar a la sociedad información importante acerca de la gestión en estos ecosistemas estratégicos así como las metodologías empleadas, de tal manera que se dejen espacios abiertos para el intercambio de experiencias y comparaciones para la aplicabilidad de las prácticas en otros lugares del mundo.

Acciones requeridas:

- Realizar acuerdos interinstitucionales donde cada una de las partes se compromete a apoyar el observatorio en cabeza de la Gobernación del Valle del Cauca y CVC.
- Realizar jornadas de trabajo del observatorio trimestrales, con el fin de compartir información y hacer intercambio de conocimientos.
- Generar una página web donde los diversos actores del observatorio puedan subir información de interés para la comunidad del departamento.
- Financiación ocasional de gastos relacionados con las reuniones.

Lugar de aplicación:

Esta medida se implementará para impactar todo el departamento, sin embargo se establecerá en Cali.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2019 – 2020
- Fase 2 2021 – 2040

Co-beneficios:

- Fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales
- Aumento en la captación de recursos para la implementación de medidas

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, EMCALI, Ingenios, Gobernación el Valle, Ministerio de Agricultura, Universidades, Centros de investigación.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$703.494.000

Tabla 33. Costos de implementación de la medida (Observatorio regional de cambio climático)

Descripción	Fase 1	Fase 2	Costo total
Realizar acuerdos interinstitucionales en cabeza de la Gobernación del Valle del Cauca y la CVC.	\$15.000.000		\$15.000.000
Realizar jornadas de trabajo del observatorio trimestrales, con el fin de compartir información y hacer intercambio de conocimientos.	\$13.000.000	\$260.000.000	\$273.000.000
Generar una página web donde los diversos actores del observatorio puedan subir información de interés para la comunidad del departamento.	\$13.000.000	\$260.000.000	\$273.000.000
Financiación ocasional de gastos relacionados con las reuniones	\$2.671.429	\$53.428.571	\$56.100.000
Seguimiento y gerencia	\$3.057.000	\$40.140.000	\$43.197.000
Interventoría	\$3.057.000	\$40.140.000	\$43.197.000
Totales	\$49.785.429	\$653.708.571	\$703.494.000

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Realizar acuerdos interinstitucionales donde cada una de las partes se compromete a apoyar el observatorio. Esto se debe hacer en cabeza de una institución como la gobernación o la CVC.

Se requiere un coordinador el cual será cubierto con el 15% del salario mientras se conforma el observatorio, una vez que este se conforme, el coordinador puede variar según la institución y se le reconocerá el 10% del salario. La organización y coordinación para

estos espacios se debe realizar por las diversas instituciones que conformen el observatorio de forma que se alternen.

Realizar jornadas de trabajo del observatorio trimestrales, con el fin de compartir información y hacer intercambio de conocimientos. La organización y coordinación para estos espacios se debe realizar por las diversas instituciones que conformen el observatorio de forma que se roten.

Los costos de transporte y tiempo de dedicación al observatorio serán asumidos por las instituciones que los asistentes representan.

Generar una página web donde los diversos actores del observatorio puedan subir información de interés para la comunidad del departamento.

Se creará una página web en la que se podrá subir datos de interés sobre las distintas acciones enmarcadas en la implementación del PICC, de esta manera será posible realizar una difusión efectiva de la información, además de servir como repositorio para la información levantada a través de la implementación de las medidas de adaptación. Por otra parte será posible difundir información científica acerca de las investigaciones que se desarrollen por parte de los centros de investigación y universidades que aporten en gran manera a las acciones de adaptación que se describen en este documento.

Fortalecimiento de estrategias de PSA y otros incentivos.

Programa:

Gestión integral del recurso hídrico y gestión y protección de ecosistemas estratégicos y la biodiversidad

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

- Fomentar una economía forestal basada en los bienes y servicios que prestan los bosques para un desarrollo rural sostenible, a través de estrategias de pagos por servicios ambientales (PSA).
- Identificar los cuellos de botella y reconocer la importancia de estos mecanismos en su complementariedad con medidas de adaptación y mitigación que velan por la conservación y la restauración.
- Fomentar la adopción de PSA y negocios verdes en las comunidades rurales del departamento mediante talleres e incentivos.

Descripción:

Los pagos por servicios ambientales (PSA) son parte de un paradigma de conservación nuevo y más directo, que reconoce explícitamente la necesidad de crear puentes entre los intereses de los propietarios de la tierra y los usuarios de los mismos. Diferentes autores han demostrado las grandes ventajas de los PSA sobre los enfoques de conservación tradicionales (Wunder, 2006).

Aunque es una labor que se ha venido desarrollando en los últimos años, aun se presentan vacíos e incertidumbres entre los compradores de los servicios y los prestadores de dichos servicios. Los PSA se adaptan mucho mejor a escenarios con amenazas intermedias en los cuales es más factible establecer mecanismos de conservación que pueden ser viables económicamente para los propietarios de los predios, sin embargo este tipo de PSA no cubre a todo tipo de propietario puesto que estos mecanismos están diseñados para grandes extensiones de tierras, por tal razón es necesario identificar mecanismos apropiados para este tipo de terrenos, los cuales representan una porción importantes en el Valle.

Según Wunder (2006) los PSA están enfocados principalmente a cuatro tipos de servicios ambientales:

1. Secuestro y almacenamiento de carbono, por ejemplo, una empresa eléctrica del hemisferio norte paga a campesinos del trópico por plantar y mantener árboles.
2. Protección de la biodiversidad, por ejemplo, donantes que pagan a los pobladores locales por proteger y restaurar áreas para crear corredores biológicos.
3. Protección de cuencas hidrográficas, por ejemplo, usuarios aguas abajo pagan a los propietarios de las fincas en la parte alta por la conservación de sus predios limitando la deforestación, la erosión del suelo, riesgos de inundación, etc.
4. Belleza escénica, por ejemplo, empresas del sector turístico pagan a la comunidad local por preservar la flora y fauna de los bosques que son usados para el turismo y la observación de la vida silvestre.

Dado que en el departamento ya existen esquemas de PSA, es importante contar con más recursos para este fin y de esta forma ampliar su cobertura tanto territorial, como en número de beneficiarios.

Acciones requeridas:

- Identificación y priorización de municipios para fortalecer el acceso a PSA.
- Campañas educativas y divulgativas con comunidades rurales con respecto a los beneficios de acogerse a los PSA.
- Brindar a propietarios pequeños interesados en acceder a PSA asesorías en mecanismos de asociatividad con vecinos que permitan entrar a los programas PSA con áreas a conservar de mayor tamaño.

Lugar de aplicación:

Ecosistemas priorizados para conservación y amenazados por el cambio climático

Tiempo de implementación:

- Fase 1: 2019 – 2020
- Fase 2: 2021 – 2040

Co-beneficios:

- Creación de corredores biológicos.
- Fomento de plantaciones forestales.
- Fomento de prácticas agroforestales y sistemas silvopastoriles.
- Generación de nuevas oportunidades de negocio para las comunidades rurales.
- Fomento del turismo ecológico.
- Promoción de buenas prácticas agrícolas.
- Oportunidades de capacitación en gestión y manejo ambiental para las comunidades rurales.
- Contribución al cierre de la frontera agropecuaria.
- Generación de fuentes sustentables de leña para comunidades rurales.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, WWF, SINA, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo Adaptación, Fondo Colombia en Paz, Green

Climate Fund, BID, Development Bank of Latin America, Climate Investment Funds, Adaptation Fund, Fondo del agua, International Climate Initiative, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Fondo de Desarrollo Nacional, Ministerio de Agricultura, UNGRD, CMGRD, CDGRD.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, IDEAM, Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) por medio de la Comisión Intersectorial para el Control de la Deforestación y Gestión integral para la protección de Bosques Naturales (CICOD), Ministerio de Agricultura, Alta Consejería para el Posconflicto, Alcaldías y Gobernación.

Costo estimado:

\$970.596.000

Tabla 34. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de estrategias de PSA y otros incentivos).

Descripción	Fase 1	Fase 2	Costo total
Identificación y priorización de municipios para fortalecer el acceso a PSA.	\$11.400.000		\$11.400.000
Campañas educativas y divulgativas con comunidades rurales con respecto a los beneficios de acogerse a los PSA. Esto deberá hacerse en 12 municipios del departamento por año.	\$23.000.000	\$460.000.000	\$483.000.000
Brindar a propietarios pequeños interesados en acceder a PSA asesorías en mecanismos de asociatividad con vecinos que permitan entrar a los programas PSA con áreas a conservar de mayor tamaño.	\$17.000.000	\$340.000.000	\$357.000.000
Seguimiento y gerencia	\$3.598.000	\$56.000.000	\$59.598.000
Interventoría	\$3.598.000	\$56.000.000	\$59.598.000
Totales	\$58596000	\$912.000.000	\$970.596.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Identificación y priorización de municipios para fortalecer el acceso a PSA

Esta tarea se realizará por medio de una consultoría en la que se contratará un profesional con conocimientos ambientales y medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. La información de este trabajo servirá como insumo para desarrollar las siguientes dos actividades.

Campañas educativas y divulgativas con comunidades rurales con respecto a los beneficios de acogerse a los PSA

Se capacitarán 24 productores al año en zonas con potencial para la implementación de esquemas de PSA.



Brindar a propietarios pequeños interesados en acceder a PSA asesorías en mecanismos de asociatividad con vecinos que permitan entrar a los programas PSA con áreas a conservar de mayor tamaño.

En esta actividad se proponen hacer asesorías a grupos de productores interesados en asociarse para poder obtener beneficios PSA al sumar áreas de bosques importantes.

Restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua.

Programa:

Gestión integral del recurso hídrico

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Asegurar la regulación hídrica en pro de evitar el desabastecimiento del recurso hídrico o la reducción del caudal ecológico en temporadas secas, mediante la restauración ecológica, recuperación y rehabilitación de áreas disturbadas que interfieren en la prestación de servicios ecosistémicos en las cuencas del Valle del Cauca.

Descripción:

Aunque el Valle del Cauca cuenta con una política orientada a la protección y conservación de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas del territorio vallecaucano, las actividades económicas a lo largo de los cauces de los principales ríos del departamento hacen que estos se vean afectados en su capacidad de regulación hídrica. Por lo tanto, la conformación e implementación de un proyecto que contemple las fases de restauración y conservación de zonas ubicadas en ecosistemas estratégicos en las cuencas de mayor demanda de agua para consumo agrícola, industrial y doméstico, son necesarios para mejorar las características de dichas fuentes hídricas.

Acciones requeridas:

- Diagnóstico y validación de áreas a intervenir.
- Socialización con la comunidad.
- Acuerdos de implementación en fincas.
- Implementación de la medida.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 - 2021
- Fase 1 2022 - 2030
- Fase 2 2031 - 2037

Co-beneficios:

- Disminución de la producción de sedimentos.
- Conservación de suelo.
- Hábitat para especies de flora y fauna nativas.
- Conservación de ecosistemas estratégicos.
- Aumento en la capacidad de retención de agua en el suelo.

- Apropiación del territorio por parte de la comunidad mediante su inmersión en los procesos de restauración.

Posibles fuentes de financiación:

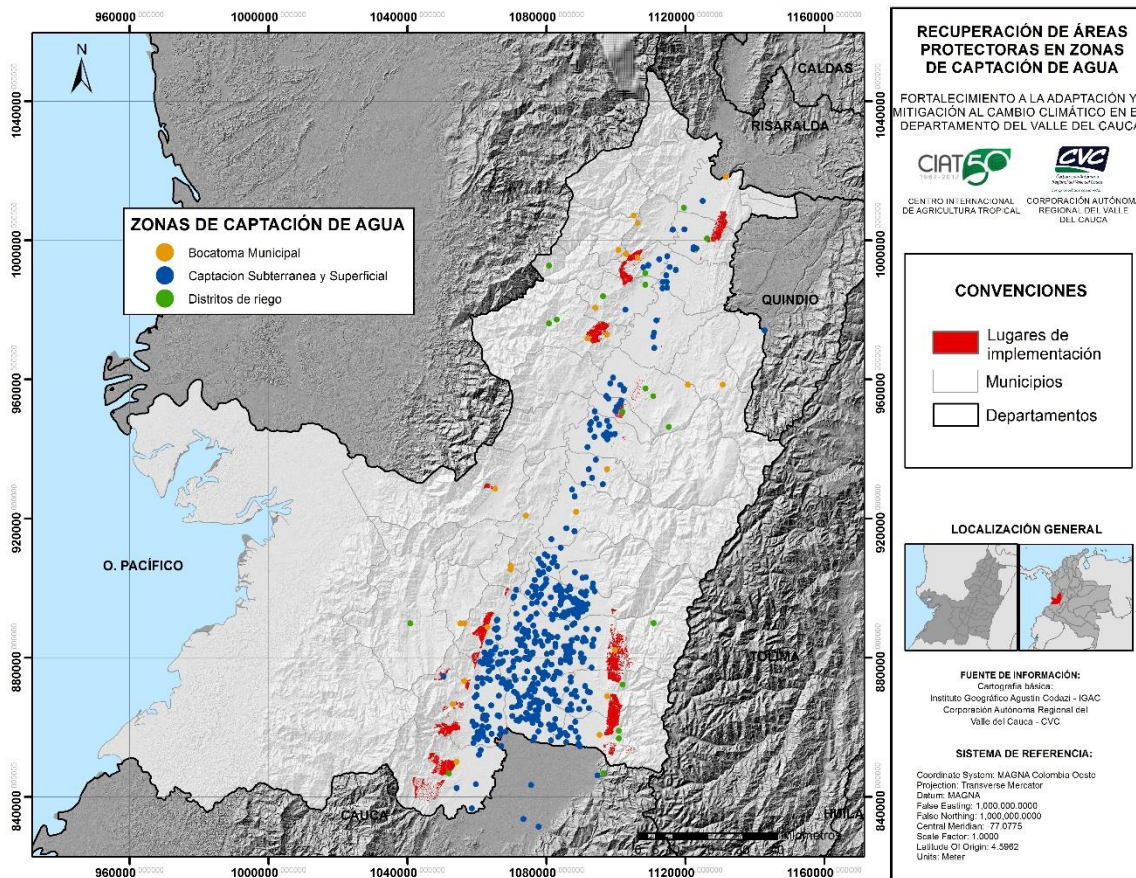
CVC, MADS, EMCALI, Ingenios, Gobernación el Valle, FONAM, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Inestment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD, Corpoica.

Entidades responsables:

CVC, CODEPARH, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$136.654.479.000



Mapa 58. Restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua.

Fuente: *Elaboración propia.*

Criterios de priorización:

El Mapa 58 muestra las áreas en las que se propone realizar labores de restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua, la áreas están concentradas en las partes medias y altas de las principales cuencas abastecedoras de agua superficial y subterránea que cuentan con algún grado de vulnerabilidad al cambio climático que varía entre alto y muy alto, según el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico que realizó CIAT y CVC para el plan integral de cambio climático.

Entre las subzonas hidrográficas que presentaron una mayor demanda del recurso, se encuentra la cuenca del río Calima y Bajo San Juan, ríos Pescador, Rut, Chanco, Catarina y Cañaveral, ríos Las Cañas, Los Micos y Obando, río Paila, río Bugalagrande, río Tuluá y Morales, ríos Amaime y Cerrito, río Guachal (Bolo, Fraile y Parraga), ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo, ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijes, Yotoco, Media Canoa y Piedras.

La restauración comprende el restablecimiento de un ecosistema degradado a una condición anterior en la que no se había presentado disturbios respecto a la composición, estructura y funcionamiento del mismo. El ecosistema restaurado debe ser un sistema autosostenible, garantizar la conservación de sus especies y la mayoría de sus bienes y servicios (MADS, 2015).

El cambio climático se reconoce como uno de los principales impulsores de transformación para los ecosistemas naturales, sin embargo, el impacto global es de gran magnitud, puesto que actúa como acelerador de otros impulsores generando sinergias que atentan contra la estabilidad de todos los sistemas.

La estrategia de restauración articula el conocimiento científico para crear procesos de gestión y manejo de los ecosistemas, ante las necesidades de restablecer ecosistemas degradados y prevenir daños futuros. Los objetivos que se han establecido a nivel mundial en pro de contrarrestar los efectos del cambio climático han convertido la restauración en un eje central de los planes de manejo ambiental, forestal y compensación (MADS, 2015).

Existen diferentes estrategias de conservación, sin embargo todas deben coincidir en ser sencillas de aplicar, prácticas, económicas, efectivas desde el punto de vista biológico y socioeconómico y sus efectos deben poderse verificar en el tiempo mediante indicadores que permitan conocer la eficiencia, el impacto y la eficacia de la estrategia, entre las más comunes citadas en el Plan Nacional de Restauración por MADS (2015) están:

- Encerramiento del bosque.
- Enriquecimiento y suplementación del bosque.
- Conectividad a través de cercas vivas.

- El rescate como estrategia de conservación de especies amenazadas y especies claves.
- Establecimiento de barreras.
- Establecimiento de franja protectora de cuerpos de agua.
- Redistribución de plántulas.
- Restauración pasiva en páramos.
- Siembra de *Lupinus bogotensis* como facilitadora del crecimiento y supervivencia de *Espeletia grandiflora* y macollas de pajonal.
- Restablecimiento del régimen hidrológico en humedales.

La CVC ha venido trabajando en diferentes iniciativas por la restauración, rehabilitación y recuperación de zonas de especial interés por la importancia que representa en la prestación de servicios ecosistémicos, por lo cual esta medida puede integrarse al plan de trabajo del grupo de recursos hídricos y forestal de la corporación con el objetivo de apoyar y fortalecer estas actividades, prestando especial interés a las zonas que se representan en la Tabla 35.

En la Tabla 35 y Tabla 36 se presentan las áreas en hectáreas que se proponen restaurar por subzonas hidrográficas y municipios respectivamente, la cantidad de hectáreas es representada por el nivel de vulnerabilidad (Media, Alta y Muy Alta), sin embargo esta medida está enfocada en el área con vulnerabilidad muy alta que representa 55.410 hectáreas, esta área debe ser diagnosticada para replantear la cantidad precisa de hectáreas a intervenir que se estima que puede corresponder al 25%, es decir 13.850 ha intervenidas. La fase piloto contempla 2.770 ha, la primera fase 5.540 ha y la segunda 5.540 ha. Es importante mencionar que algunas de las áreas seleccionadas pueden corresponder a las mismas incluidas en la medida “Restauración ecológica de ecosistemas de páramo”, por lo que de implementarse esta medida en dichas zonas, se estaría aportando al cumplimiento de las metas de dos de las medidas planteadas en este trabajo.

Tabla 35. Subzonas hidrográficas para implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua).

SUBZONA HIDROGRÁFICA	Área Ha
Rio Bugalagrande	228,69
Rio Guachal (Bolo , Fraile y Párraga)	6.181,83
Rio Paila	5,22
Rio Tuluá y Morales	609,93
Rios Amaime y Cerrito	2.191,68
Rios Arroyohondo - Yumbo - Mulalo - Vijes - Yotoco - Mediacanoa y Piedras	2.281,05
Rios Cali	713,16
Rios Calima y Bajo San Juan	227,07
Rios Claro y Jamundí	5.055,30
Rios Las Canas - Los Micos y Obando	2.033,82
Rios Lily, Meléndez y Cnaveralejo	372,06
Rios Pescador - RUT - Chanco - Catarina y Cañaveral	4.195,89
Total	24.095,70

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 36. Municipios de implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua)

MUNICIPIOS	Área Ha	MUNICIPIOS	Área Ha
Andalucía	575,73	La Unión	2.032,47
Bolívar	2.128,78	Obando	1.257,84
Bugalagrande	192,33	Palmira	3.399,28
Cali	2.585,79	Pradera	2.855,43
Cartago	763,92	Roldanillo	18,54
Dagua	4,68	Toro	14,40
Darién	227,57	Tuluá	70,47
El Cerrito	117,65	Vijes	1,44
El Dovio	2,79	Yumbo	2.333,47
Florida	2.001,96	Zarzal	17,28
Jamundí	3.493,88		
Total		24.095,70 Ha	

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 37. Costos de implementación de la medida (restauración de áreas protectoras en zonas de captación de agua)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Diagnóstico y validación de áreas a intervenir	\$124.900.000			\$124.900.000
Socialización con la comunidad	\$28.650.000	\$104.400.000	\$46.400.000	\$179.450.000
Acuerdos de implementación en fincas	\$530.000.000	\$13.250.000.000	\$11.660.000.000	\$25.440.000.000
Implementación de la medida	\$2.049.500.000	\$48.078.500.000	\$44.000.000.000	\$94.128.000.000
Seguimiento y gerencia	\$191.313.500	\$4.300.303.000	\$3.899.448.000	\$8.391.064.500
Interventoría	\$191.313.500	\$4.300.303.000	\$3.899.448.000	\$8.391.064.500
Totales	\$2.608.150.000	\$61.432.900.000	\$55.706.400.000	\$136.654.479.000

Desarrollo de actividades

En esta medida se busca la intervención de 24.096 hectáreas, sin embargo esta cantidad puede variar de acuerdo al diagnóstico y validación en campo, pero se asumirá que la intervención ocupará el 100% del área mencionada. Para la implementación de esta medida se requiere el desarrollo de las siguientes actividades:

Diagnóstico y validación de las zonas donde se incluya: Estado de la vegetación, especies nativas, ecosistemas, fuentes hídricas y procesos erosivos

Durante la etapa de diagnóstico, un equipo de seis profesionales en agricultura, forestal, ambiental y topografía, liderados por un especialista en restauración forestal se realizarán recorridos por las zonas intervenir y con ayuda del uso de drones se definirán las necesidades de intervención según el estado de la vegetación. Este proceso durará

alrededor de 3 meses, de los cuales los primeros 20 días se destinarán solo para labores de campo y el tiempo restante en la elaboración de informes y presentación de diagnóstico.

Socialización con la comunidad

Se realizarán reuniones con la comunidad en la medida que se vayan implementando las acciones, cada reunión debe hacerse para una cantidad aproximada de 50 productores que ocupen en promedio 20 hectáreas por familia, el número de reuniones variará tanto como la implementación lo exija, conservando las mismas proporciones antes descritas. Dichas reuniones se desarrollarán con actores de diferentes sectores como agricultores, ganaderos, alcaldías, fundaciones, instituciones y personas interesadas, donde un profesional con conocimientos en conservación expondrá las condiciones de la zona y presentarán las intervenciones que se proponen y los lugares idóneos para la restauración.

Acuerdos de implementación en fincas

Una vez socializada la medida e identificados los productores que son propietarios de los predios aptos a intervenir, se realizarán visitas individuales en las que se llegarán a acuerdos de implementación en las áreas de restauración que sean compatibles con los sistemas productivos instalados y las necesidades específicas del sector. Mediante el aporte de \$500.000 por hectárea para intervención en la finca, donde se incluyen gastos de papeleo y estudio inicial y adicionalmente se aportarán \$600.000 por finca en asesoría técnica.

Implementación de la medida

Para la implementación de la medida se realizarán labores de adaptación en los terrenos seleccionados, actividades de erradicación de especies invasoras y selección y adaptación de terrenos para material vegetal. Se sembrarán alrededor de 150 árboles por hectárea y se realizará mantenimiento a las áreas intervenidas por un periodo de tres años. Dependiendo de las zonas a intervenir, el material vegetal podrá ser comprado en viveros de la zona o en el vivero de la medida “Estrategia de conectividad y restauración ecológica entre bosque alto andino y páramo”.

Fortalecimiento de los lineamientos para el uso del agua en cuencas altamente vulnerables al cambio climático.

Programa:

Gestión integral del recurso hídrico.

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

- Brindar herramientas que permitan fortalecer los criterios bajo los cuales la corporación otorga permisos para el uso del agua superficial y subterránea en el Valle del Cauca. Mediante modelaciones hidrológicas con escenarios de cambio climático, en modelos que han sido calibrados previamente con las condiciones del departamento.
- Incorporar la variable de cambio climático en los instrumentos de planificación territorial del departamento, tanto a nivel municipal como a nivel de cuenca.

Descripción:

Los estudios realizados en temas de cambio climático tanto a nivel local como a nivel mundial muestran una tendencia a la disminución de la capacidad de las cuencas hidrográficas para mantener sus caudales ecológicos e impactos sobre la biodiversidad. Además, cada día van a ser más frecuentes los eventos extremos que ponen en peligro la vida de las comunidades que habitan cerca de las riveras de los ríos. Por lo tanto, es necesario que la gestión del recurso hídrico y de la biodiversidad sea adaptada a los resultados que generan los diferentes estudios de cambio climático y se rediseñen metodologías para el otorgamiento de concesiones sobre las fuentes hídricas en pro de la conservación de estos recursos prioritarios en los medios de vida de las comunidades rurales. Es por eso que la corporación autónoma debe contemplar el uso de modelos hidrológicos calibrados, en los que se puedan recrear las diferentes variables que son afectadas por los diversos usos que se le dan al recurso hídrico a nivel de cuenca.

Acciones requeridas:

- Estudio de espacialización de acuíferos.
- Capacitación para uso de modelos hidrológicos para el equipo de CVC.
- Articulación de las políticas territoriales y resultados de las modelaciones.

Lugar de aplicación:

Instrumentos de planificación del territorio del departamento del Valle del Cauca, tales como POT, POMCAS.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2020
- Fase2 2024, 2028, 2030.
- Fase3 2032, 2036, 2040.

Co-beneficios:

- Aumento en la disponibilidad de agua en épocas de sequía
- Reservas de agua para otros usos como agricultura y consumo humano
- Protección de especies nativas o en peligro.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, EMCALI, Ingenios, Gobernación el Valle, FONAM, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD, Corpoica.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$558.600.000

Criterios de priorización:

En el catálogo de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático del ministerio de medio ambiente y la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ASOCARS) en conjunto con el UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) se propone la incorporación de la variable de cambio climático en los planes estratégicos de macrocuenca (PEM) y planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), la ASOCARS desde el año 2016 ha venido desarrollando talleres en los que se socializan las propuestas de los lineamientos y hoja de ruta para la incorporación de cambio climático en POMCA, además se ha encargado de difundir experiencias entre las Corporaciones Autónomas Regionales en la articulación de la gestión del recurso hídrico y de la gestión del cambio climático.

Se prevé que la demanda incrementa en cuanto más cálido sea el clima, generando un incremento en la competencia entre la agricultura, el sector urbano y las industrias, esto hace que se requieran nuevas estrategias y tecnologías que ayuden a usar de manera

eficiente los recursos hídricos (UNFCCC, 2015). La medida está enfocada en reducir la vulnerabilidad al cambio climático de las principales cuencas abastecedoras de la región, mediante la revisión y reestructuración de los lineamientos que componen los POMCAS, de tal manera que el componente de cambio climático sea tenido en cuenta.

Aprovechando los análisis que se han hecho en la construcción del Plan Integral de Cambio Climático (PICC), se espera que mediante argumentos científicos basados en cambio climático y estado real de las fuentes se pueda condicionar el uso de los recursos hídricos en la región y priorizar los tipos de uso.

Tabla 38. Costos estimados para la implementación de la medida (fortalecimiento de los lineamientos para el uso del agua en cuencas altamente vulnerables)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Estudio de espacialización de acuíferos	\$150.000.000	\$150.000.000		\$300.000.000
Capacitación para uso de modelos hidrológicos para el equipo de CVC	\$25.000.000	\$50.000.000	\$75.000.000	\$150.000.000
Articulación de las políticas territoriales y resultados de las modelaciones		\$16.000.000	\$24.000.000	\$40.000.000
Seguimiento y gerencia	\$12.250.000	\$15.120.000	\$6.930.000	\$34.300.000
Interventoría	\$12.250.000	\$15.120.000	\$6.930.000	\$34.300.000
Totales	\$199.500.000	\$246.240.000	\$112.860.000	\$558.600.000

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Con esta medida se busca incluir información con la que el departamento aún no cuenta en temas hidrológicos y adicionalmente incluir la variable de cambio climático en los criterios utilizados actualmente para las concesiones de agua. Para lograr este objetivo, es necesario realizar las siguientes actividades:

Estudio de caracterización de acuíferos

Se propone la contratación de una consultoría en la que se alimente el modelo Modflow con información de los acuíferos del Valle del Cauca, este modelo alimentado servirá como insumo para complementar el modelo SWAT que ya ha sido calibrado para el departamento. Dicho estudio se realizará en el primer año de implementación y posteriormente en el año 2030.

Capacitación en modelos hidrológicos para personal de CVC

Se capacitarán dos funcionarios de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca cada cuatro años en el uso de herramientas hidrológicas que integren las dinámicas de las aguas subterráneas y que sirvan como insumo para la toma de decisión y condicionales para el uso de aguas subterráneas y superficiales.



Articulación de las políticas territoriales con los resultados de las modelaciones hidrológicas

Los resultados que se generen a partir la información anterior serán utilizados para complementar las políticas territoriales en escenarios de cambio climático. En esta actividad se contratará un experto en política y planificación territorial que esté en la capacidad de dar recomendaciones para alimentar los POMCAS, Planes Territoriales y otros instrumentos de planificación.

Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera.

Programa:

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.

Objetivo:

Promover la recuperación ecológica de suelos degradados por erosión hídrica en ladera, con el fin de evitar el arrastre de sedimentos hacia fuentes hídricas.

Descripción:

El suelo de ladera es más susceptible a la erosión y degradaciones por factores climáticos (por ejemplo, la acción de las lluvias fuertes o períodos prolongados de sequía seguidos de fuertes lluvias), pendientes pronunciadas y escasas o ninguna cobertura vegetal, este material es arrastrado a los ríos aumentando los sedimentos y disminuyendo la calidad del agua. Por lo tanto, proyectos encaminados a recuperar estas zonas, son fundamentales para garantizar agua de calidad para las comunidades.

Acciones requeridas:

- Diagnosticar el estado de los suelos a restaurar.
- Capacitar a los agricultores sobre las prácticas adecuadas de restauración según las características del suelo, mantenimiento de barbecho y labranza mínima.
- Evaluar cuál es el mejor método a utilizar para restaurar los suelos (medios físicos, biológicos, de fertilización orgánica, rotación y diversificación de cultivos, etc.).
- Incorporación de abonos verdes y cercas vivas.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Reducción de la pérdida de nutrientes en el suelo.
- Recuperación de flora y fauna nativa.
- Cambios en el paisaje.
- Reducción de riesgos asociados a eventos climáticos extremos

Posibles fuentes de financiación:

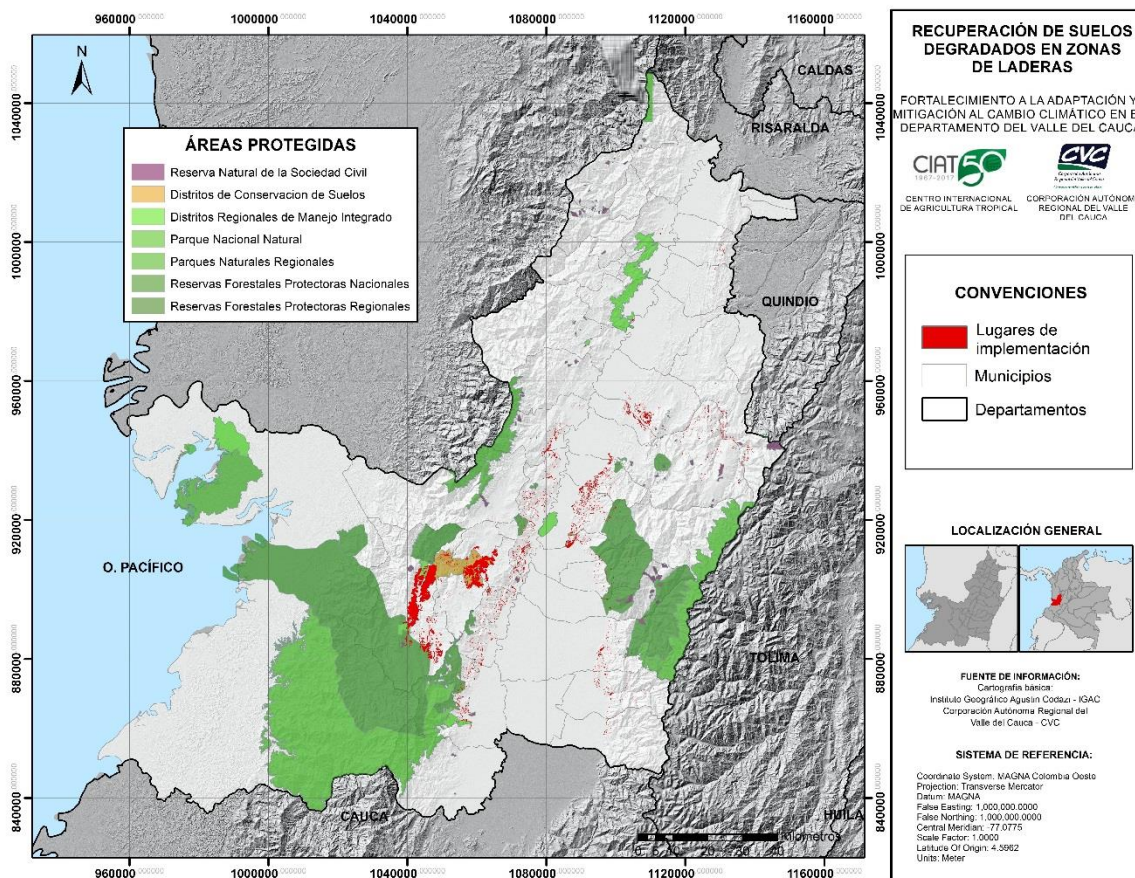
CVC, MADS, WWF, SINA, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo compensación ambiental, Fondo Adaptación, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, BID, Development Bank of Latin America, Climate Investment Funds, Adaptation Fund, Fondo del agua, International Climate Initiative, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Fondo de Desarrollo Nacional, Ministerio de Agricultura, UNGRD, CMGRD, CDGRD.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$14.192.954.400



Mapa 59. Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera.

Criterios de priorización:

En el Mapa 59 se representan las áreas de implementación que se proponen para la medida, en relación con el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico, algunas cuencas presentarán incrementos en el aporte hídrico al cauce principal como resultado del aumento de la precipitación, estos cambios representarán impactos negativos para aquellas zonas con alto índice de erosión, dados que se pueden presentar emergencias como avalanchas, deslizamientos e inundaciones.

Ante este tipo de eventos los agricultores usualmente se llevan la peor parte, puesto que en muchas ocasiones esto representa pérdidas de cultivos e infraestructura agrícola, además de las pérdidas del suelo y sus nutrientes.

Se recomienda la ejecución de actividades en zonas agrícolas que mejoren las condiciones de los suelos en aproximadamente 22.000 ha en el Valle del Cauca, priorizando en aquellas zonas que representan áreas importantes como lo son los municipios de Dagua, La Cumbre, Buga, Restrepo, Yotoco y Vijes. En la Tabla 39 y Tabla 40 se muestran la cantidad de área en hectáreas por subzona hidrográfica y municipio respectivamente donde es pertinente la aplicación de este tipo de medidas.

Tabla 39. Subzonas hidrográficas para implementación de la medida (recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)

Lugar de implementación	
Subzona hidrográfica	Área (ha)
Dagua – Buenaventura – Bahía Málaga	12.338,19
Río Bugalagrande	2.050,56
Río Frio	18,54
Río Guachal (Bolo , Fraile y Parraga)	743,94
Río Guadalajara y San Pedro	1.879,38
Río La Vieja	9,99
Río Paila	0,45
Río Tuluá y Morales	145,98
Ríos Amaime y Cerrito	129,96
Ríos Arroyohondo – Yumbo – Mulaló – Vijes – Yotoco – Mediacanoa y Piedras	2.876,04
Ríos Cali	382,05
Ríos Calima y Bajo San Juan	3,15
Ríos Claro y Jamundí	63,00
Ríos Guabas , Sabaletas y Sonso	808,02
Ríos Las Canas – Los Micos y Obando	96,12
Ríos Lily, Meléndez y Cañaveralejo	356,76
Ríos Pescador – RUT – Chanco – Catarina y Cañaveralejo	77,94

Totales	21.980,07
----------------	------------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Municipios para implementación de la medida (recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)

Lugar de implementación			
Municipios	Área (ha)	Municipios	Área (ha)
Ansermanuevo	1,89	Calima el Darién	1,80
Cartago	0,45	Restrepo	1.316,34
Obando	81,45	Yotoco	1.530,54
Toro	24,57	Vijes	1.129,59
La unión	1,62	Guacarí	203,85
Roldanillo	28,53	Ginebra	188,55
La victoria	22,95	El cerrito	22,77
Bugalagrande	700,65	Palmira	405,00
Andalucía	355,95	Florida	98,19
Bolívar	20,52	Yumbo	908,55
Trujillo	1,17	Cali	734,58
Riofrío	378,00	Dagua	7.975,44
Tuluá	629,82	La cumbre	2.062,53
San pedro	764,10	Pradera	359,10
Buga	1.579,68	Sevilla	451,89
Totales			21.980,07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Costos estimados para la implementación de la medida (Recuperación de suelos degradados en zonas de ladera)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Diagnosticar el estado de los suelos a restaurar	\$535.700.000			\$535.700.000
Capacitar a los agricultores sobre las prácticas adecuadas de restauración según las características del suelo (1 reunión por municipio) Mantenimiento de barbecho, labranza mínima	\$10.423.000	\$93.807.000	\$104.230.000	\$208.460.000
Evaluar cuál es el mejor método a utilizar para restaurar los suelos (medios físicos, biológicos, de fertilización orgánica, rotación y diversificación de cultivos, etc.)	\$145.000.000			\$145.000.000
Incorporación de abonos verdes y cercas vivas	\$190.000.000	\$6.636.800.000	\$4.734.000.000	\$11.560.800.000
Seguimiento y Gerencia	\$61.678.610	\$471.142.490	\$338.676.100	\$871.497.200
Interventoría	\$61.678.610	\$471.142.490	\$338.676.100	\$871.497.200
Totales	\$942.801.610	\$7.201.749.490	\$5.176.906.100	\$14.192.954.400

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Esta medida está enfocada en recuperar los suelos del departamento, los cuales han sido degradados durante años por la acción antrópica sobre las zonas de ladera. Con la implementación de esta medida se reducirá la pérdida de suelos por sedimentos y mejorará la calidad del agua en las fuentes hídricas aguas abajo de las zonas intervenidas. Las actividades para el desarrollo de esta medida son:

Diagnosticar el estado de los suelos a restaurar

Un ingeniero agrónomo experto junto con un guía de campo será el encargado de realizar muestras de suelo, a la vez que realiza un diagnóstico del estado inicial de los suelos y las medidas que se proponen para la recuperación y conservación de suelos degradados. Esta labor se realizará en un periodo de dos años incluyendo informes con condensación de resultados y posibles recomendaciones según el tipo de erosión y la actividad económica que se desarrolle.

Capacitar a los agricultores sobre las prácticas adecuadas de restauración según las características del suelo

Se dictarán 80 talleres en diferentes partes del departamento, con 25 asistentes cada uno, dos veces al año, que iniciarán en el año 2020 y finalizarán en el año 2040. Estas capacitaciones incluirán la promoción de prácticas adecuadas de restauración según características propias de los suelos y uso de la tierra.

Evaluación del mejor método a utilizar para restaurar los suelos

Estudio durante un año en el que un profesional en restauración de suelos presentará un portafolio de prácticas adecuadas según el estudio previo, que considerará aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales, además deberá incluir una priorización de actividades desagregadas por sector productivo de las zonas intervenidas.

Incorporación de abonos verdes y cercas vivas

Durante el primer año de implementación en la fase piloto se intervendrán 380 ha que presentan erosión muy severa, en la fase 1 que inicia en el año 2022 y finaliza en el año 2030 se intervendrán 900 ha anuales con un grado de erosión muy severa y severa, en la fase 2 que arranca en el año 2031 y termina en el año 2039 se intervendrán 1500 ha anuales con un grado de erosión moderada. Cada predio será intervenido durante dos años por medio de la incorporación de abonos verdes y cercas vivas, según sea el caso de implementación.

Mejoramiento de la red de medición hidrométrica de cuencas.

Programa:

Gestión integral del recurso hídrico.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Ampliar la cobertura espacial de la red de observación hidrométrica por cuencas hidrográficas, incorporando nuevas tecnologías de automatización, información y comunicaciones en su estructura y mejorando la calidad de las observaciones realizadas.

Descripción:

En general, los distintos escenarios globales planteados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) señalan que en el mediano y largo plazo habrá una tendencia a la disminución de precipitaciones pluviales y un aumento de la temperatura ambiente (IPCC, 2013). Paralelamente existe un crecimiento en la demanda del recurso hídrico para satisfacer las distintas actividades humanas incluyendo agua para consumo, riego e industria, entre otras. Estos factores hacen evidente la necesidad de obtener un monitoreo adecuado de la disponibilidad hídrica, haciendo necesario el fortalecimiento de la infraestructura de la red hidrométrica, debido a la limitación actual de cobertura de monitoreo en tiempo real en amplias zonas del departamento. Teniendo en cuenta que la generación y transmisión de la información hidrométrica se convierte en un insumo básico para el sistema de alertas, el conocimiento del uso del recurso para la comunidad y los tomadores de decisiones, se requiere de una modernización y ampliación de la cobertura actual de las estaciones de las entidades regionales encargadas con el propósito de mejorar la resolución de los modelos de pronóstico y la oportunidad de recepción de la información en zonas que actualmente no cuentan con suficiente cobertura de monitoreo.

Acciones requeridas:

- Caracterización de las zonas de estudio.
- Inspección de las estaciones que conforman la red hidrométrica.
- Restablecer las estaciones actualmente suspendidas.
- Establecimiento de nuevas estaciones de monitoreo y planes de monitoreo.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Regulación hídrica
- Mejoramiento en la generación de alertas tempranas
- Prevención de inundaciones
- Disminución de las pérdidas en el sector agrícola por eventos extremos

Posibles fuentes de financiación:

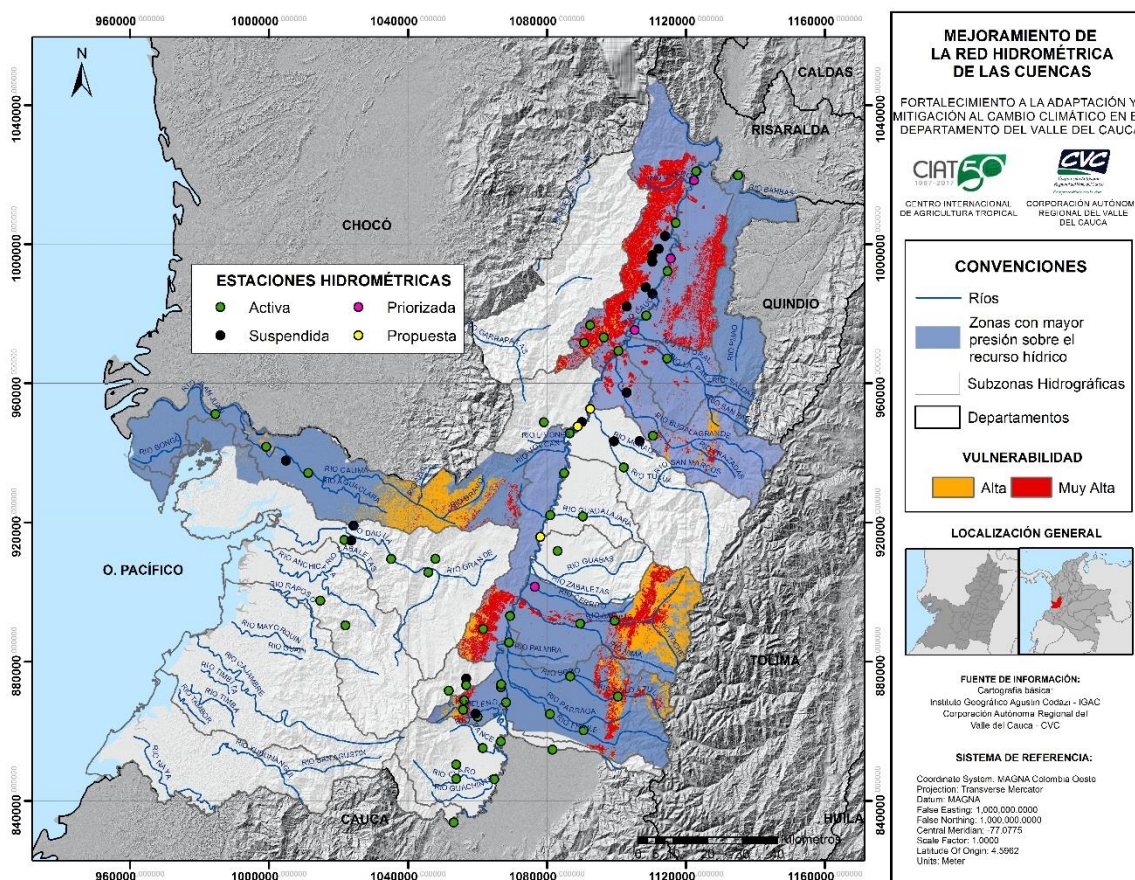
CVC, MADS, SINA, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Adaptación, Green Climate Fund, Development Bank of Latin América, Protocolo Verde, Fondo de Desarrollo Nacional, Ministerio de Agricultura.

Entidades responsables:

CVC, IDEAM, Usuarios de aguas subterráneas y superficiales, gremio de agricultores, Ministerio de agricultura, Universidades, Alcaldías, Gobernación, Ministerio de Agricultura.

Costo estimado:

\$903.222.000



Mapa 60. Mejoramiento de la red hidrométrica de las cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

Para la priorización de zonas estratégicas para la implementación de las nuevas estaciones hidrométricas se tuvieron en cuenta las zonas de mayor impacto con base a la demanda del recurso y el análisis de vulnerabilidad. Para esto, se cruzó el mapa de vulnerabilidad teniendo en cuenta aquellas áreas que hayan presentado una vulnerabilidad alta y muy alta con el mapa de demanda hídrica total del Estudio Nacional del Agua 2014, donde se seleccionaron las subzonas hidrográficas con mayor grado de presión sobre el recurso hídrico por parte de los diferentes sectores, es decir, aquellas zonas que presentaron una demanda mayor a 100 m³/año, esto con el fin de priorizar aquellas zonas que actualmente no cuentan con una cobertura de estaciones hidrométricas, lo cual impide llevar a cabo un control del recurso que permita determinar cómo y en qué medida se está utilizando el agua por los diferentes sectores, la variación en su uso y las tendencias; lo cual permitiría proporcionar información importante para la toma de decisiones en materia de gestión adecuada y sostenible del recurso hídrico a nivel de subzonas hidrográficas.

De acuerdo con lo anterior, se propone implementar cinco estaciones como prioritarias, tres estaciones más como refuerzo para red hidrométrica del departamento y el restablecimiento del funcionamiento de una estación. Es importante resaltar que estas estaciones se proponen teniendo en cuenta las estaciones activas y suspendidas del IDEAM y CVC. En el Mapa 60 se representa de manera espacializada la implementación de la medida para las zonas de mayor impacto para el departamento.

Las estaciones requieren una instalación prioritaria son:

- En la subzona hidrográfica de los ríos Amaime y Cerrito se propone ubicar la estación antes de desembocadura del río Cerrito.
- En la subzona hidrográfica de los ríos Cañas, Los Micos y Obando: se propone ubicar la estación antes de la desembocadura de las quebradas que la componen (ríos Cañas, Los Micos y Obando).

También se propone ubicar estaciones que servirán de refuerzo para ampliar la cobertura de monitoreo de cuencas hidrográficas en la subzona hidrográfica del río Frío antes de la desembocadura del río que lleva el mismo nombre, en la subzona hidrográfica de los ríos Tuluá y Morales en la desembocadura del río Morales y en la subzona hidrográfica de los ríos Guabas, Sabaletas y Sonso en la desembocadura del río Sonso.

Por último se propone restablecer la estación Puerto Carretera ubicada en el municipio de Tuluá con el fin de aumentar la cobertura de las estaciones en la subzona hidrográfica de los ríos Guabas, Sabaletas y Sonso, y tener un monitoreo continuo de la demanda en el área metropolitana del municipio y por ende la de la subzona.

Tabla 42. Costos estimados para implementación de la medida (mejoramiento de la red hidrométrica de las cuencas)

Descripción	Fase 1	Costo total
Caracterización de las zonas de estudio	\$4.500.000	\$4.500.000
Inspección de las estaciones que conforman la red hidrométrica	\$47.800.000	\$47.800.000
Restablecer las estaciones actualmente suspendidas	\$222.000.000	\$222.000.000
Establecimiento de nuevas estaciones de monitoreo y planes de monitoreo.	\$518.000.000	\$518.000.000
Seguimiento y Gerencia	\$55.461.000	\$55.461.000
Interventoría	\$55.461.000	\$55.461.000
Totales	\$903.222.000	\$903.222.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Con esta medida se busca mejorar la información hídrica del departamento con el fin de mejorar a futuro los pronósticos, calibraciones y validaciones de modelos que permitan afrontar el cambio climático. Para el desarrollo de esta medida se requieren las siguientes actividades:

Caracterización de la zona de estudio

Un profesional en hidrología realizará un trabajo de consultoría durante un mes en el que presentará un informe detallado sobre la caracterización del departamento en cuanto a instrumentación de medición de caudales, donde se tendrán en cuenta aspectos como: estado actual de las estaciones, tipo de registros, años de registros y recomendaciones de operación.

Inspección de las estaciones que conforman la red hidrométrica

Una comisión encabezada por un hidrólogo especializado, un ingeniero agrícola con conocimiento en hidrometría y un guía de campo, se encargarán de recorrer el departamento visitando cada estación hidrométrica y dando recomendaciones respecto a estaciones que deben ser restablecidas y estaciones que deben ser instaladas. Esta labor se realizará durante tres meses, dos de los cuales serán destinados a la elaboración detallada de informes.

Restablecimiento de estaciones suspendidas

Como restablecimiento prioritario se recomienda la estación Puerto Carretera que se ubica en el municipio de Tuluá, sin embargo la fase de inspección puede proponer más estaciones a restablecer, por tal razón se costeará la restauración de tres estaciones.



Establecimiento de nuevas estaciones de monitoreo y planes de monitoreo

Se propone la incorporación de siete estaciones nuevas en todo el departamento en las zonas priorizadas, sin embargo este valor puede variar una vez se realice la inspección detallada en campo.

Fortalecimiento de los nodos regionales (Pacífico Sur y Eje cafetero)

Programa:

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.
- Salud pública y planificación territorial.
- Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Establecer un comité multidisciplinario compuesto por funcionarios de diferentes instituciones del departamento que realicen seguimiento a la implementación en el departamento y articule las acciones del plan departamental con las actividades del Nodo Regional Pacífico Sur y el Nodo Regional Eje Cafetero.

Descripción:

En vista que los nodos regionales fueron creados para aunar esfuerzos y trabajar articuladamente en el desarrollo de acciones que preparen a las regiones a los efectos del cambio climático, es importante que las acciones que se realicen en el departamento vayan de la mano con las diferentes acciones que vienen desarrollando los nodos regionales a los cuales pertenece el Valle del Cauca, es por eso que debe existir un comité integrado por diferentes entidades responsables de vigilar el cumplimiento de las acciones, gestionar recursos y orientar fondos nacionales hacia la ejecución de actividades comúnmente prioritarias.

Acciones requeridas:

- Análisis de la información de los planes integrales de CC de los territorios que conforman los nodos e identificación de iniciativas comunes.
- Formulación de proyectos donde se busquen recursos para cumplir las metas de los planes.
- Realizar capacitaciones periódicas en temas de CC a funcionarios de las instituciones que componen los nodos.

Tiempo de implementación:

- Fase1 2019 - 2021
- Fase2 2022 - 2030
- Fase3 2031 - 2040

Co-beneficios:

- Espacios propicios para intercambiar ideas y lecciones aprendidas.

- Desarrollo de medidas compartidas.
- Consecución de recursos económicos que ayuden a impulsar medidas en común en los departamentos que pertenecen al mismo nodo.
- Generación de campañas educativas más fortalecidas.
- Fortalecimiento de las capacidades institucionales de las corporaciones.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, Ingenios, Gobernación el Valle, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$1.259.130.000

Tabla 43. Costos estimados de la medida (fortalecimiento de los nodos regionales)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Análisis de la información de los planes integrales de CC de los territorios que componen los nodos e identificación de iniciativas comunes		\$34.500.000		\$34.500.000
Formulación de proyectos donde se busquen recursos para cumplir las metas de los planes		\$450.000.000	\$500.000.000	\$950.000.000
Realizar capacitaciones periódicas en temas de CC a funcionarios de las instituciones que componen los nodos	\$24.000.000	\$48.000.000	\$48.000.000	\$120.000.000
Seguimiento y gerencia	\$1.680.000	\$37.275.000	\$38.360.000	\$77.315.000
Interventoría	\$1.680.000	\$37.275.000	\$38.360.000	\$77.315.000
Totales	\$27.360.000	\$607.050.000	\$624.720.000	\$1.259.130.000

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

El objetivo de esta medida es el fortalecimiento de los nodos de cambio climático a los cuales pertenece el departamento, entendiendo a los nodos como grupos interinstitucionales que trabajan para promover acciones de adaptación y mitigación al cambio climático. Para lograr este objetivo se realizarán las siguientes actividades:

Análisis de la información de los planes integrales de cambio climático de los territorios que componen los nodos e identificación de iniciativas comunes

Esta medida iniciará en el momento en el que los diferentes actores de los nodos regionales tengan planes de cambio climático formulados. Una institución involucrada, se encargará de revisar los planes y encontrar acciones en común que se podrán ejecutar de manera conjunta, de este modo se podrán gestionar recursos, y orientar fondos nacionales al beneficio de los nodos, aportando de esta manera a cada uno de los planes formulados en los diferentes departamentos.

Formulación de proyectos donde se gestionen recursos para cumplir las metas de los planes

Una vez se identifiquen las metas en común, se podrán formular proyectos en conjunto que aporten a los objetivos planteados a nivel departamental de los integrantes de los nodos. Esta tarea podrá ser realizada por un equipo de expertos en cabeza de una persona con una experiencia amplia en temas de cambio climático o podrán darse consultorías para el diseño de propuestas solidas ante las instituciones nacionales e internacionales que tiene recursos.

Capacitar las instituciones del nodo

Durante los primeros años en los que entre en funcionamiento la medida, los funcionarios de las entidades que hacen parte de los nodos regionales Pacífico Sur y Eje Cafetero, recibirán capacitaciones sobre cambio climático, modelación de escenarios, implementación de medidas, toma de decisiones basadas en cambio climático y análisis de sectores vulnerables. Estas capacitaciones podrán impartirse cada cinco años con la intención de mantener actualizados a los funcionarios y cada una deberá ser de al menos 5 días de trabajo.

Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico.

Programa:

- Gestión integral del recurso hídrico.
- Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Garantizar el abastecimiento de agua para uso agrícola durante periodos secos, evitando el estrés hídrico de los cultivos, minimizando las pérdidas en los sistemas productivos ganaderos generados por deshidratación y desnutrición e incrementando la resiliencia del sector agropecuario al cambio climático, y reduciendo la presión sobre el recurso hídrico y la expansión de la frontera agrícola.

Descripción:

El agricultor debe adaptarse estratégicamente, modificando fechas de siembra, alternando cultivos, incrementando la irrigación o incluso promoviendo el asocio de agricultores que permita un trabajo mancomunado por la obtención de recursos hídricos de fuentes alternativas y así suplir las necesidades de los sistemas productivos. Este tipo de acciones permitirá que el pequeño y mediano agricultor pueda adaptarse a los cambios del clima sin disminuir sus rendimientos, fortaleciendo su economía, aportando a la seguridad alimentaria de la región y promoviendo una agricultura sostenible.

Acciones requeridas:

- Socialización de las acciones a implementar.
- Implementación de la medida por vereda.
- Taller para mostrar el resultado e incentivar

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 - 2021
- Fase 1 2022 - 2030

Co-beneficios:

- Incremento en la producción agropecuaria.
- Mejoramiento en la competitividad del pequeño y mediano agricultor.
- Promoción de la diversificación de cultivos.
- Mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

Posibles fuentes de financiación:

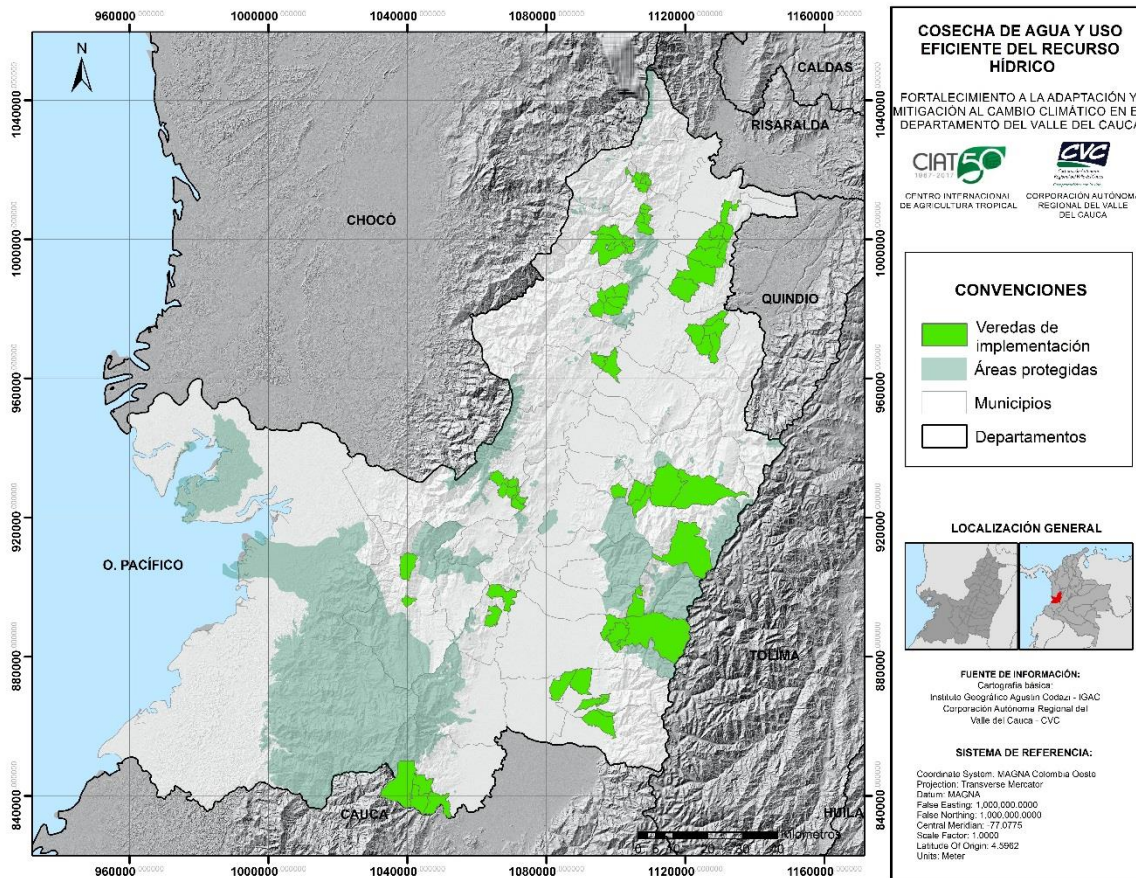
CVC, MADS, Ingenios, Gobernación el Valle, FONAM, BID, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD, Corpoica, agricultores y ganaderos

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, EMCALI, DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$3.706.322.400



Mapa 61. Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

La cosecha de agua es una medida sustentable, que busca aprovechar al máximo los recursos naturales, en este caso, la recolección de agua por medio de canales que la llevan a reservorios, con el fin de almacenar agua cerca al sistema de producción, garantizando la seguridad alimentaria, debido a que las fuentes de agua están secas o son escasas y el transporte de agua es costoso y requiere de gran esfuerzo (INTA, 2013).

La medida se centró en zonas que presentan un impacto importante en cuanto a la disponibilidad hídrica para el escenario de cambio climático planteado y que en la actualidad son zonas productoras, como resultado de este análisis sobresalieron 72 veredas (Mapa 61) en las que se propone instalar un sistema de cosecha de agua piloto por cada vereda, acompañado con un fuerte componente de capacitación y divulgación de la información, de manera que los agricultores puedan compartir experiencias y replicar el sistema a nivel predial con asesoría técnica calificada. En la Tabla 44 se presentan las veredas propuestas para la implementación de la medida, que corresponden a zonas de productores de los cultivos priorizados y cuyos impactos ante el cambio climático se analizaron en los apartados anteriores.

Tabla 44. Veredas para implementación de la medida.

Lugar de implementación			
Municipio	Vereda	Municipio	Vereda
Yumbo	San Marcos	Ansermanuevo	El Brillante
	Bermejál		El Pedral
Yotoco	Jiguales		La Popalita
	El Jardín		Bajo Tigre
Jamundí	Timba	Roldanillo	Belgica
	La Liberia		El Retiro
	Villa Colombia		Mateguada
	La meseta		Montanuela
El Cerrito	Auji		Buenavista
Dagua	Providencia		El Pie
	El Rucio	Buena Vista	
Tuluá	Monteloro	El Roble	
	Santa Lucía	Ventaquemada	
Candelaria	Madre Vieja	El Bosque	
Calima	La Cecilia	Toro	La Robleda
	La Primavera		El Cedro
	Paramillo		Patio Bonito
	El Diamante		La Quiebra
	La Unión		La Cuchilla
El Boleo	Sevilla	El Manzanillo	
		Buenos Aires	
Guadalajara de Buga	Frisoles		

Lugar de implementación			
Municipio	Vereda	Municipio	Vereda
	El Rosario	Zarzal	Calera Vieja
Pradera	Lomitas	La victoria	San José
	El Recreo		Holguín
	La Granja	Obando	San José
	Vallecito		Frías
	Bolo Hartonal		San isidro
Florida	La Diana		Monte Grande
Palmira	Caluce		Villa Rodas
	Potrerrillo		El chuzo
	Toche	La unión	Sonora
	Tablones	Versalles	Puente tierra
Buenos Aires	Versalles		
San pedro	La Esmeralda	Bugalagrande	Guayabo
	Cartago	Modin	Bolívar
Argelia	Las Brisas	Sevilla	Morro azul

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Costos estimados de implementación de la medida (Cosecha de agua y uso eficiente del recurso hídrico).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Costo total
Socialización de las acciones a implementar	\$45.200.000	\$158.200.000	\$203.400.000
Implementación de la medida por vereda	\$629.280.000	\$2.202.480.000	\$2.831.760.000
Taller para mostrar el resultado e incentivar	\$27.000.000	\$189.000.000	\$216.000.000
Seguimiento	\$49.103.600	\$178.477.600	\$227.581.200
Interventoría	\$49.103.600	\$178.477.600	\$227.581.200
Totales	\$799.687.200	\$2.906.635.200	\$3.706.322.400

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Con esta medida se busca reducir la presión sobre las cuencas en periodos de estiaje y a la vez garantizar a los productores agropecuarios mantener la producción durante las mismas épocas secas. Para la implementación de esta medida se deben realizar las siguientes actividades:

Socialización de las acciones a implementar

Un profesional con conocimientos en gestión del recurso hídrico será el encargado de impartir la socialización de la medida, en esta reunión se expondrán las ventajas del uso

de sistemas de cosechas de agua y el fomento de técnicas para el uso racional del recurso hídrico en prácticas agrícolas.

Implementación de la medida por vereda

La implementación de la medida se llevará a cabo mediante la construcción de sistemas de cosecha de agua en 72 veredas priorizadas, de manera que en cada vereda se realice una implementación piloto que sirva de vitrina para que los demás productores puedan replicarla a nivel predial según sus necesidades particulares. El reservorio que fue presupuestado tendrá la capacidad de almacenar 1300 m³ de agua que servirá para suplir las necesidades hídricas promedio de un cultivo de una hectárea, los costos estimados incluyen: excavación, nivelación, transporte, geo-membrana, Ingeniero supervisor y personal para mano de obra.

Taller para mostrar resultados e incentivar

Una vez se han implementado los modelos de cosecha de agua a nivel veredal, el siguiente año se realizarán talleres en los que los agricultores podrán recibir capacitación en la elaboración de reservorios, educación ambiental, uso racional del recurso hídrico y manejo de cultivos.

Restauración de suelos para uso agrícola.

Programa:

Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Lograr una agricultura eficiente y amigable con el medio ambiente, toda vez que las prácticas agrícolas no alteren la estructura y composición natural del suelo, al igual que no se genere una sobredemanda del recurso hídrico y no alteren la calidad del mismo.

Descripción:

Con ayuda de capacitaciones, asesorías e implementación de programas piloto como vitrinas demostrativas, promover la incorporación de técnicas que fomenten el uso racional del recurso hídrico, acompañado con un uso eficiente de fertilizantes y un manejo adecuado del suelo.

Mediante una actualización en técnicas de nutrición nitrogenada en los sistemas de producción vegetal se espera una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, en la contaminación de fuentes hídricas subterráneas y en los costos de producción agropecuaria.

Por medio de la promoción de técnicas eficientes en el uso del recurso hídrico en sistemas de producción agrícola, se espera que el agricultor cuente con una asesoría calificada que le permita conocer la cantidad y el momento exacto en que el cultivo requiere agua (para cultivos bajo riego).

Gracias al fomento de prácticas conservacionistas en la gestión del suelo para el sector agrícola, el productor contará con herramientas que le permitirá propender por un suelo sano, con buenas condiciones físicas y biológicas. Estas prácticas contribuyen en gran medida a la reducción en la producción de sedimentos, no permite que el suelo pierda nutrientes, contribuye al rendimiento de los cultivos y disminuye los costos en operacionales de los agricultores.

Acciones requeridas:

- Capacitar a los agricultores sobre toma y tratamiento de muestras de suelo.
- Análisis de las muestras de suelo.
- Análisis de resultados de las muestras y formulación de recomendaciones.
- Asesoría técnica.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 - 2021
- Fase 1 2022 - 2030
- Fase 2 2031 - 2040

Co-beneficios:

- Mayor disponibilidad hídrica para la comunidad rural.
- Incremento en el rendimiento de los cultivos.
- Promoción de la diversificación de cultivos.
- Reducción del riesgo de desastres agrícolas.
- Reducción de la pobreza rural.
- Fortalecimiento de la capacidad de producción.
- Mejoramiento de infraestructuras para el manejo de cultivos.

Posibles fuentes de financiación:

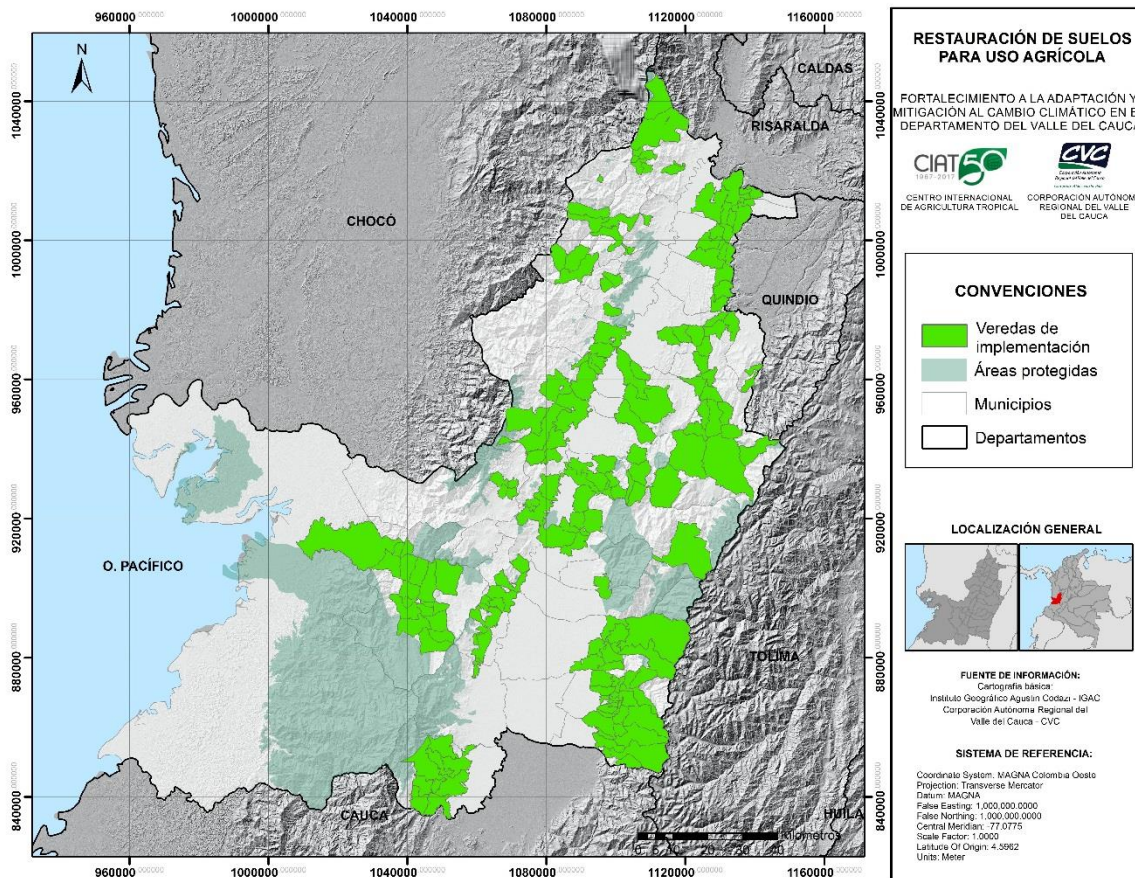
FINAGRO, Ministerio de agricultura, Agencia de tierras, FAO, Banca Privada, Fondo Colombia en Paz, CVC,

Entidades responsables:

Corpoica, CVC, SENA, Secretaria de ambiente agricultura y pesca, Ministerio de agricultura, FEDERIEGOS, Agencia de tierras, Universidades, Gremios de agricultores, Gremios de agricultores.

Costo estimado:

\$6.343.188.000



Mapa 62. Restauración de suelos para uso agrícola.

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de priorización:

Con ayuda de capacitaciones, asesorías e implementación de programas piloto como vitrinas demostrativas, promover la incorporación de técnicas que promuevan el uso racional del recurso hídrico, acompañado con un uso eficiente de fertilizantes y un manejo adecuado del suelo.

Mediante una actualización en técnicas de nutrición nitrogenada en los sistemas de producción vegetal se espera una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero, en la contaminación de fuentes hídricas subterráneas y en los costos de producción agropecuaria.

Por medio de la promoción de técnicas eficientes en el uso del recurso hídrico en sistemas de producción agrícola, se espera que el agricultor cuente con una asesoría calificada que le permita conocer la cantidad y el momento exacto en que el cultivo requiere agua (para cultivos bajo riego).

De acuerdo con la Tabla 46. Lugares de implementación de la medida (restauración de suelos para uso agrícola) se intervendrán 185 veredas en 38 municipios del departamento del Valle del Cauca, donde según el censo nacional agropecuario se concentran los productores de los cultivos que fueron priorizados para la determinación de impactos del cambio climático en la agricultura del presente estudio y que de alguna manera representan ganancias en idoneidad climática. No solo es importante conocer aquellas zonas donde la idoneidad climática incrementará con los efectos del clima, también lo es desarrollar habilidades en los productores para que la actividad agrícola pueda desarrollarse bajo estándares de sostenibilidad, favoreciendo en la conservación de los suelos, las fuentes hídricas y los ecosistemas, respetando la frontera agrícola y adoptando prácticas que promuevan la conservación.

En el Mapa 62 se destacan las veredas seleccionadas para la implementación de la medida, la finalidad es que se pueda desarrollar un diagnóstico de suelos y de prácticas de manejo por vereda y posteriormente implementar un método de restauración de suelos que sirva como vitrina demostrativa para los agricultores de las veredas, después se realizarán capacitaciones a los agricultores sobre la implementación de métodos de restauración de suelos y se abrirán espacios para compartir experiencias e intercambiar lecciones aprendidas, destacando que las prácticas implementadas se realizarán bajo condiciones diferenciadas en topografía, cultivo y clima.

Tabla 46. Lugares de implementación de la medida (restauración de suelos para uso agrícola).

Municipio	Vereda	Municipio	Vereda
Alcalá	El Dinde	Palmira	Ayacucho - La Buitrera
	La Estrella		Barrancas
	El Edén		Caluce
Andalucía	Pardo		La Zapata
Ansermanuevo	Lusitania		Potreriillo
	La Florida		Toche
	El castillo		Guayabal
	Yarumal		Tablones
	El Villar		Tenjo
	La Divisa		Bolo Blanco
Bolívar	Salazar	Pradera	El Retiro
	Ricaurte		La Feria
	Bolívar - zona urbana		Potreriito
Buenaventura	La Herradura		El Libano
	Cisneros		El Nogal
Bugalagrande	Uribe-Uribe		San Antonio
	Galicia		San Isidro

Municipio	Vereda	Municipio	Vereda	
	El Overo		Lomitas	
Caicedonia	El Paraíso		La Carbonera	
	Puerto Rico		Los Pinos	
Cali	Golondrinas		La Ruiza	
Calima	La Primavera		Resguardo indígena Kwet Wala	
	El Diamante		Vallecito	
	La Unión		La Fría	
	El Boleo		Bolívar	
Cartago	Coloradas	Riofrío	Riofrío	
	La Grecia		Salínica	
	Modin		Fenicia	
	Zaragoza		Portugal de Piedras	
	Piedra de Moler		El Castillo	
Dagua	El Limonar	Roldanillo	Cajamarca	
	Santa María		Mateguada	
	San Vicente	San pedro	Los Chancos	
	Providencia		Pavas	
	Los Alpes		Presidente	
	Juntas		Todos los Santos	
	Atuncela		Angosturas	
	El Naranjo		Buenos Aires	
	Cisneros		Guaqueros	
	Villa Hermosa		La Esmeralda	
	El Rucio		La Siria	
	El Palmar			Maulen
	Borrero Ayerbe		Calamar	
	El Carmen		Irlanda	
El Pinal		Coloradas		
El Águila	El Diamante	Sevilla	Tibi	
	La Pedrera		Comingales	
El Cairo	La Selva		Montegrande	
El Dovio	Sirimunda		La Cuchilla	
	Toldafria		El Manzanillo	
	El Dumar		Buenos Aires	
Florida	Loma Gorda			Alejandría
	Pueblo Nuevo		Toro	Ventaquemada
	La Rivera			El Cedro
	Las Brisas		Trujillo	Huasano
	Talaga	Cabecera		
	Los Caleños	Cerro Azul		

Municipio	Vereda	Municipio	Vereda
	La Unión	Tuluá	Robledo
	San Francisco		La Marina
	El Pedregal		Monteloro
	La Diana		Quebrada Grande
Ginebra	Novillera		San Lorenzo
Guacarí	El Bosque		Tochecito
	El Tablazo		Barragán
Guadalajara de Buga	El Vínculo		El Retiro
	El Rosario		Puerto Frazadas
	Zanjón Hondo		Ulloa
	Monterrey	Calamonte Alto	
	Quebrada Seca	Versalles	El Balsal
	Pueblo Nuevo		Pinares
	Puente Tierra		
Jamundí	Timba	Vijes	La Florida
	La Liberia		Villa María
	Villa Colombia		San Isidro
	Ampudia	Yotoco	El Guabal
	San Antonio		Los Chorros
	Puente Vélez		El Chocho
	San Vicente		Los Planes
	Porerito		La Negra
La cumbre	Laureles	Piedras	
	Alto las Almendras	Mediacanoa	
La unión	Sonora	Yumbo	San Marcos
La victoria	Sierra Mocha		Montañitas
	Cueva Loca		Manga Vieja
	Holanda		El Placer
Obando	San José		Santa Inés
	Frías		Medio Dapa
	San Isidro		Xixaola
	Puerto Samaria		La Buitrera
	Monte Grande		Arroyohondo
	Villa Rodas		Bermejál
	El Chuzo		
Zarzal	La Miel		
	Calera Vieja		

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 47. Costos estimados para la implementación de la medida (restauración de suelos para uso agrícola).

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Costo total
Capacitar a los agricultores sobre toma y tratamiento de muestras de suelo	\$1.480.000.000		\$1.480.000.000
Análisis de las muestras	\$1.665.000.000		\$1.665.000.000
Análisis de resultados de las muestras y formulación de recomendaciones	\$967.680.000	\$967.680.000	\$1.935.360.000
Asesoría técnica		\$483.840.000	\$483.840.000
Seguimiento	\$287.887.600	\$101.606.400	\$389.494.000
Interventoría	\$287.887.600	\$101.606.400	\$389.494.000
Totales	\$4.688.455.200	\$1.654.732.800	\$6.343.188.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Esta medida está enfocada en recuperar los suelos para producción agrícola a través del uso de prácticas sostenibles. Con la implementación de esta medida se reducirá la pérdida de suelos por sedimentos y mejorará la calidad del agua en las fuentes hídrica aguas abajo de las zonas intervenidas. Las actividades necesarias para el desarrollo de esta medida son:

Capacitación de agricultores sobre toma y tratamiento de muestras de suelo

La actividad inicial contará con la presencia de un ingeniero agrónomo, agrícola o agronómico con conocimientos en manejo de cultivos. Esta persona será la encargada de impartir una capacitación sobre manejo de muestras simples de suelos, el objetivo que cada agricultor identifique el cultivo que quiere analizar, realice la toma de muestras de suelo y posteriormente la envíe por correo certificado a las instalaciones de Corpoica, estos se encargaran de hacer el análisis fisicoquímico de las muestras y darán algunas recomendaciones en relación con el cultivo al que correspondan. El análisis de las muestras en Corpoica tiene un costo de \$ 88.000 y los resultados son obtenidos en diez días hábiles, el costo puede ser asumido por el productor o por el proyecto según sea la disponibilidad de los recursos, pero en este caso la medida se costeó asumiendo estos gastos como parte del proyecto.

Análisis de las muestras

Dado que el análisis de muestras será realizado por parte de Corpoica, se espera tener el respaldo de la institución, de manera que se prioricen las muestras enviadas por parte del proyecto y se puedan realizar los análisis posteriores sin contratiempo.



Análisis de los resultados de las muestras, formulación de recomendaciones y asistencia técnica.

Una vez que las muestras han sido analizadas en los laboratorios de Corpoica, un asesor técnico (ingeniero agrícola o agrónomo) por cada diez veredas se encargará de analizarlas y dar recomendaciones en base a los cultivos que los productores han propuesto. Las recomendaciones deben ser orientadas a mejorar las prácticas de manejo de los cultivos, fomentar el uso de abonos verdes y optimizar el uso del recurso hídrico, para el desarrollo de esta etapa se contempla la necesidad de contar con 18 asesores técnicos que serán contratados durante tres años.

Sistema de alertas agroclimáticas tempranas.

Programa:

Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Gestión en la implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Desarrollar capacidades en la región con el fin de anticiparse a los efectos del cambio climático a través de la implementación de un sistema de alerta agroclimática temprana. En la medida que los productores cuenten con información confiable de las condiciones climáticas del semestre agrícola entonces podrán implementar acciones que ayuden a evitar pérdidas de las cosechas por razones climáticas.

Descripción:

Consiste en instalar un sistema de predicción agroclimática a nivel departamental. Se busca analizar los diferentes forzantes del clima de la región con el fin de buscar elementos técnicos que permitan anticipar el comportamiento del clima y los potenciales efectos sobre los cultivos. Esta información es necesaria para anticiparse al clima y poder adelantar prácticas de manejo en el cultivo y decisiones que permitan evitar pérdidas de los cultivos. La información es discutida con técnicos, productores y funcionarios de instituciones claves de la región con el fin de generar un boletín con recomendaciones de manejo. Este boletín se difunde por diferentes medios que permitan consulta directa por parte de los productores.

Acciones requeridas:

- Conformar la mesa agroclimática regional.
- Generar pronósticos climáticos para cultivos y modelar el impacto del clima pronosticado sobre los cultivos más importantes de la zona.
- Realizar un taller con los gremios para socializar los resultados de los impactos pronosticados y generar un portafolio de medidas de adaptación a corto plazo.

Lugar de aplicación:

La implementación de la medida es a nivel departamental, puesto que se pretende llegar a todos los agricultores del Valle del Cauca por medio de representantes de los gremios.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021
- Fase 1 2022 – 2030
- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Incremento en la productividad del sector agrícola.
- Disminución de las pérdidas en el sector agrícola por eventos extremos.
- Promueve el trabajo articulado de diferentes sectores de la economía regional.
- Mejora en los canales de comunicación entre productores e instituciones.
- Promoción de nuevas técnicas de manejo acordes a los impactos del CC.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, SINA, Fundación fondo agua por la vida y la sostenibilidad, FONAM, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Adaptación, Fondo Colombia en Paz, Adaptation fund, Finagro, Green Climate Fund, Development Bank of Latin America, Protocolo Verde, Fondo de Desarrollo Nacional, Ministerio de Agricultura, UNGRD, Corpoica,

Entidades responsables:

CVC, MADS, CENICAÑA, ASOCAÑA, Usuarios de aguas subterráneas y superficiales, Organizaciones campesinas, IDEAM, IGAC, Alcaldías, Gobernación, Gremios de agricultores, Ministerio de agricultura, Dagma, Universidades, FEDERIEGOS, Corpoica.

Costo estimado:

\$8.484.038.460

Criterios de priorización:

El sistema departamental de alertas agroclimáticas tempranas será un grupo especializado de expertos meteorólogos, estadísticos, economistas, ingenieros agrónomos y agrícolas con experiencia en modelación de cultivos y prácticas de manejo de cultivos, este grupo multidisciplinario realizará reuniones periódicas con expertos del IDEAM y representantes de los gremios de agricultores más destacados en la región con el fin de generar recomendaciones para los agricultores en base a la información generada proporcionada por IDEAM y a las modelaciones de cultivos bajo diferentes condiciones climáticas y de manejo.

Tabla 48. Costos estimados para le implementación de la medida (Sistema de alertas agroclimáticas tempranas) en la fase 1.

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Conformar la mesa agroclimática regional.	\$21.343.000			\$21.343.000
Generar pronósticos climáticos para cultivos y modelar el impacto del clima pronosticado sobre los cultivos más importantes de la zona	\$1.940.796.000	\$1.492.200.000	\$1.658.000.000	\$5.090.996.000
Realizar un taller con los gremios para socializar los resultados de los impactos pronosticados y generar un portafolio de medidas de adaptación a corto plazo.	\$168.480.000	\$505.440.000	\$561.600.000	\$1.235.520.000

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Elaborar y difundir el boletín agroclimático regional.	\$149.220.000	\$447.660.000	\$497.400.000	\$1.094.280.000
Gerencia	\$159.588.730	\$171.171.000	\$190.190.000	\$520.949.730
Interventoría	\$159.588.730	\$171.171.000	\$190.190.000	\$520.949.730
Totales	\$2.599.016.460	\$2.787.642.000	\$3.097.380.000	\$8.484.038.460

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

El objetivo de esta medida es generar recomendaciones a los productores del sector agropecuario de forma anticipada a los eventos climáticos. Con la correcta implementación de esta medida es posible evitar pérdidas económicas en el sector agropecuario como consecuencia de impactos del clima. Para la implementación de esta medida, en los próximos años se deben realizar las siguientes actividades:

Conformar una mesa agroclimática regional

Esta primera actividad deberá estar en cabeza de un líder departamental que se encargará de difundir la idea de la mesa agroclimática entre las diversas instituciones tanto públicas como privadas que trabajen en temas agropecuarios. Adicionalmente será la encargada de consolidar compromisos de diversas instituciones para apoyar esta iniciativa.

Generar pronóstico climático para cultivos y modelar el impacto del clima pronosticado sobre los cultivos más importantes de la zona.

Dentro de esta actividad se debe organizar un grupo de expertos que incluya profesionales de diversas áreas del conocimiento tanto climático, como computacional, agronómico y pecuario. (Ingeniero de sistemas, Asistente administrativo, Físico/matemático con especialización en meteorología con 20 años de experiencia, MsC Meteorólogo con 20 años de experiencia, Ingeniero agrónomo con experiencia en modelación de cultivos, Profesional de áreas agropecuarias, forestal o ambiental con maestría en ciencias agrarias y con experiencia en modelación de cultivos, Profesional con experiencia en manejo de bases de datos climáticas y llenado de datos, Ingeniero agrónomo con 2 años de experiencia en cultivos prioritarios del departamento, Profesional con experiencia en gestión del conocimiento). Este grupo de expertos deberá realizar el primer año el trabajo de los pronósticos climáticos, regionalización de los datos y modelación de comportamiento de los cultivos y sistemas pecuarios ante los climas esperados. Posteriormente, después del segundo año, deberá trabajar un equipo reducido que haya adquirido experiencia del grupo inicial, para realizar el trabajo de pronósticos y modelación mensualmente hasta el año 2040.

Realizar talleres con los gremios para socializar los resultados de los impactos pronosticados y generar un portafolio de medidas de adaptación a corto plazo.

Mensualmente después de realizar las modelaciones climáticas y productivas, se deberá realizar una reunión de la mesa departamental agroclimática (preferiblemente a principios de cada mes), con el fin de socializar los resultados con los diversos sectores y de esta forma poder generar recomendaciones para el manejo climático de los cultivos y sistemas pecuarios con respecto al clima que se espere durante el mes.

Elaborar y difundir el boletín agroclimático regional.

Esta actividad corresponde al diseño y difusión mensual del boletín agroclimático departamental que recoja tanto la información climática como las recomendaciones realizadas por los diversos actores. El objetivo de esta actividad es brindar información a los productores y técnicos de campo para tomar decisiones acertadas con base en el conocimiento previo del clima y de esta forma evitar o reducir pérdidas económicas. Para esta actividad se debe contar con un diseñador de medios interactivos que elabore el boletín, lo envíe a las diversas instituciones y lo difunda también a través de páginas web y redes sociales para poder llegar a la mayor cantidad de gente posible.

Sistemas silvopastoriles de baja intensidad

Programa:

Productividad agropecuaria y seguridad alimentaria.

Líneas estratégicas:

- Implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención de zonas de interés ambiental.

Objetivo:

Promover la implementación de sistemas silvopastoriles de baja intensidad en predios que presentan algún tipo de pérdida en la idoneidad de forrajes para el escenario de cambio climático proyectado.

Descripción:

Los sistemas silvopastoriles se constituyen como una medida doble propósito, dado que busca la adaptación y la mitigación del sector ganadero mediante la provisión de zonas de confort para la producción ganadera y que a su vez sean amigables con el medio ambiente, de esta manera se busca que la producción ganadera no sea alterada y se preserven los servicios ambientales en la zona de intervención.

Acciones Requeridas:

1. Fortalecimiento de viveros de la región.
2. Talleres de capacitación a productores.
3. Implementación de la medida en fincas ganaderas.
4. Asesoría en manejo de praderas y sistemas silvopastoriles
5. Talleres de retroalimentación.

Tiempo de implementación:

- Fase piloto 2019 – 2021.
- Fase 1 2022 – 2030.
- Fase 2 2031 – 2040.

Co-beneficios:

- Fortalecimiento de prácticas de conservación en predios ganaderos.
- Captura de carbono en biomasa aérea.
- Confort térmico para la producción ganadera.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS, Gobernación el Valle, FONAM, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD, Corpoica, Fedegan.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, Gremios de agricultores y ganaderos, MADS, Alcaldías, Gobernación, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy, Fedegan.

Costo estimado:

\$87.267.925.574

Tabla 49. Costo de implementación de la medida (Sistemas silvopastoriles de baja intensidad)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Fortalecimiento de viveros de la región	\$62.776.500	\$125.553.000	\$62.776.500	\$251.106.000
Talleres de capacitación a productores	\$5.550.000	\$111.000.000	\$119.325.000	\$235.875.000
Implementación de la medida en fincas ganaderas	\$892.075.000	\$35.677.150.000	\$38.388.280.907	\$74.957.505.907
Asesoría de manejo de praderas y SSP	\$82.900.000	\$373.050.000	\$414.500.000	\$870.450.000
Talleres de retroalimentación		\$74.925.000	\$160.950.000	\$235.875.000
Gerencia	\$73.031.105	\$2.545.317.460	\$2.740.208.268	\$5.358.556.833
Interventoría	\$73.031.105	\$2.545.317.460	\$2.740.208.268	\$5.358.556.833
Totales	\$1.189.363.710	\$41.452.312.920	\$44.626.248.944	\$87.267.925.574

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Fortalecimiento de viveros en la región.

Se realizarán capacitaciones en los viveros de la región, con el fin de mejorar sus estándares de calidad y de esta forma contar con suficiente material vegetal para la implementación de los sistemas silvopastoriles de baja intensidad. Las capacitaciones deberán hacerse en viveros localizados en zonas estratégicas y deberán ir acompañados de acuerdos de venta de material vegetal para la implementación de esta medida. Los años en los cuales se propone que se realicen estas capacitaciones son 2019, 2022, 2027 y 2031.

Talleres de capacitación a productores.

Se deben hacer convocatorias para talleres donde se seleccionarán las fincas a intervenir y adicionalmente se brinde información a los productores de la región sobre los beneficios de la implementación de estos sistemas de producción. Esta actividad deberá realizarse durante todas las fases del proyecto, ya que la implementación de las hectáreas se realizará de forma progresiva.

Implementación de la medida en fincas ganaderas.

Esta actividad corresponde a la implementación de la medida en fincas ganaderas, inicialmente realizándose unos pilotos en 500 hectáreas, y posteriormente ampliando su implementación a 20.000 ha en primera fase y a 21.520 ha en segunda fase para completar a 2040 un total de 42.020 ha reconvertidas.

Asesorías en manejo de praderas y sistemas silvopastoriles.

Esta iniciativa contará con acompañamiento de profesionales que manejen el tema de manejo de praderas y la implementación y manejo de sistemas silvopastoriles. Este acompañamiento también deberá servir para apoyar a los productores en la toma de decisiones dentro de sus fincas. Esta asesoría será más intensiva durante la fase piloto y más puntual en la fase 1 y 2 de la implementación de esta medida.

Talleres de retroalimentación.

Al cuarto año de implementarse cada hectárea con la tecnología propuesta, se deberán realizar con la comunidad talleres de retroalimentación donde se compartan experiencias y lecciones aprendidas y a la vez incentivar a otros propietarios para implementar esta medida en sus fincas.

Esta medida deberá contar tanto con financiación pública como privada, es decir que muchas de las transformaciones en las fincas deberán ser asumidas por los mismos ganaderos.

Servicios climáticos para el sector salud

Programa:

Salud Pública y Gestión territorial

Líneas estratégicas:

- Implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Intervención en zonas de interés ambiental y sanitario.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Brindar información climática oportuna por medio de la coordinación de instituciones como el IDEAM y la UNGRD que sirva como insumo para que el sector salud tome las medidas necesarias para afrontar los impactos de la variabilidad climática y el cambio climático, de esta manera incrementar la resiliencia de los territorios mediante la reducción de las emergencias sanitarias por eventos climáticos.

Descripción:

Un sistema de servicios climáticos para el sector salud funciona como una herramienta que facilita un intercambio de información y una interacción entre las Direcciones Territoriales de Salud, la Red Pública y privada de prestación de servicios de salud, las instituciones técnicas y científicas del sector salud y los representantes de la sociedad civil, de tal manera que las instituciones puedan tomar decisiones que ayuden a reducir o evitar los riesgos asociados a factores ambientales y climáticos que afecten la salud de la población, de acuerdo a sus capacidades. Funcionará como un sistema de alertas tempranas, que ayudará al sector salud a tomar medidas oportunas y prepararse para eventos que pueda acarrear problemas sanitarios, poniendo en riesgo la salud de la comunidad. Los SAT permiten “facultar a las personas y comunidades que enfrentan una amenaza para que actúen con suficiente tiempo y de manera adecuada para reducir la posibilidad que de que se produzcan lesiones personales, pérdidas de vidas humanas y daños a los bienes y el medio ambiente” (UNGRD, 2016).

Acciones Requeridas:

1. Conformación de la mesa de servicios climáticos para el sector salud.
2. Fortalecimiento de campañas de prevención de enfermedades y control de vectores.
3. Implementación de una página web informativa sobre el cambio climático en el sector salud.

Tiempo de implementación:

- Fase Piloto 2019 - 2021
- Fase 1 2022 - 2030

- Fase 2 2031 – 2040

Co-beneficios:

- Generación de estudios detallados de zonas de alto riesgo ante desastres.
- Identificación de áreas y comunidades vulnerables.
- Mejoramiento en la calidad de vida de las comunidades.
- Prevención ante una emergencia o desastre.
- Capacidad de respuesta ante una emergencia o desastre.

Posibles fuentes de financiación:

Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Fondo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, Alcaldías Municipales y Distritales, Gobernación del Valle del Cauca, Ministerio de Salud y Protección Social y CVC.

Entidades responsables:

Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Gobernación del Valle del Cauca, Alcaldías municipales y Distritales, CVC, IDEAM, IGAC, Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD), Consejo Departamental de gestión del Riesgo de Desastres, Ministerio de Salud y Protección Social.

Costo estimado:

\$13.424.692.000

Tabla 50. Costos de implementación (Servicios climáticos para el sector salud)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Conformación de la mesa de servicios climáticos para el sector salud	\$43.200.000	\$129.600.000	\$144.000.000	\$316.800.000
Fortalecimiento de campañas de prevención de enfermedades y control vectores	\$1.560.000.000	\$4.680.000.000	\$5.200.000.000	\$11.440.000.000
Implementación de una página web informativa acerca del Cambio climático en el sector de salud	\$7.310.000	\$6.930.000	\$7.700.000	\$21.940.000
Seguimiento y Gerencia	\$112.224.000	\$336.672.000	\$374.080.000	\$822.976.000
Interventoría	\$112.224.000	\$336.672.000	\$374.080.000	\$822.976.000
Totales	\$1.834.958.000	\$5.489.874.000	\$6.099.860.000	\$13.424.692.000

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

Conformación de la mesa de servicios climáticos para el sector salud.

Se conformará una mesa de trabajo que estará compuesta por delegados de las instituciones pertinentes tales como: IDEAM, Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca (UES), Secretaría de salud pública, Secretaría de salud distrital de Buenaventura, subsecretarios de la gobernación encargados de: salud, educación, desarrollo social y participación. Esta mesa de trabajo se reunirá tres veces por año preferiblemente en épocas de transición entre épocas secas y lluviosas y dará recomendaciones a los municipios que se proyecten más propensos a ganar idoneidad en la presencia del vector.

Implementación de una página web informativa acerca del cambio climático en el sector salud.

Las recomendaciones que se generen en la mesa de servicios climáticos para el sector salud serán subidas a manera de boletín a una página de internet que será creada para fortalecer la comunicación entre instituciones, municipios y funcionarios del sector salud, además de divulgar material educativo y llevar un registro sobre las acciones ejecutadas a través del tiempo. Esta página será creada como parte de la medida de adaptación y se costeará su funcionamiento anual, pues el objetivo es que mantenga actualizada.

Fortalecimiento de campañas de prevención de enfermedades y control de vectores.

Se realizarán campañas de prevención en todos los municipios del departamento, haciendo énfasis en los diez municipios priorizados. Se contratará un profesional con conocimientos en salud pública y manejo de vectores para impartir talleres en colegios, corregimientos y barrios. Esta persona deberá contar con material didáctico que como ayuda pedagógica y contará con cuatro días por municipio para dar dictar dichos talleres.

Control y manejo de vectores

Programa:

Salud Pública y planificación territorial

Líneas estratégicas:

- Gestión del conocimiento.
- Gestión integral del riesgo.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.

Objetivo:

Aumentar la capacidad adaptativa de los principales centros poblados que según los análisis de impacto evidencian un incremento en la idoneidad climática para el vector *Aedes Aegypti*, mediante el desarrollo de actividades de promoción, prevención, vigilancia y control, que garanticen la reducción de la carga de las enfermedades transmitidas por vectores.

Descripción:

Para el escenario RCP 4.5 al año 2040, se espera un incremento en la temperatura, esto propiciará un aumento en la reproducción de mosquitos como *Aedes Aegypti*. Teniendo en cuenta lo que esto representa para la población, será necesario la implementación de acciones de promoción, prevención, vigilancia y control en las diferentes fases de desarrollo del vector en las que se involucre a las instituciones públicas y privadas y a la comunidad en general, garantizándose la reducción en la carga de las enfermedades transmitidas por este tipo de vectores.

Acciones Requeridas:

1. Priorización de sectores a intervenir por municipio.
2. Realización de talleres con la comunidad que permitan explicar las acciones que se deben tomar frente a la aplicación de la medida.
3. Establecimiento y ejecución de un plan de fumigación periódico para las zonas priorizadas.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2019 - 2021

Co-beneficios:

- Ejecución de acciones sostenibles de prevención del riesgo, para las ETV en los ámbitos individual, familiar y comunitario.
- Prevención de emergencias sanitarias.
- Mejora en la calidad de vida de los habitantes.

Posibles fuentes de financiación:

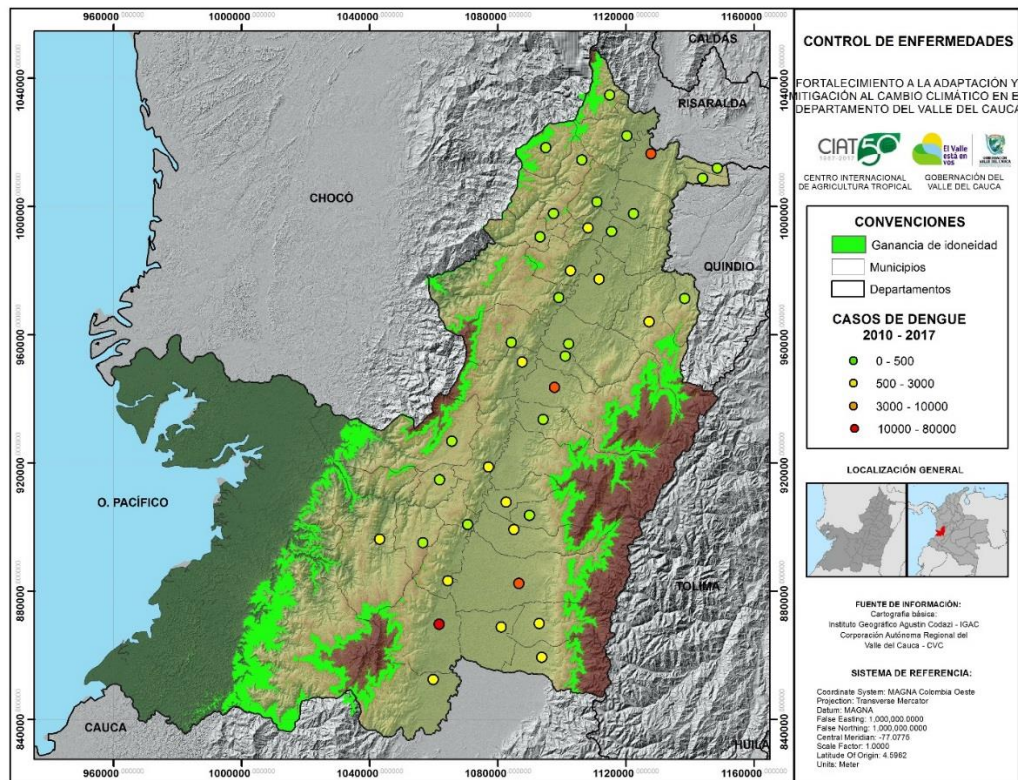
MADS, Gobernación del Valle – Secretaría Departamental de Salud, BID, Green Climate Fund, UNGRD, Ministerio de Salud y Protección Social, Instituto Nacional de Salud, UESVALLE, Secretarías Municipales y Distritales de Salud.

Entidades responsables:

Gobernación del Valle del Cauca – Secretaría Departamental de Salud, UESVALLE, Secretarías Municipales y Distritales de Salud, CVC, ONGs, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, IIAP, MADS, DAGMA.

Costo estimado:

\$4.841.852.653



Mapa 63. Control y manejo de vectores

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Priorización de sectores a intervenir por municipio	\$15.470.167	\$46.410.501	\$46.410.501	\$108.291.169
Realizar talleres con la comunidad que permitan explicar las acciones que se deben tomar frente a la aplicación de esta medida.	\$150.000.000	\$450.000.000	\$500.000.000	\$1.100.000.000

Establecimiento y ejecución de un plan de fumigación periódico para las zonas priorizadas	\$414.402.000	\$1.243.206.000	\$1.381.340.000	\$3.038.948.000
Seguimiento y Gerencia	\$40.591.052	\$121.773.155	\$134.942.535	\$297.306.742
Interventoría	\$40.591.052	\$121.773.155	\$134.942.535	\$297.306.742
Totales	\$661.054.270	\$1.983.162.811	\$2.197.635.571	\$4.841.852.653

Fuente: *Elaboración propia.*

Desarrollo de actividades

El desarrollo de esta medida se realizará dos veces al año en la transición entre el periodo seco y el periodo de lluvias, a excepción de la actividad “priorización de zonas a intervenir por municipio” que se realizará una vez cada tres años, en los años intermedios se trabaja con el último plan diseñado.

Priorización de zonas a intervenir por municipio

En esta primera actividad se contratará un ingeniero sanitario y un técnico durante un mes, ambos con conocimientos en planes de manejo de vectores. Este equipo se encargará de hacer una caracterización municipal y hacer zonificaciones en relación con las necesidades de intervención en el manejo y control del vector, posteriormente tendrán que presentar un informe.

Realizar talleres con la comunidad que permitan explicar las acciones que se deben tomar frente a la aplicación de esta medida

Se realizarán talleres con la comunidad en los que se darán instrucciones claras sobre los procedimientos que se llevarán a cabo para el control de vectores, de igual manera se capacitará a la comunidad sobre los cuidados que se deben considerar y las acciones que se deben implementar para prevenir la proliferación del mosquito. Estos talleres serán dictados por un profesional con conocimientos en epidemiología y salud pública durante los dos meses en que se realizará la intervención.

Establecimiento y ejecución de un plan de fumigación periódico para las zonas priorizadas

Una vez se realice la priorización de las zonas a nivel municipal, se contratará un especialista en salud pública que trabajará en conjunto con un ingeniero sanitario (preferiblemente el mismo que estuvo a cargo de la priorización) en la planificación de la fumigación para los municipios priorizados, la cual debe contener las rutas recomendadas y la cantidad y tipo de fertilizantes de acuerdo con las zonas priorizadas. Posteriormente y siguiendo las indicaciones del consultor se iniciarán las labores de fumigación con la contratación de una camioneta adaptada para tal función. Esta actividad de costeo para que el tiempo de ejecución no sea mayor a dos meses en la intervención de los 10 municipios propuestos.

Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud

Programa:

Salud Pública y planificación territorial

Líneas estratégicas:

- Implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.
- Gestión del conocimiento.
- Gestión integral del riesgo.

Objetivo:

Fortalecer la capacidad institucional de las entidades encargadas del sector salud, mediante la gestión del conocimiento en cambio climático, donde los funcionarios puedan conocer los principales impactos que se esperan para el sector, previendo las acciones que deben implementarse para adaptarse a los escenarios esperados y aumentando la resiliencia del mismo.

Descripción:

La transmisión de enfermedades vectoriales, como el Dengue, el Zika o el Chikungunya, podrían verse influenciadas por el cambio climático, pues con el aumento de la temperatura, la humedad y las lluvias, se espera un incremento en la amplitud de los periodos de actividad del vector, que se acorten los ciclos de reproducción y aumente la densidad o se acorte el periodo de incubación extrínseco y aumente la tasa de reproducción del virus, incrementando de igual manera el contacto con el hombre (Santos, et al., 2013), es por eso que las instituciones encargadas de la salud pública en el departamento, deben fortalecer su capacidad institucional mediante la gestión del conocimiento, permitiéndoles adelantar adecuada y oportunamente las actividades de prevención, promoción, vigilancia y control y disminuir los impactos de las emergencias sanitarias.

Acciones Requeridas:

1. Socialización de la medida con las entidades que controlan y vigilan las emergencias sanitarias en el departamento.
2. Capacitaciones para fortalecimiento de capacidades en cambio climático a funcionarios del sector salud.
3. Fortalecer las capacidades comunitarias e institucionales para la identificación oportuna de pacientes con signos de alarma.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2019 – 2021
- Fase 2 2022 – 2030
- Fase 3 2031 - 2040

Co-beneficios:

- Detección de vacíos de información y oportunidades para nuevos estudios con un alto nivel de detalle.
- Fomento de buenas prácticas sanitarias.
- Mejoramiento de la calidad de vida de la población.
- Generación de oportunidades de interacción entre funcionarios del sector salud, para compartir experiencias.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS - FONAM,, , Gobernación el Valle del Cauca, Alcaldías Municipales y Distritales, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías Municipales y Distritales, Gobernación del Valle del Cauca, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, , DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$4.870.764.000

Tabla 51. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Socialización de la medida con las entidades que controlan y vigilan las emergencias sanitarias en el departamento.	\$4.800.000			\$4.800.000
Capacitaciones para fortalecimiento de capacidades en cambio climático a funcionarios del sector de salud pública	\$42.800.000	\$85.600.000	\$128.400.000	\$256.800.000
Fortalecer las capacidades comunitarias e institucionales para la identificación oportuna de pacientes con signos de alarma	\$802.200.000	\$1.604.400.000	\$1.604.400.000	\$4.011.000.000
Seguimiento y Gerencia	\$59.486.000	\$118.300.000	\$121.296.000	\$299.082.000
Interventoría	\$59.486.000	\$118.300.000	\$121.296.000	\$299.082.000
Totales	\$968.772.000	\$1.926.600.000	\$1.975.392.000	\$4.870.764.000

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Socialización de la medida con las entidades que controlan y vigilan las emergencias sanitarias en el departamento.

Inicialmente se realizará una socialización de la medida en la que deben estar presentes las autoridades departamentales en cuestión de salud pública, en el caso de Buenaventura al tratarse de un distrito especial, contará con un delegado. En dicha reunión se definirán los temas prioritarios que se considerarán en las capacitaciones municipales de cambio climático a funcionarios del sector salud. Para esta actividad se contará con un epidemiólogo con experiencia en modelación y distribución de especies con escenarios de cambio climático, quien será el encargado de guiar la reunión y estructurar de la mano de los funcionarios la metodología que será desarrollada en cada taller a nivel local, según las necesidades y prioridades de los municipios.

Capacitaciones para el fortalecimiento de capacidades en cambio climático a funcionarios del sector de la salud pública.

Una vez se han definido los temas más relevantes a tener en consideración a nivel municipal según la afectación del cambio climático en la distribución del vector, se realizarán capacitaciones a funcionarios del sector a salud a nivel municipal, estas deberán realizarse durante una semana en municipios estratégicos, buscando zonas de fácil desplazamiento donde se puedan capacitar representantes de hasta diez municipios por jornada, el objetivo es que por municipio asistan hasta cinco representantes.

Los funcionarios que asistan a la jornada de capacitación afianzarán su conocimiento en cambio climático y salud, de manera que puedan entender y aplicar medidas de respuesta ante eventuales situaciones que se puedan presentar en el futuro, en especial en aquellas cabeceras municipales donde el vector gana idoneidad.

Las capacitaciones serán realizadas por parte de un equipo de profesionales en cambio climático entre los que destacan: meteorólogo con experiencia en cambio climático y modelaciones climáticas, epidemiólogo con conocimientos en cambio climático y modelaciones de distribuciones de especies, profesional en políticas públicas, sociólogo y economista.

Fortalecer las capacidades comunitarias e institucionales para la identificación oportuna de pacientes con signos de alarma.

Luego de realizado en taller, los funcionarios estarán en la capacidad de liderar campañas de prevención de enfermedades y control de vectores a nivel municipal, para tal objetivo la medida contempla la posibilidad de brindar herramientas de apoyo como lo es la elaboración de cartillas de fácil comprensión para la comunidad en general, además de una fuerte campaña publicitaria por medios auditivos y escritos a nivel local.

Restauración y enriquecimiento de bosques riparios en zonas planas

Programa:

Gestión integral del recurso hídrico.

Gestión y protección de los ecosistemas estratégicos y la biodiversidad.

Líneas estratégicas:

- Implementación de tecnologías frente al cambio climático.
- Planificación y articulación institucional frente al cambio climático.
- Gestión integral del riesgo.

Objetivo:

Intervenir los bosques de galería en estado de deterioro, además de propender por la conservación de los bosques riparios, asegurando la franja de bosque en la ladera de los ríos que las autoridades competentes exigen.

Descripción:

Esta medida busca recuperar 230 km lineales de bosque ripario perturbado, mediante labores de restauración y enriquecimiento en la zona plana de las cuencas que presentaron una alta vulnerabilidad al cambio climático.

De acuerdo con el artículo 33 de la ley forestal debe existir una franja a ambos costados de los ríos, quebradas o arroyos no menor a 15 metros en zona rural y 10 metros en zona urbana. Se prohíbe entonces la corta o eliminación de árboles en las áreas de protección descritas, con excepción de proyectos que sean declarados de convivencia nacional, según el artículo 34.

Acciones Requeridas:

1. Identificación de actores y socialización de la medida.
2. Caracterización de la composición florística.
3. Compra de material biológico y revegetalización.
4. Mantenimiento de las zonas restauradas.

Tiempo de implementación:

- Fase 1 2019 – 2021
- Fase 2 2023 – 2027
- Fase 3 2031 – 2039

Co-beneficios:

- Recuperación de servicios ecosistémicos.
- Se propicia la captura de CO₂ por biomasa aérea.
- Se propende por la conservación del caudal.
- Contribuye a la estabilización del talud contiguo al río.

Posibles fuentes de financiación:

CVC, MADS - FONAM, Gobernación el Valle del Cauca, Alcaldías Municipales y Distritales, BID, Fondo Compensación Ambiental, Fondo Colombia en Paz, Green Climate Fund, Climate Investment funds, Adaptation Fund, International Climate Initiative, Finagro, Protocolo Verde, REDD+, ECDBC, Ministerio de Agricultura, UNGRD.

Entidades responsables:

CVC, Jardín Botánico, ONGs, IDEAM, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, PNN, IIAP, SINAP, CENICAÑA, ASOCAÑA, IDEAM, Asociaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas, Gremios de agricultores, MADS, Alcaldías Municipales y Distritales, Gobernación del Valle del Cauca, Alta consejería para el posconflicto, Ministerio de Agricultura, , DAGMA, FEDERIEGOS, FAO, Corpoica, The Nature Conservancy.

Costo estimado:

\$1.106.370.000

Tabla 52. Costos de implementación de la medida (Fortalecimiento de capacidades institucionales en cambio climático en la salud)

Descripción	Fase piloto	Fase 1	Fase 2	Costo total
Identificación de actores y socialización de la media	\$25.500.000			\$25.500.000
Caracterización de la composición florística	\$105.000.000			\$105.000.000
Compra de material biológico y revegetalización	\$420.000.000			\$420.000.000
Mantenimiento de las zonas restauradas		\$168.000.000	\$252.000.000	\$420.000.000
Seguimiento y Gerencia	\$38.535.000	\$11.760.000	\$17.640.000	\$67.935.000
Interventoría	\$38.535.000	\$11.760.000	\$17.640.000	\$67.935.000
Totales	\$627.570.000	\$191.520.000	\$287.280.000	\$1.106.370.000

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de actividades

Las áreas a intervenir están ubicadas en la zona plana de la cuenca del río Cali, Jamundí, Amaime, Cerrito, Tuluá, Buga la Grande, Paila, Los Micos, Obando y parte del tramo del Río Cauca entre los municipios de Andalucía y Zarzal. Las actividades a realizar para llevar a cabo esta medida son:

Identificación de actores y socialización de la media

Un equipo conformado por un ingeniero forestal y un experto en políticas, se encargarán de hacer una recolección de información de línea base que permita identificar y caracterizar cada uno de los actores que tienen injerencia en la zona que será intervenida, para el completo desarrollo de esta labor se contratarán por dos meses.

Una vez identificados los actores y sus roles se realizará una socialización de la medida, de esta manera podrán ser notificados y se delegarán responsabilidades según sus capacidades en pro de un correcto desarrollo de la medida. Dicha socialización estará a cargo del mismo personal que realiza la identificación de actores y el desarrollo de estas dos sub-actividades tomará no más de tres meses incluyendo la entrega de informes detallados y firma de compromisos por parte de los actores involucrados.

Caracterización de la composición florística

Esta actividad será liderada por un ingeniero forestal, un biólogo y un guía de la zona que acompañe las comisiones, esta tarea tomará tres meses durante los cuales se harán recorridos en las riberas de los ríos de interés, se elaborará una descripción de las especies encontradas y datos específicos como: número de individuos, especies, géneros y familias. Una vez realizado el inventario inicial se determinarán las principales especies a restaurar, al igual que se priorizarán los sitios de restauración.

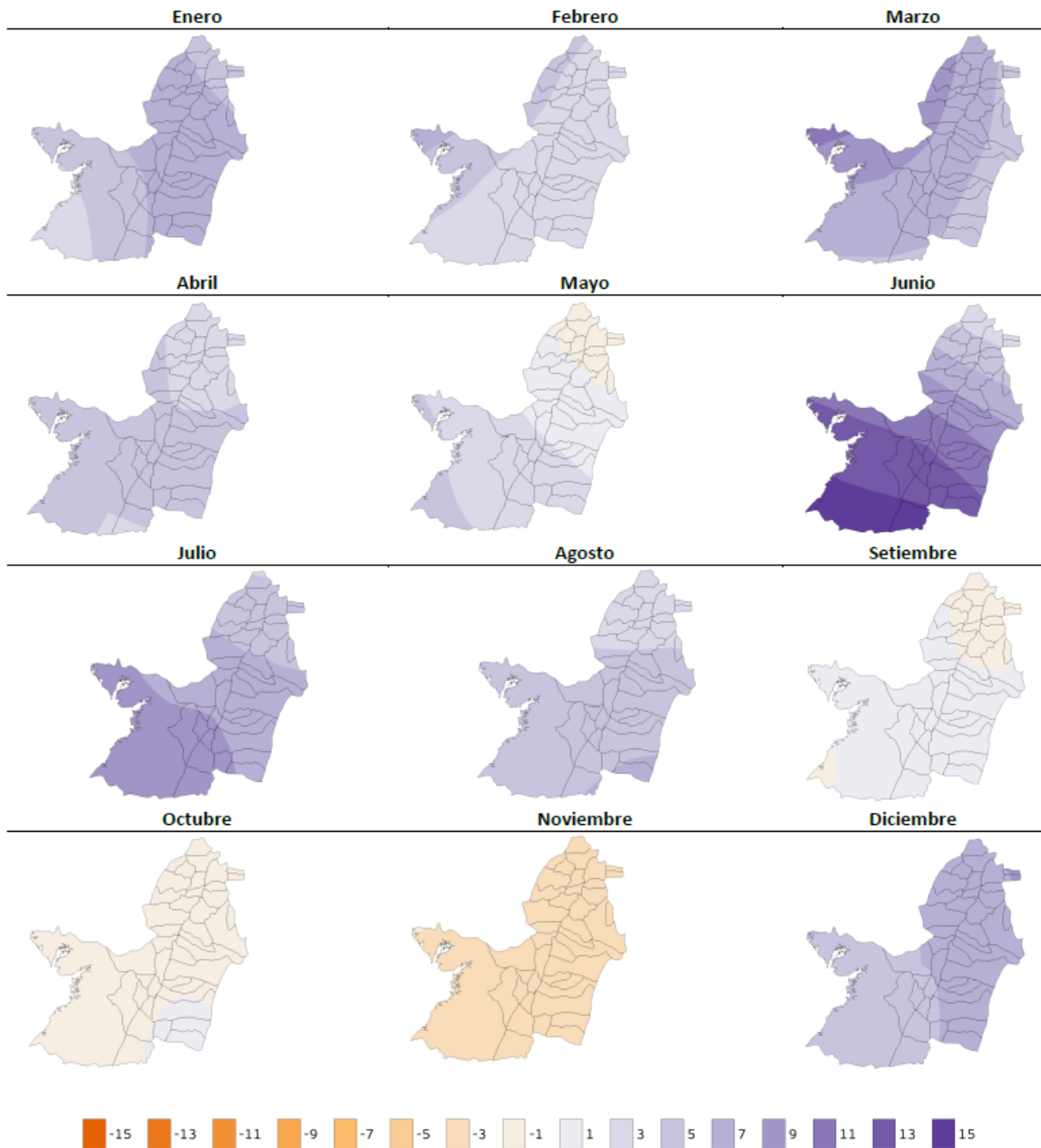
Compra de material biológico y revegetalización

De acuerdo con la caracterización biológica, se propone la compra del material vegetal que será incorporado en cerca de 350 ha priorizadas en el departamento, se propone que por cada hectárea se siembren 200 plántulas de las especies seleccionadas y según el arreglo establecido por el Ingeniero forestal.

Mantenimiento de las zonas restauradas

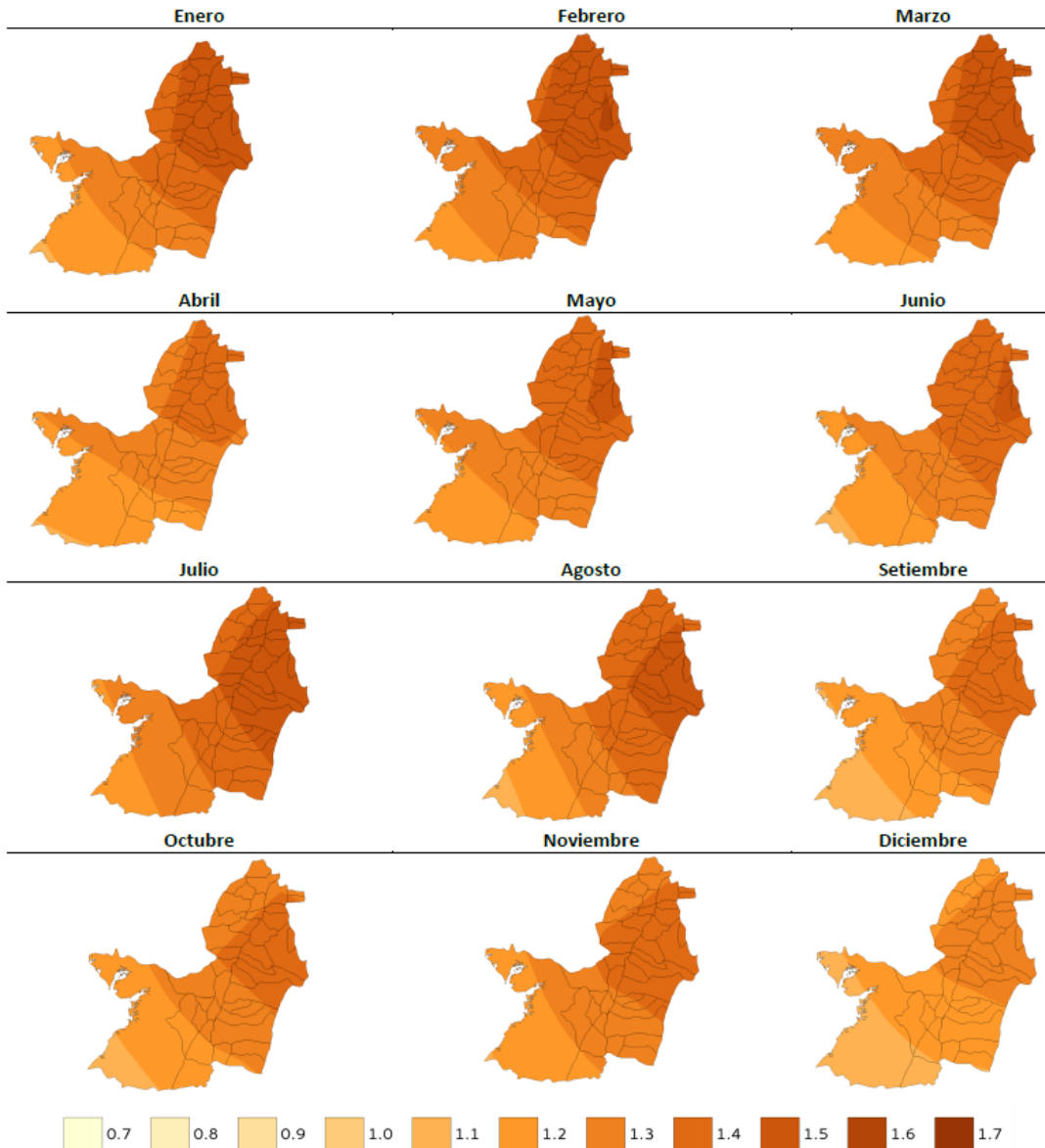
El mantenimiento iniciará en el año 2023, tres años después de la implementación de la medida, y en adelante se realizará un mantenimiento cada cuatro años.

Anexos

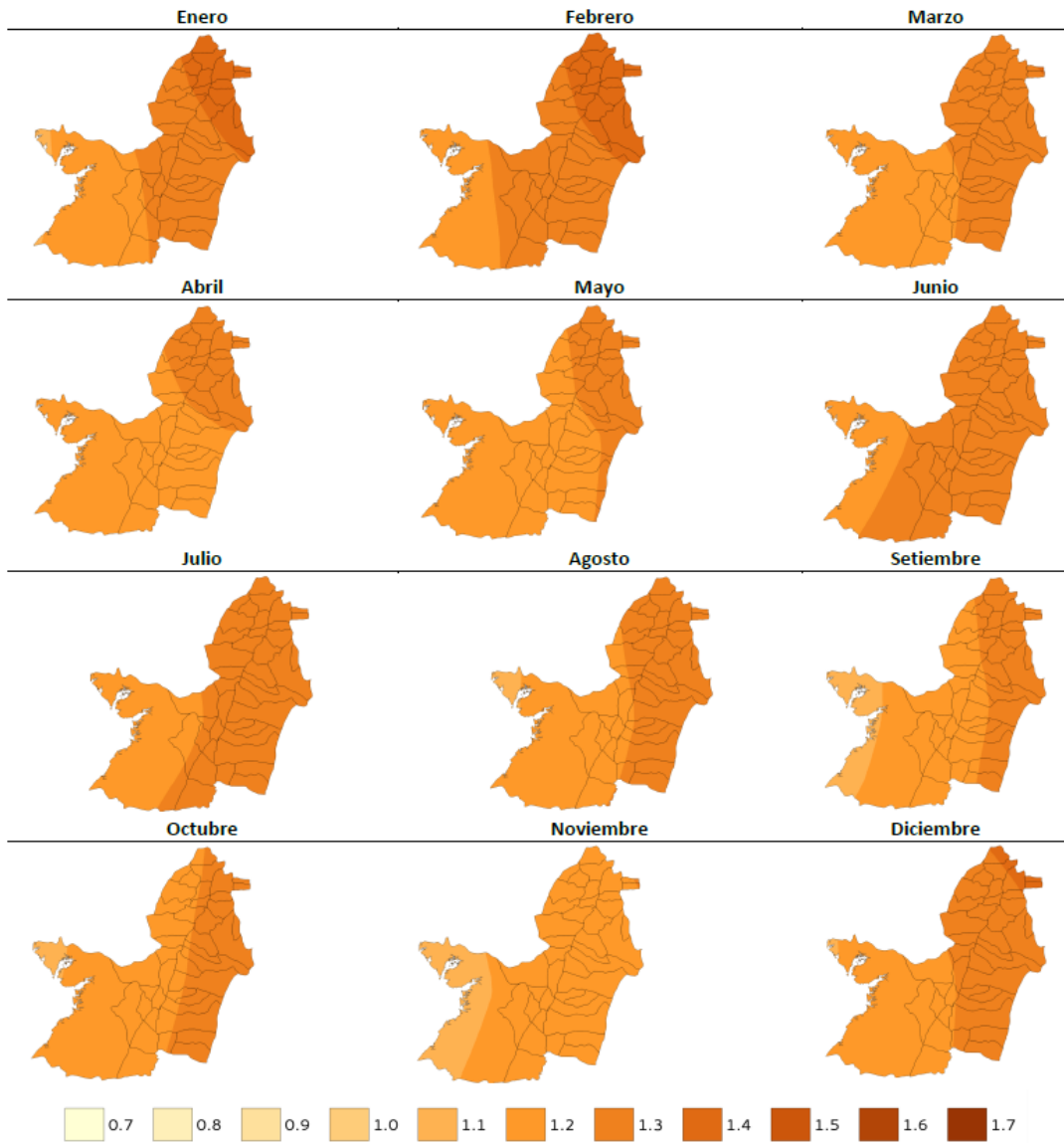


Anexo 1. Anomalía de la precipitación acumulada mensual (% de variación)

Fuente: *Elaboración propia.*

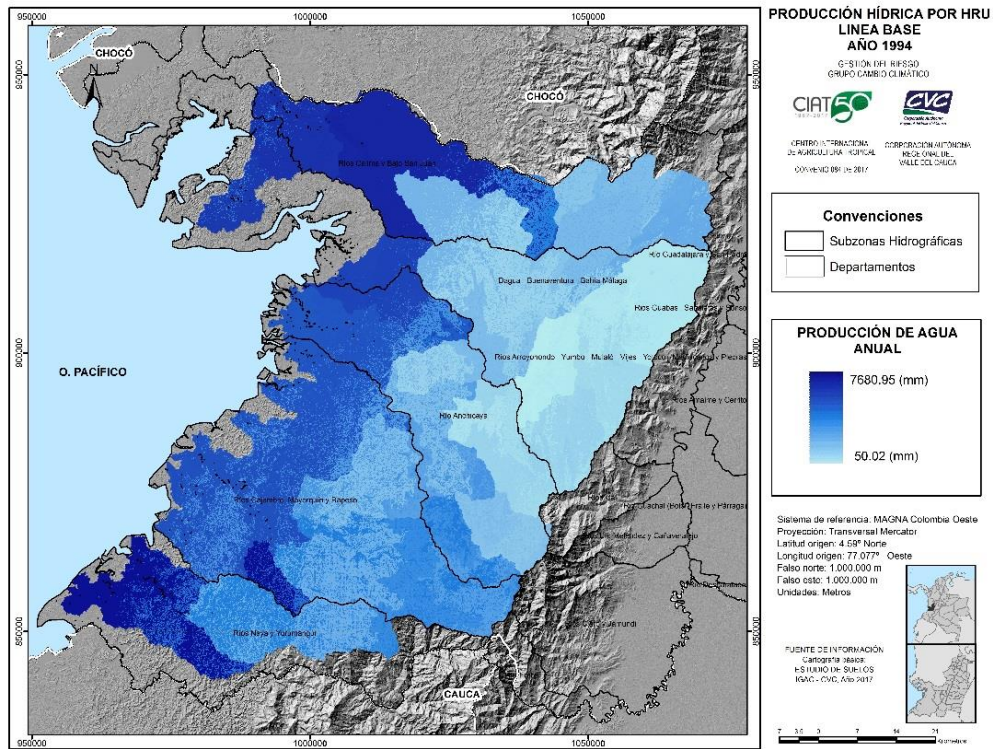


Anexo 2. Anomalía de la temperatura máxima diaria media mensual (°C de variación)
Fuente: Elaboración propia.

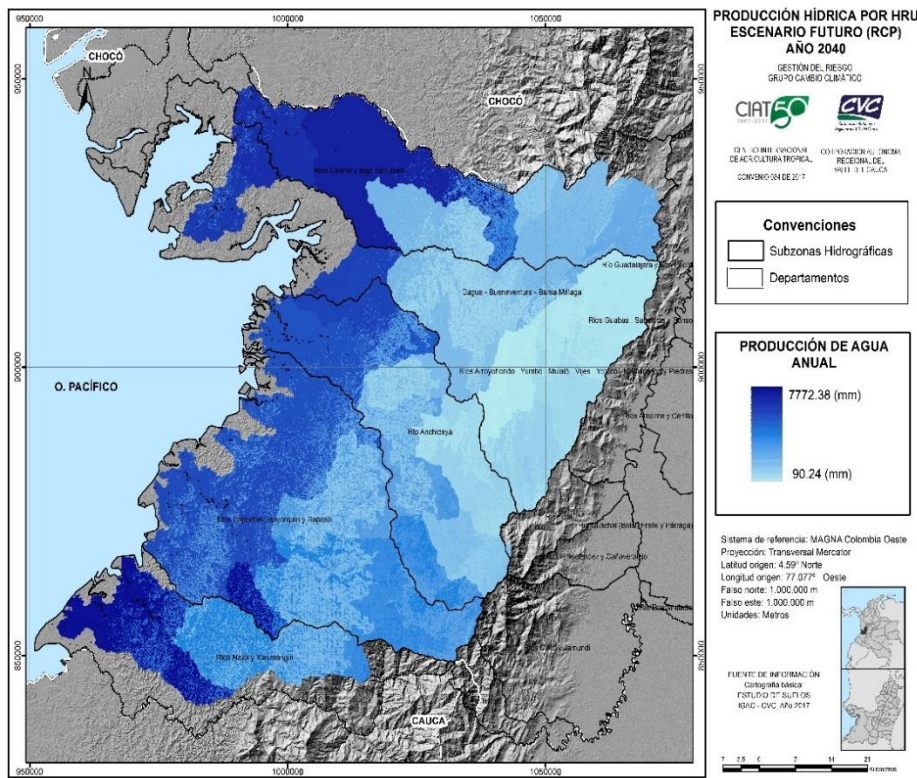


Anexo 3. Anomalía de la temperatura mínima diaria media mensual (°C de variación)

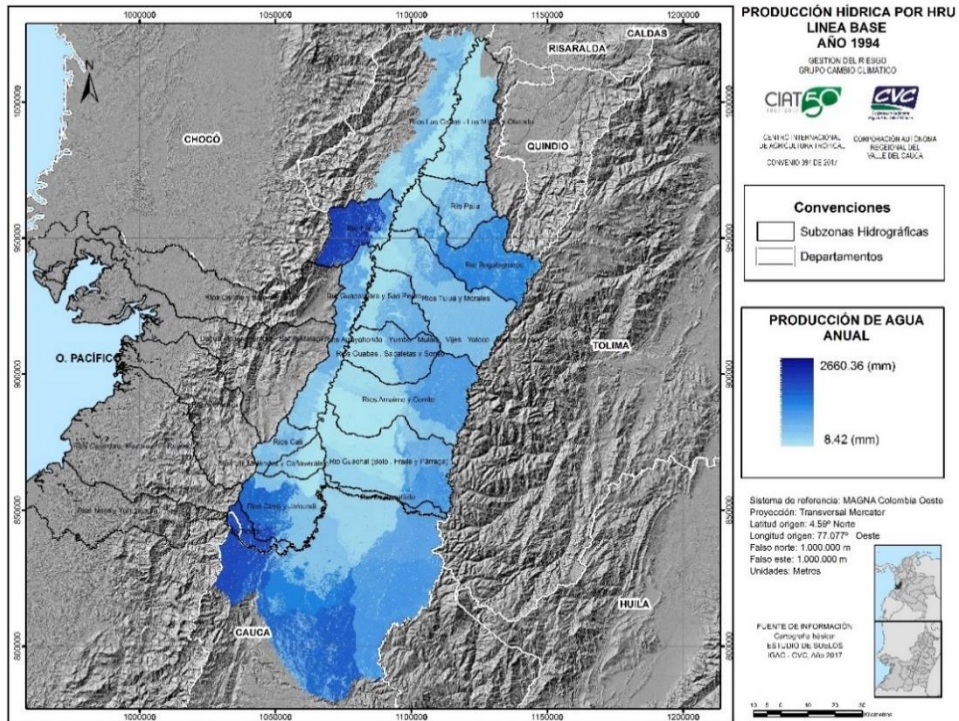
Fuente: Elaboración propia.



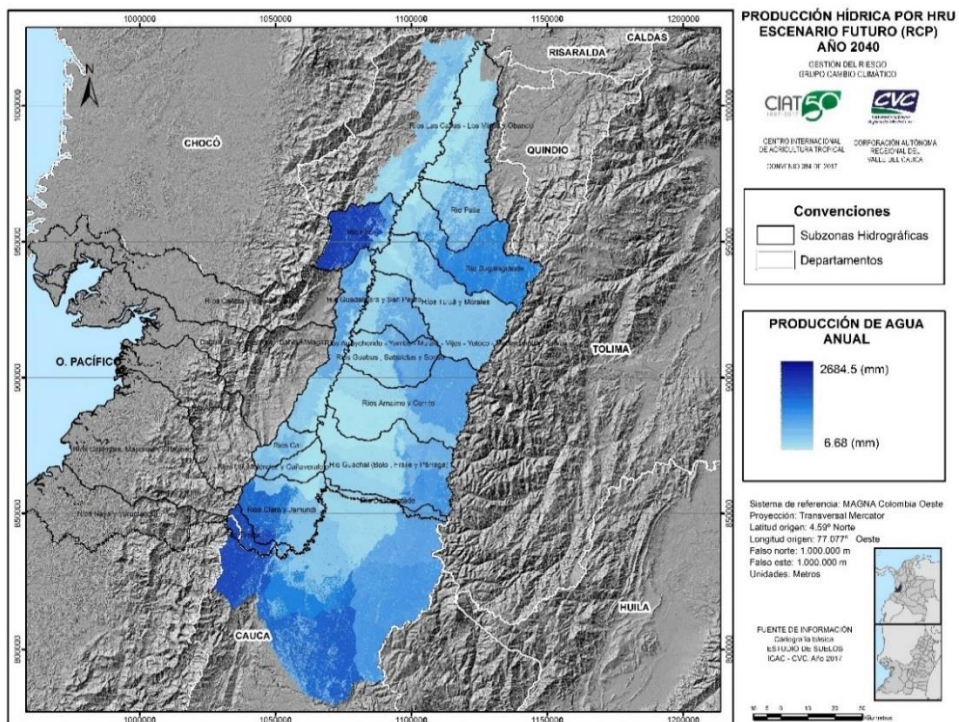
Anexo 4. Producción hídrica anual por HRU del Litoral Pacífico para el escenario actual.



Anexo 5. Producción hídrica anual por HRU del Litoral Pacífico para el escenario de Cambio Climático RCP4.5.



Anexo 6. Producción hídrica anual por HRU de las Cuencas del Río Cauca para el escenario actual.

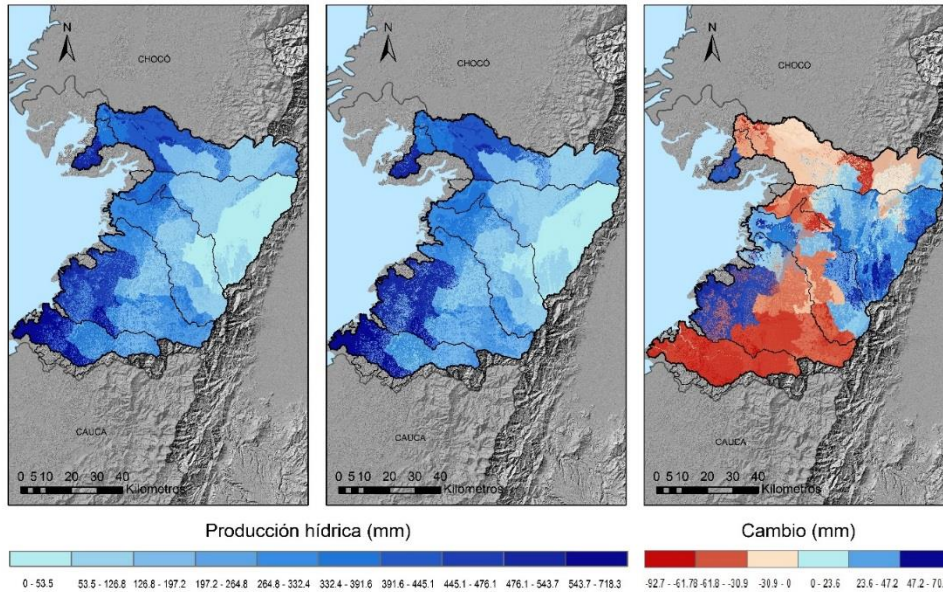


Anexo 7. Producción hídrica anual por HRU de las Cuencas del Río Cauca para el escenario de Cambio Climático RCP4.5.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

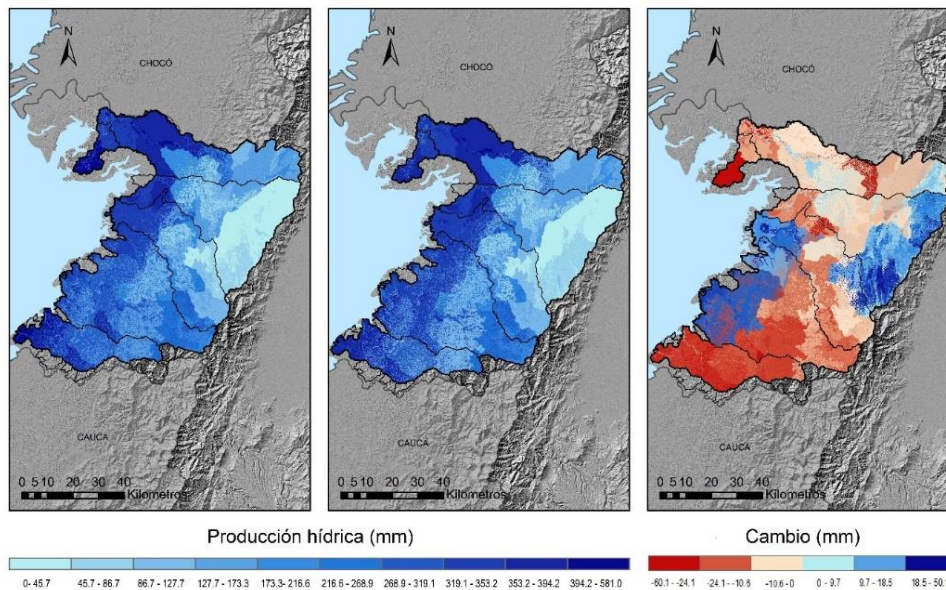


Anexo 8. Producción hídrica del mes de Enero para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

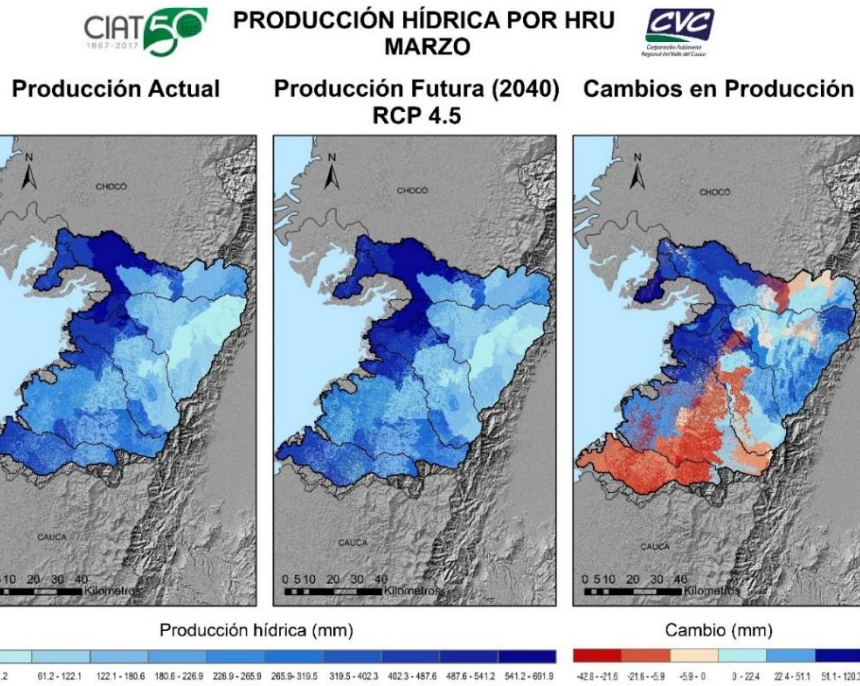
Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

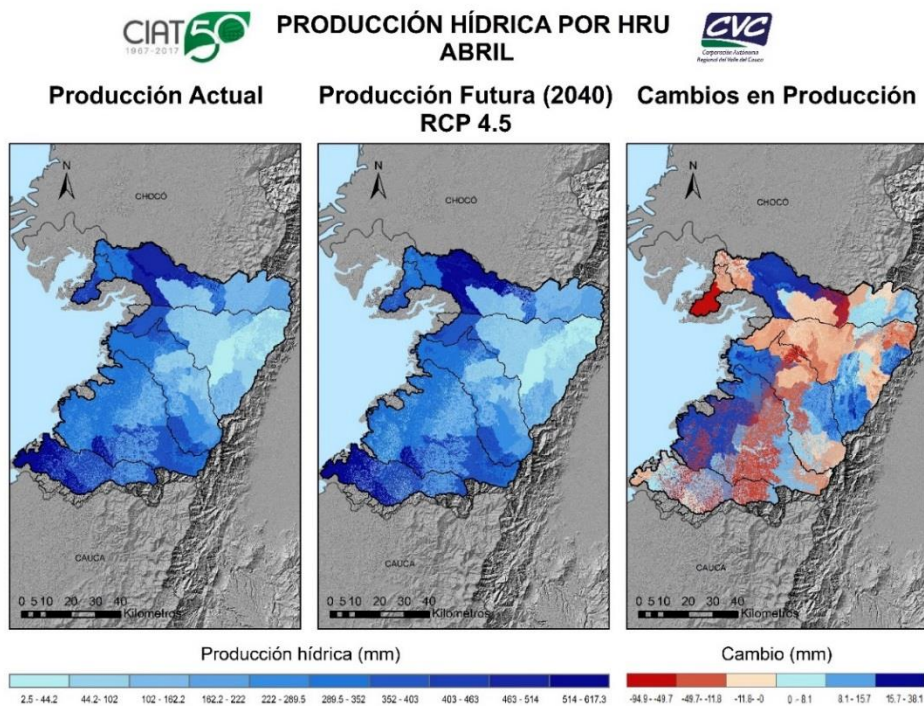
Cambios en Producción



Anexo 9. Producción hídrica del mes de Febrero para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.



Anexo 10. Producción hídrica del mes de Marzo para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

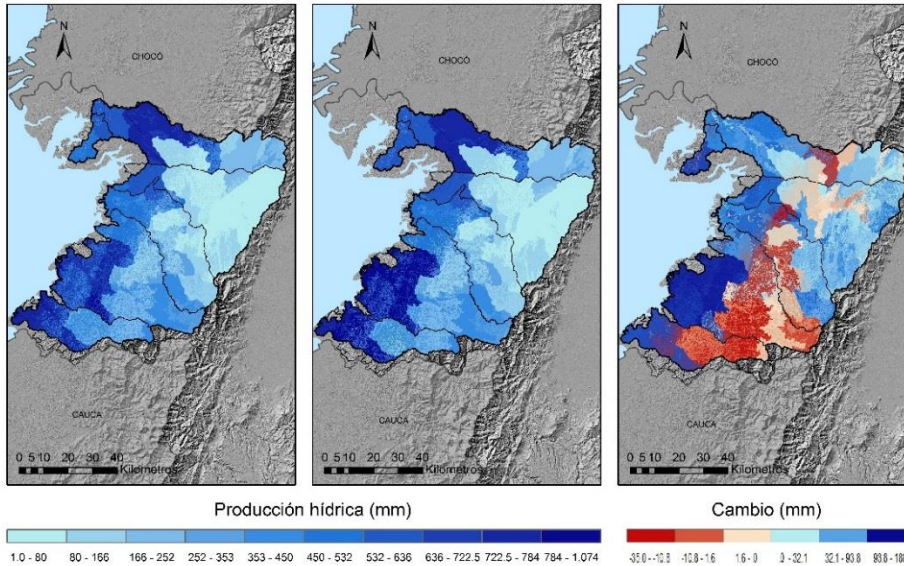


Anexo 11. Producción hídrica del mes de Abril para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

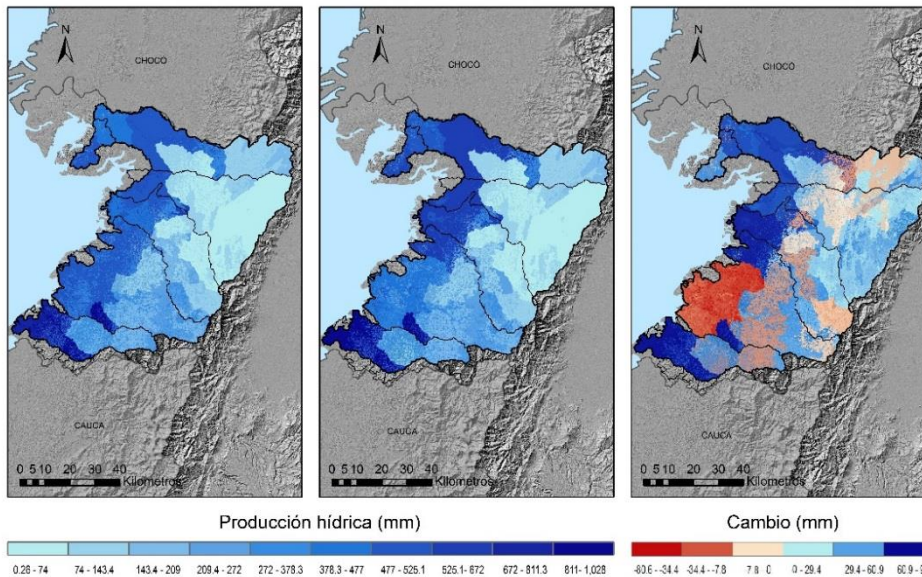


Anexo 12. Producción hídrica del mes de Mayo para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

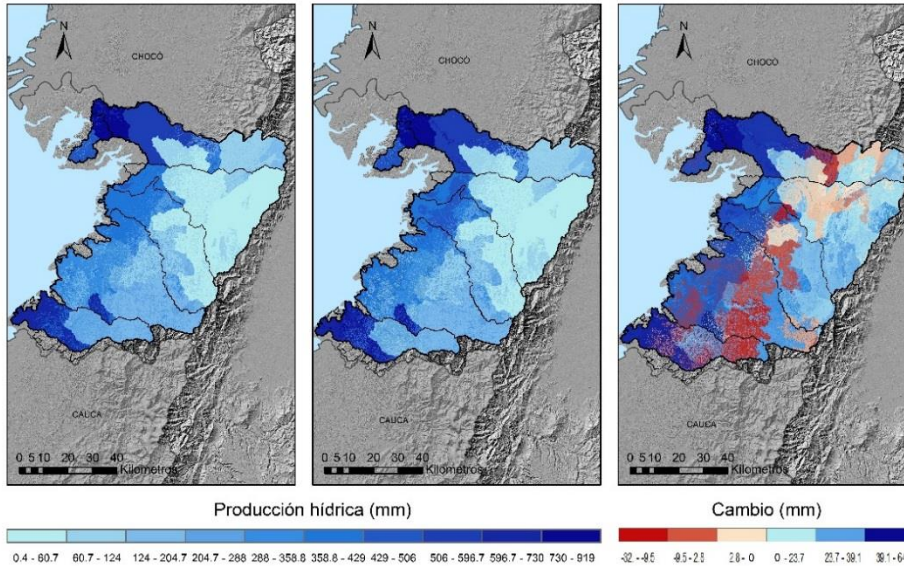


Anexo 13. Producción hídrica del mes de Junio para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

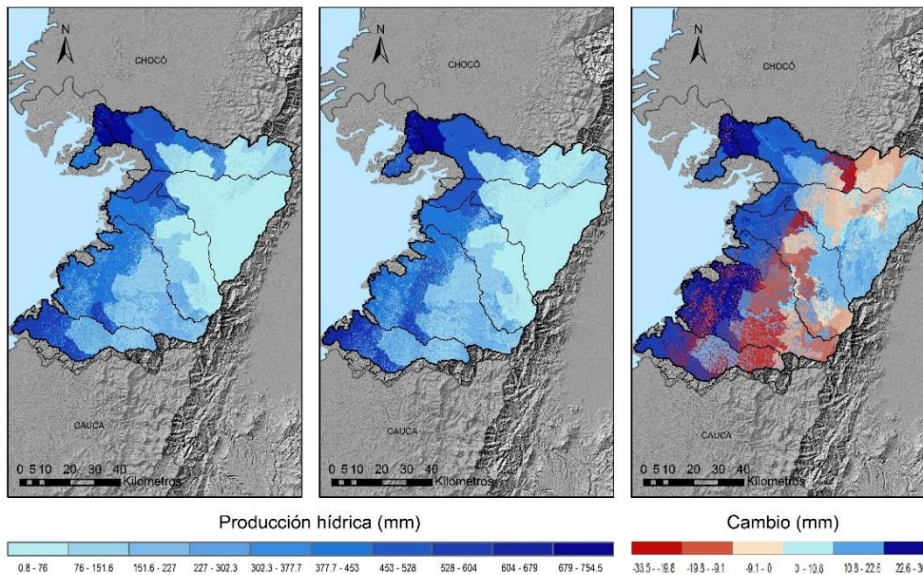


Anexo 14. Producción hídrica del mes de Julio para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

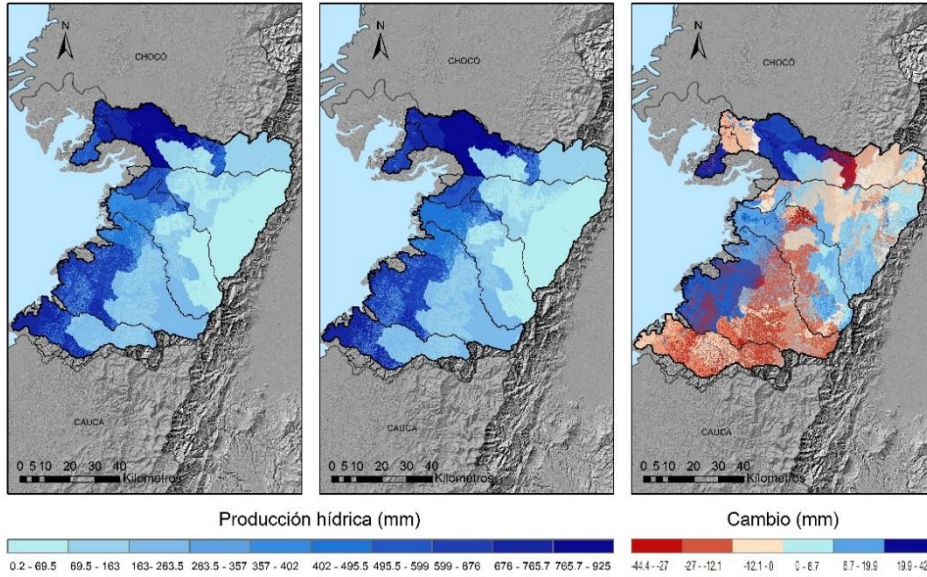


Anexo 15. Producción hídrica del mes de Agosto para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

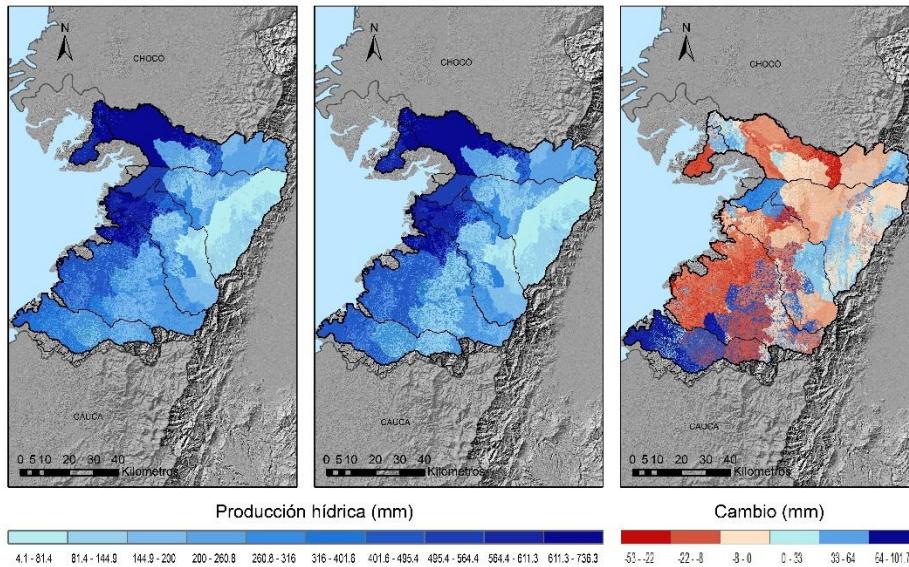


Anexo 16. Producción hídrica del mes de Septiembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

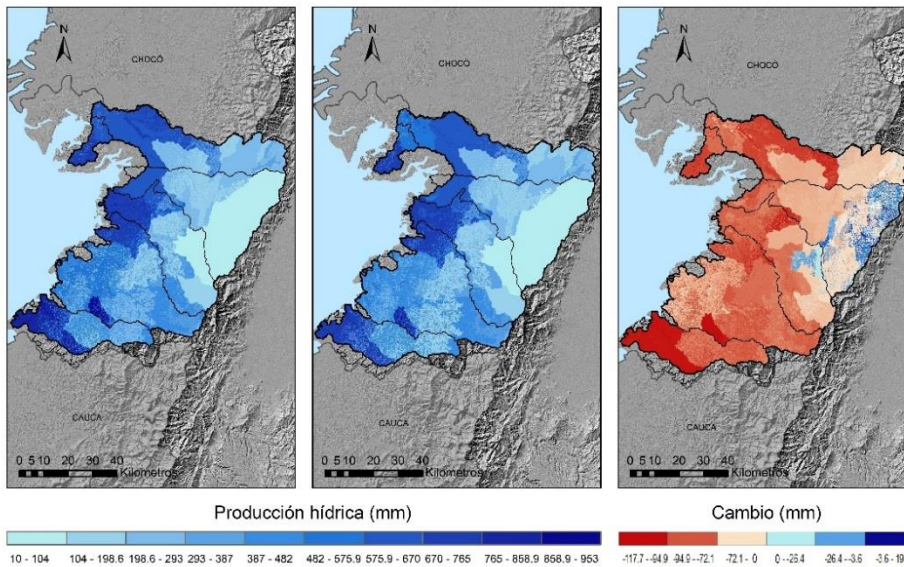


Anexo 17. Producción hídrica del mes de Octubre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

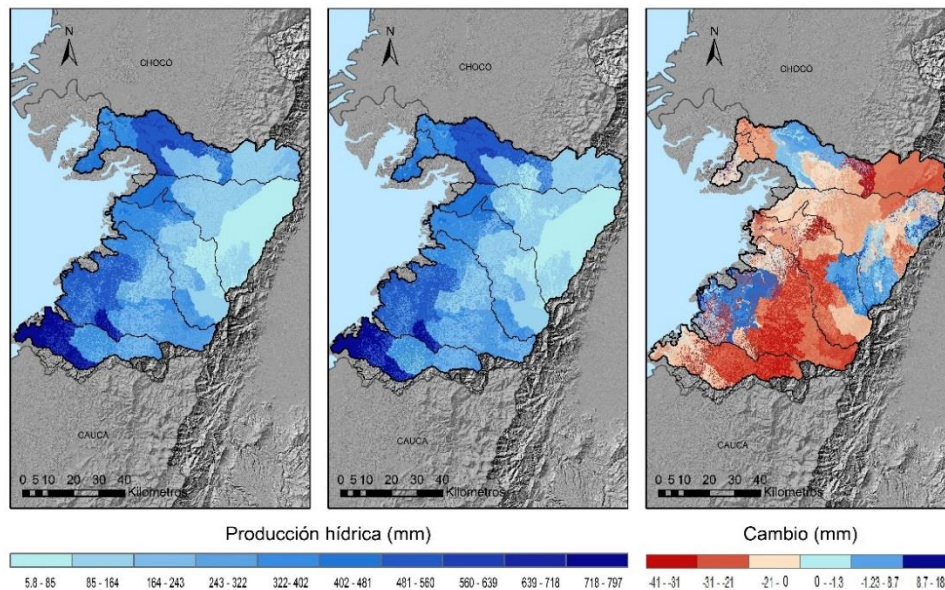


Anexo 18. Producción hídrica del mes de Noviembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

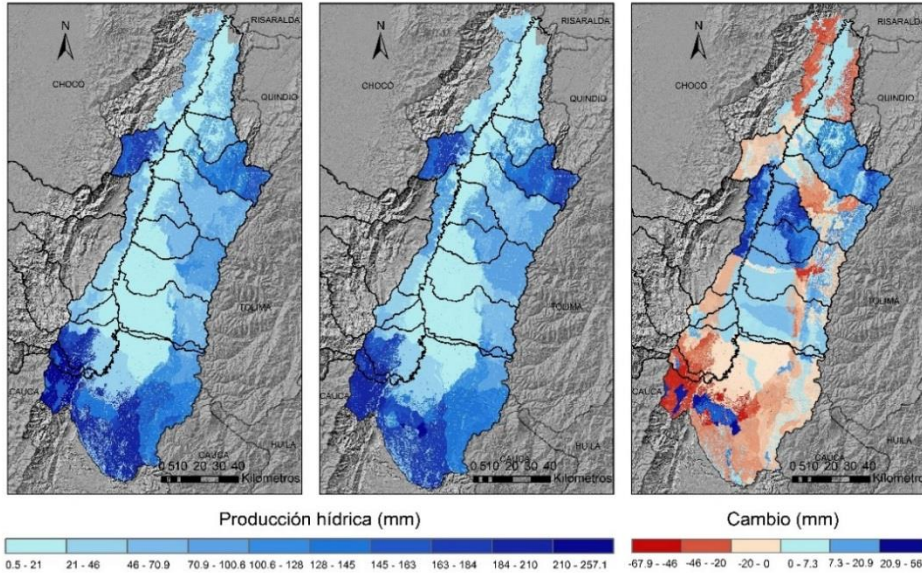


Anexo 19. Producción hídrica del mes de Diciembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

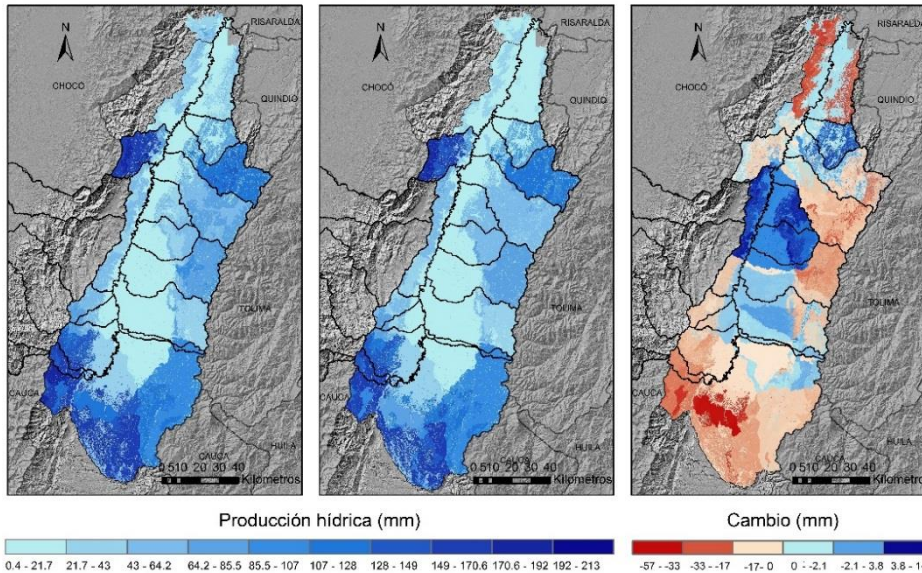


Anexo 20. Producción hídrica del mes de Enero para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

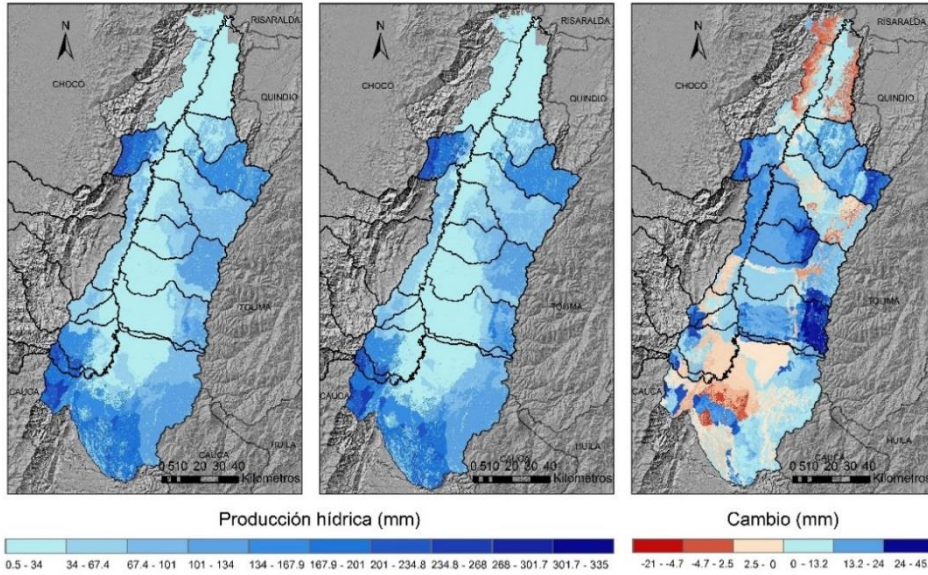


Anexo 21. Producción hídrica del mes de Febrero para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

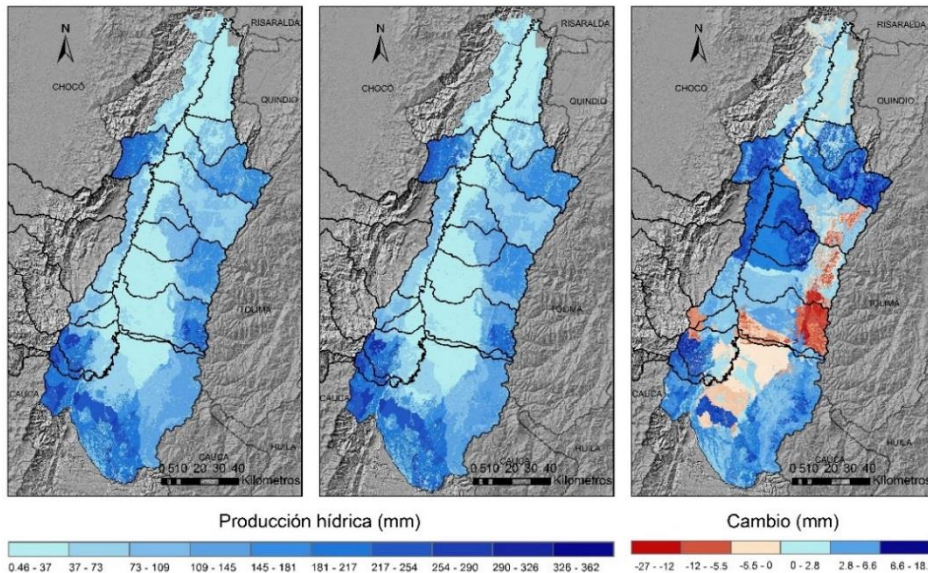


Anexo 22. Producción hídrica del mes de Marzo para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

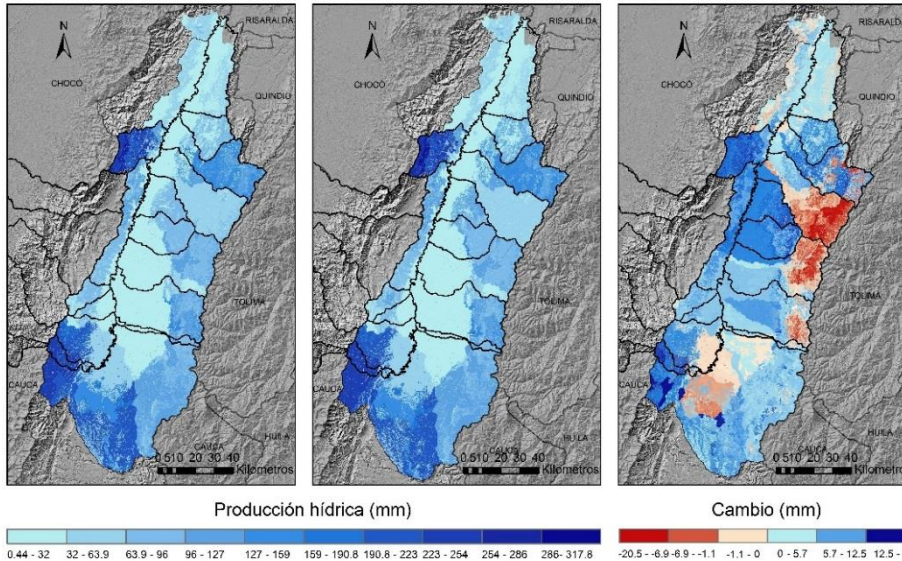


Anexo 23. Producción hídrica del mes de Abril para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

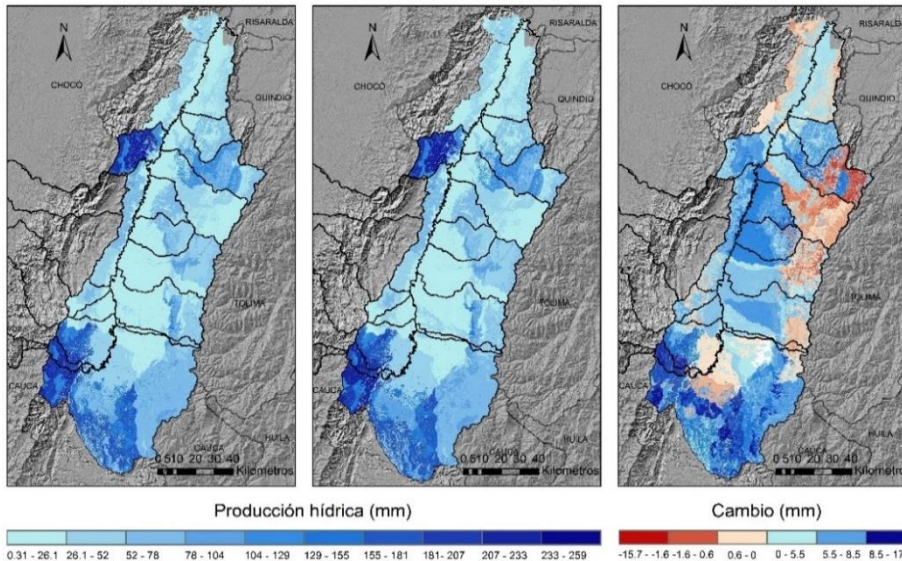


Anexo 24. Producción hídrica del mes de Mayo para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

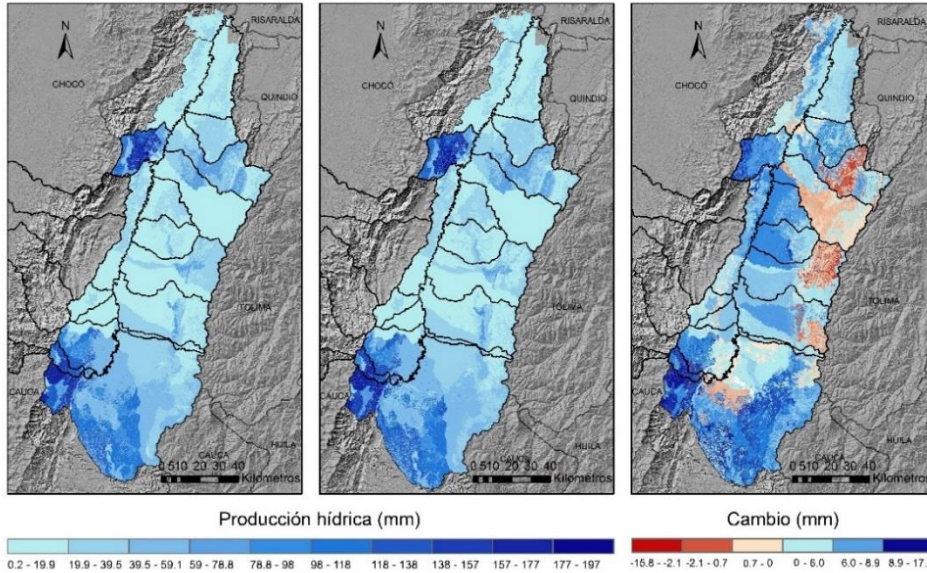


Anexo 25. Producción hídrica del mes de Junio para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

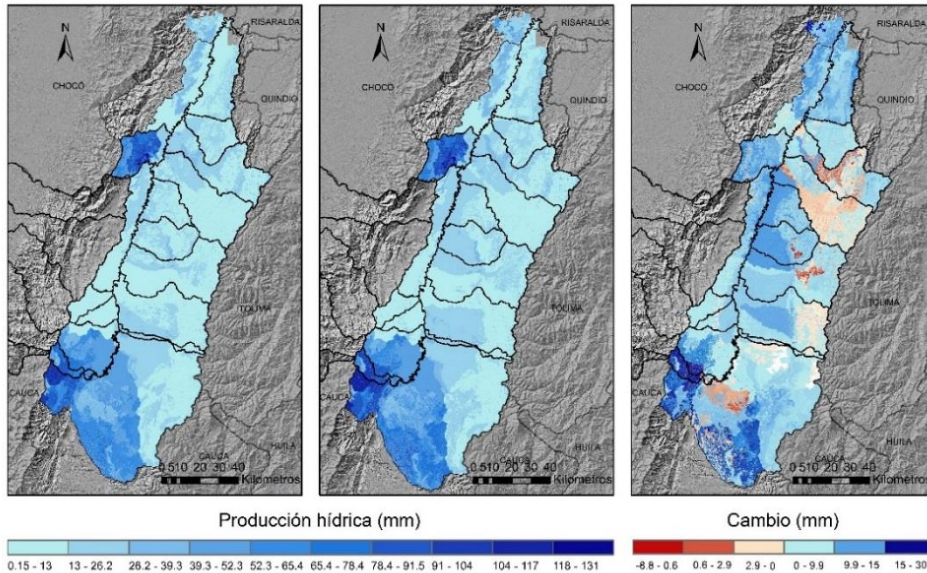


Anexo 26. Producción hídrica del mes de Julio para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

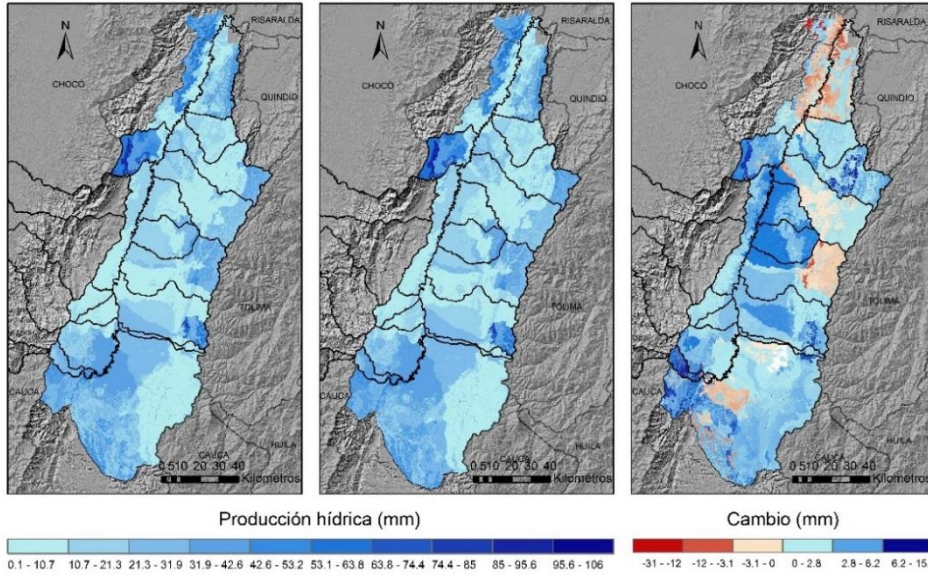


Anexo 27. Producción hídrica del mes de Agosto para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

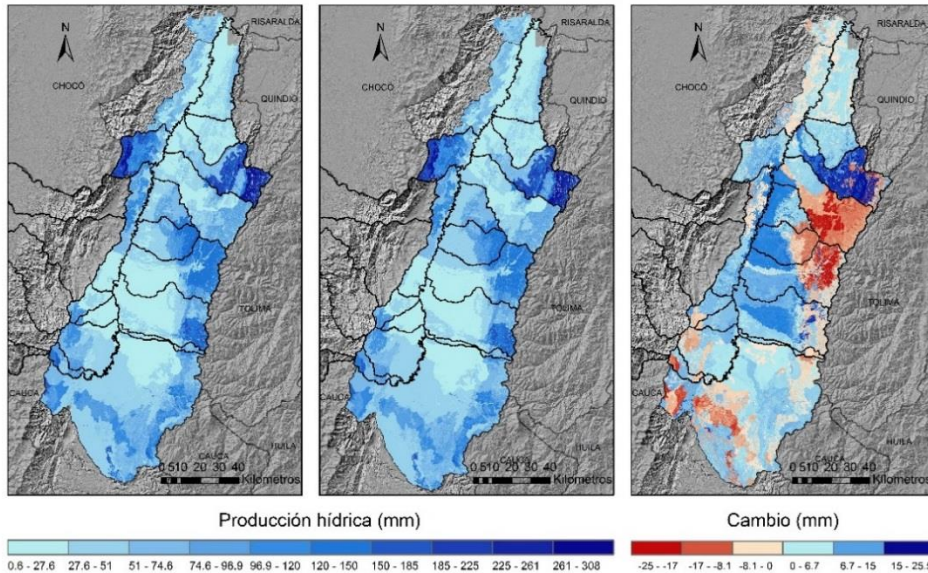


Anexo 28. Producción hídrica del mes de Septiembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

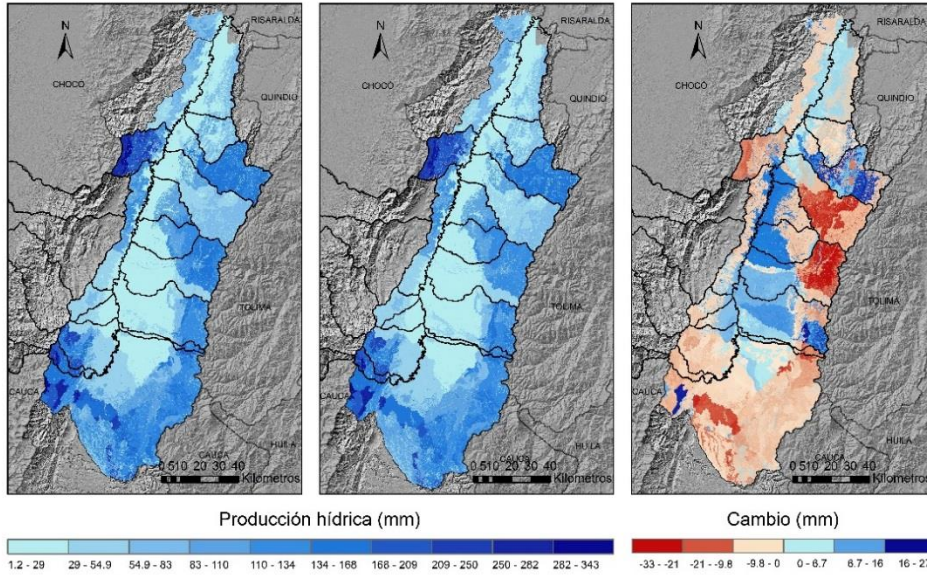


Anexo 29. Producción hídrica del mes de Octubre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción

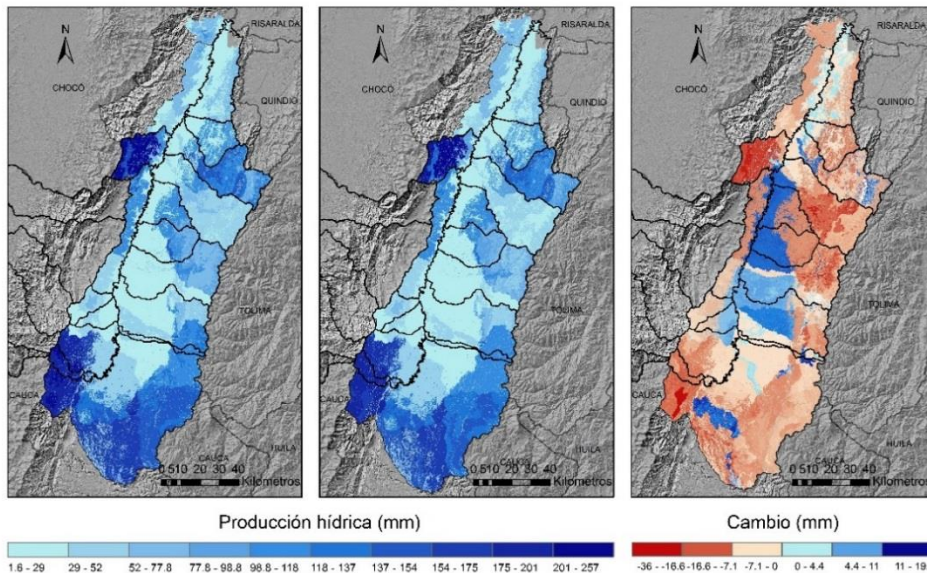


Anexo 30. Producción hídrica del mes de Noviembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.

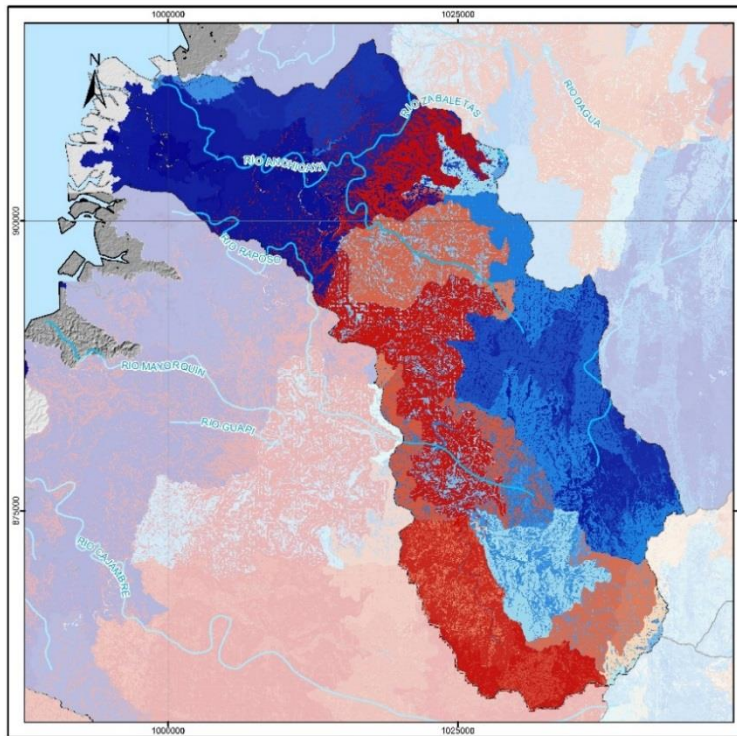
Producción Actual

**Producción Futura (2040)
RCP 4.5**

Cambios en Producción



Anexo 31. Producción hídrica del mes de Diciembre para el escenario actual y futuro, y el cambio según el escenario propuesto.



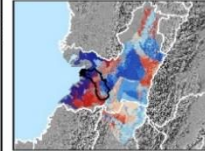
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

Río Anchicaya

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



ESTUDIO DE INFORMACIÓN
DE RIESGO CLIMÁTICO
CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
GOBIERNO DE 2017



CONVENCIONES

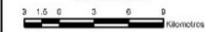
- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

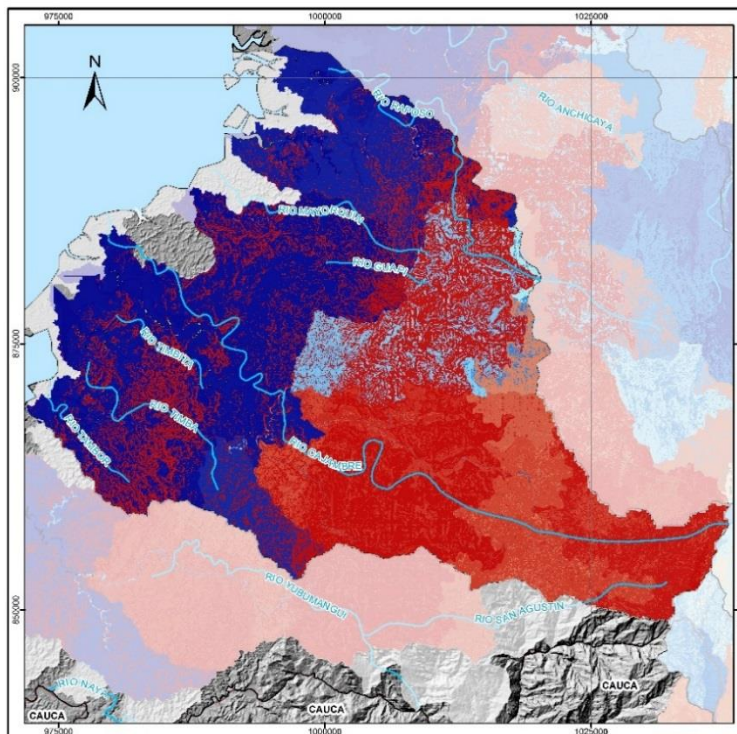


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica
ESTUDIO DE RIESGOS
SIAC - CVC, Año 2017



Anexo 34. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica del río Anchicayá.



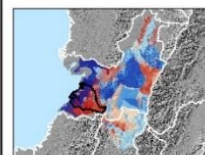
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

Ríos Cajambre, Mayorquin y Raposo

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



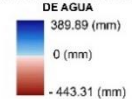
ESTUDIO DE INFORMACIÓN
DE RIESGO CLIMÁTICO
CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA
GOBIERNO DE 2017



CONVENCIONES

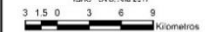
- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

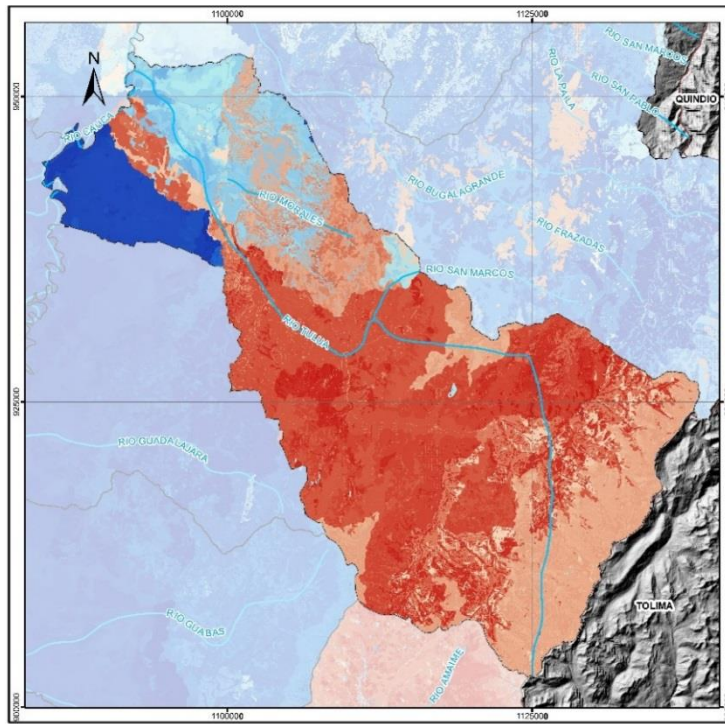


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica
ESTUDIO DE RIESGOS
SIAC - CVC, Año 2017



Anexo 35. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Cajambre, Mayorquin y Raposo.



**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

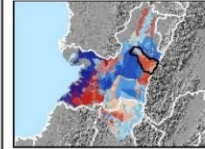
Ríos Tuluá y Morales

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



CENTRO INTERNACIONAL
DE AGRICULTURA TROPICAL
COMVENIO 289 DE 2017

CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL
VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

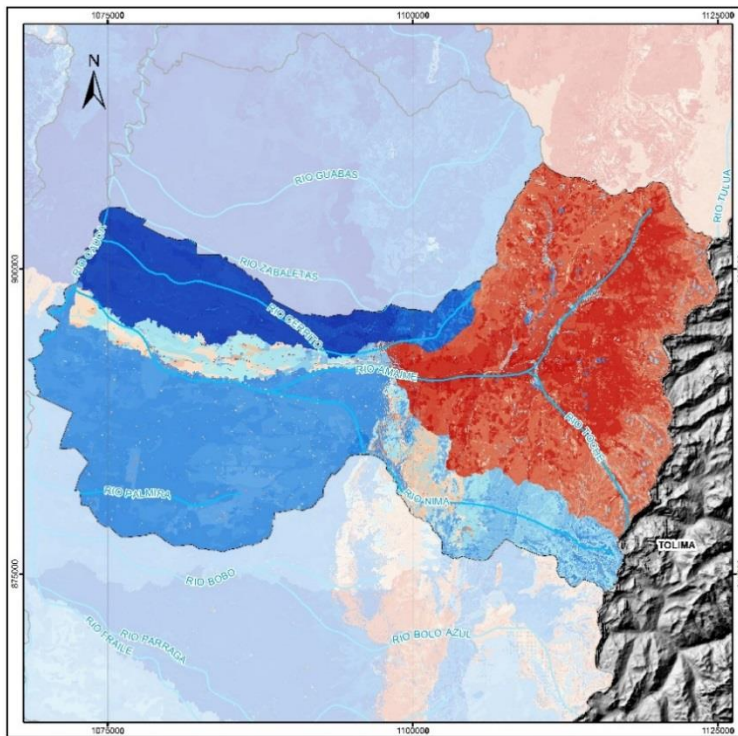


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica
ESTUDIO DE SUELOS
IGAC - CIVC Año 2017



Anexo 38. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Tuluá y Morales.



**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

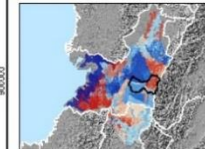
Ríos Amaime y Cerrito

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



CENTRO INTERNACIONAL
DE AGRICULTURA TROPICAL
COMVENIO 289 DE 2017

CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL
VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

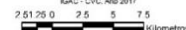
- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

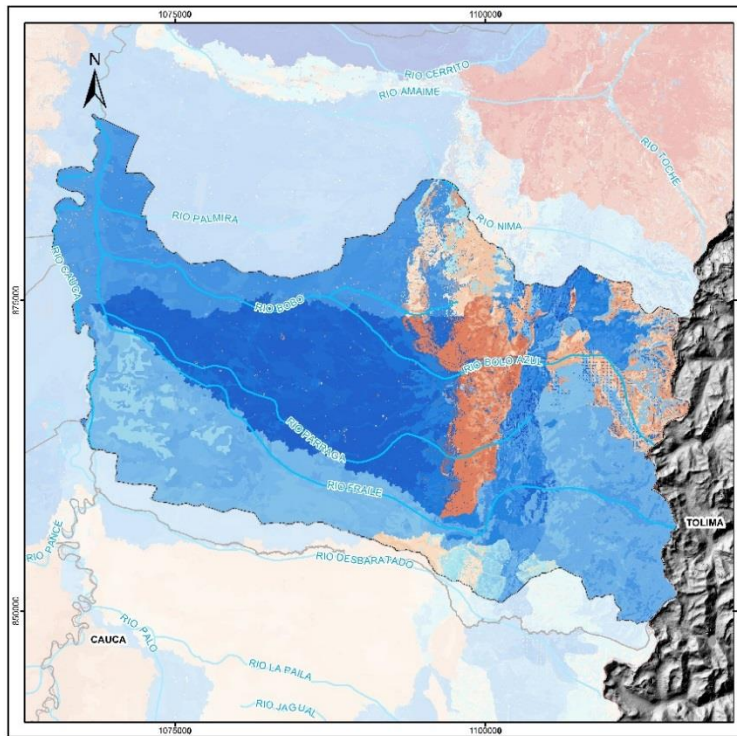


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica
ESTUDIO DE SUELOS
IGAC - CIVC Año 2017



Anexo 39. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Amaime y Cerrito.



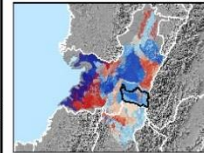
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

Río Guachal (Bolo , Fraile y Paárraga)

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



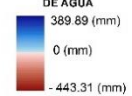
COORDENADAS UTM EN M
X: 696000 Y: 820000
COORDENADAS UTM EN M
X: 696000 Y: 820000



CONVENCIONES

- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

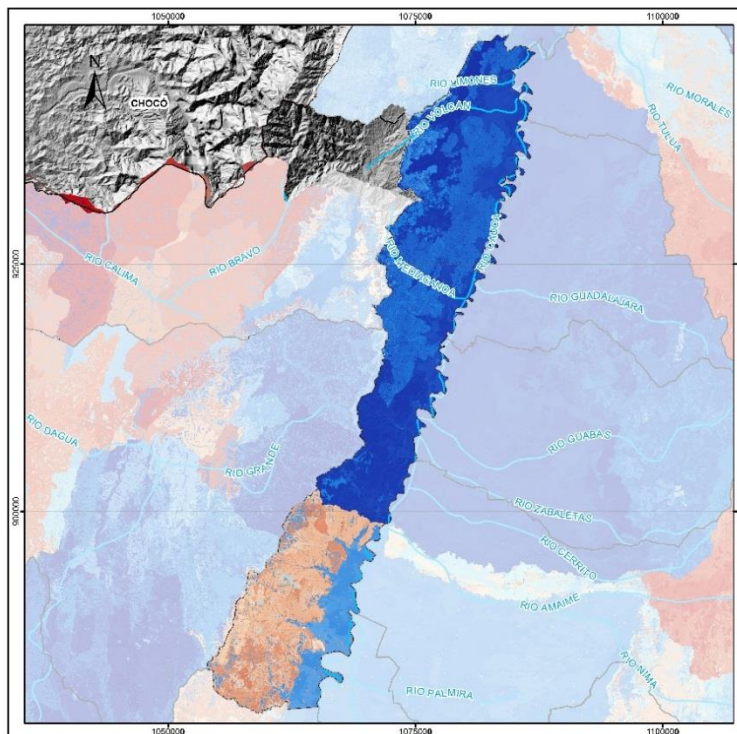


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía: SIBOLCA
ESTUDIO DE SUELOS
IDAC: CVC, AÑO: 2017



Anexo 40. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Guachal, Bolo,Fraile, y Paárraga.



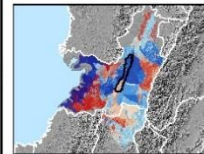
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HIDRICA
POR HRU**

**Ríos Arroyohondo - Yumbo - Mulaló
Vijos - Yotoco - Mediacana y Piedras**

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



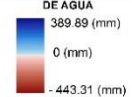
COORDENADAS UTM EN M
X: 696000 Y: 820000
COORDENADAS UTM EN M
X: 696000 Y: 820000



CONVENCIONES

- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

**CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN
DE AGUA**

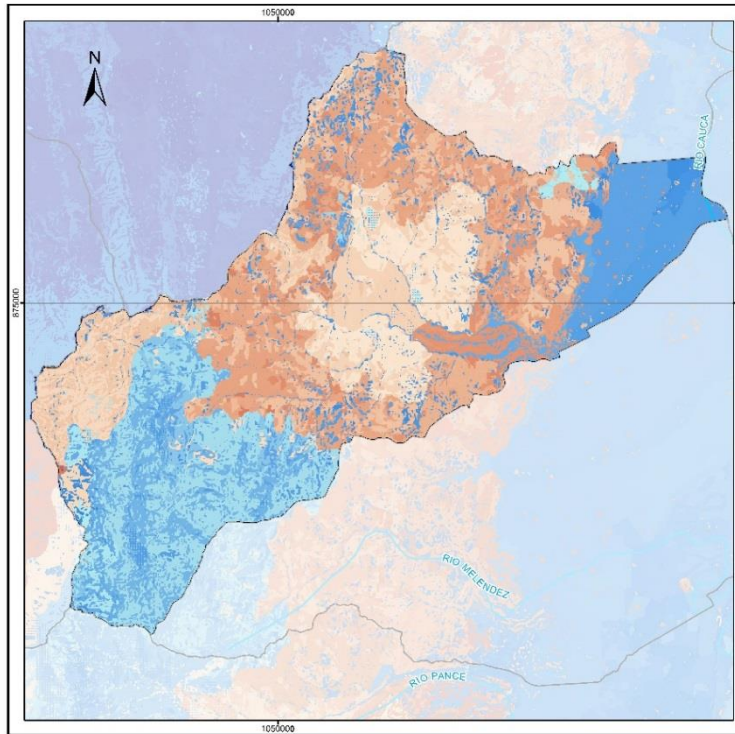


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.59° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía: SIBOLCA
ESTUDIO DE SUELOS
IDAC: CVC, AÑO: 2017



Anexo 41. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Arroyohondo, Yumbo, Mulaló, Vijos, Yotoco, Mediacana y Piedras.



**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HÍDRICA
POR HRU**

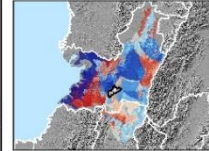
Río Cali

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



SENTRIO INTERNACIONAL DE ACUICULTURA TROPICAL
CORP. V. 960 644 D. 2617

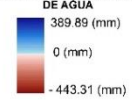
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

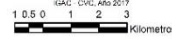
- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA

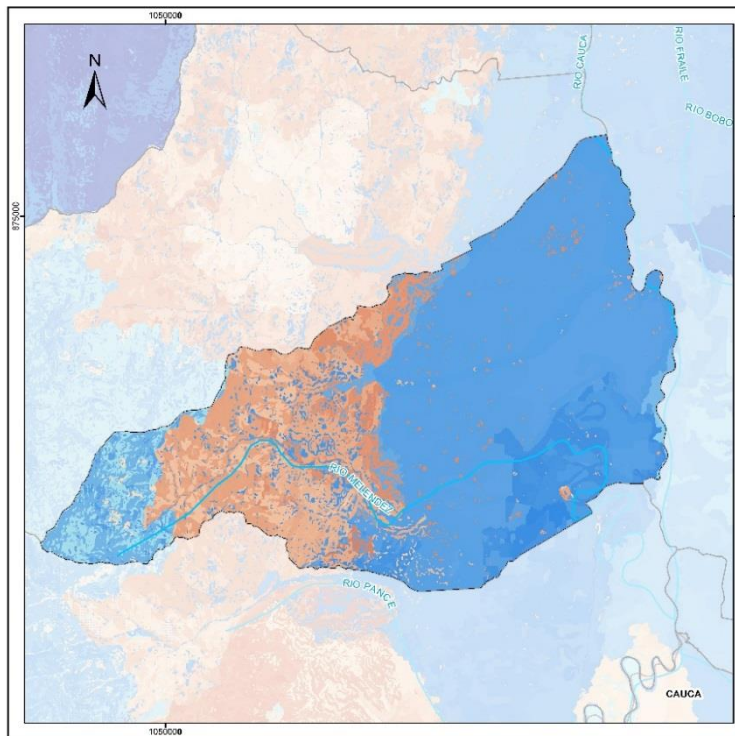


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.55° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica:
ESTUDIO DE SUELOS
CVC - CVC, AÑO 2017



Anexo 42. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica del río Cali.



**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HÍDRICA
POR HRU**

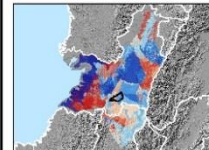
Ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



SENTRIO INTERNACIONAL DE ACUICULTURA TROPICAL
CORP. V. 960 644 D. 2617

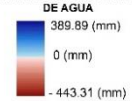
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

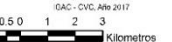
- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA

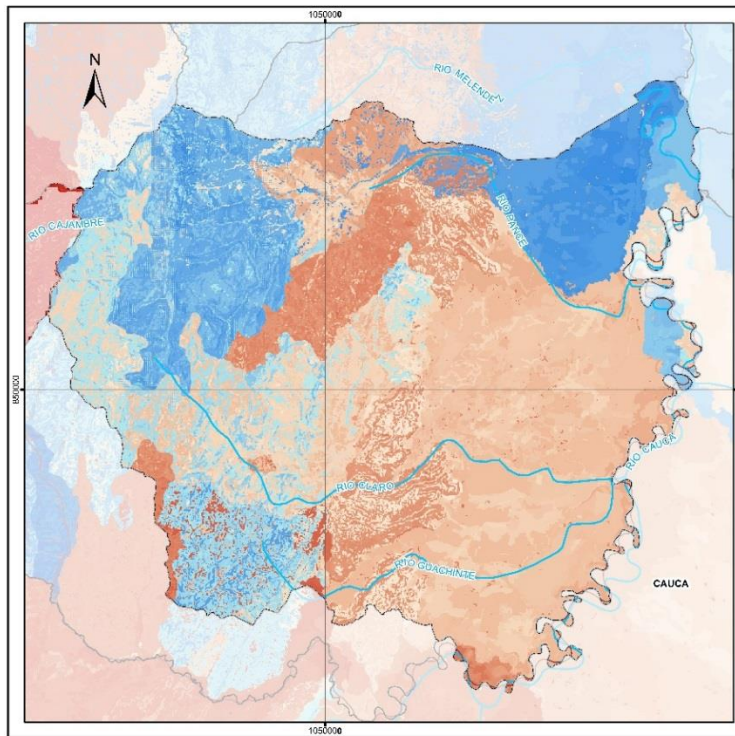


Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4.55° Norte
Longitud origen: 77.077° Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica:
ESTUDIO DE SUELOS
CVC - CVC, AÑO 2017



Anexo 43. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Lili, Meléndez y Cañaveralejo.



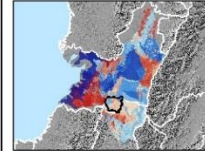
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HÍDRICA
POR HRU**

Ríos Claro y Jamundí

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



CIAT 50: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CONVENIO Nº 212 ZV
CVC: CORPORACIÓN ALTERNATIVA DE REGISTRO, CATASTRO Y VALUACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

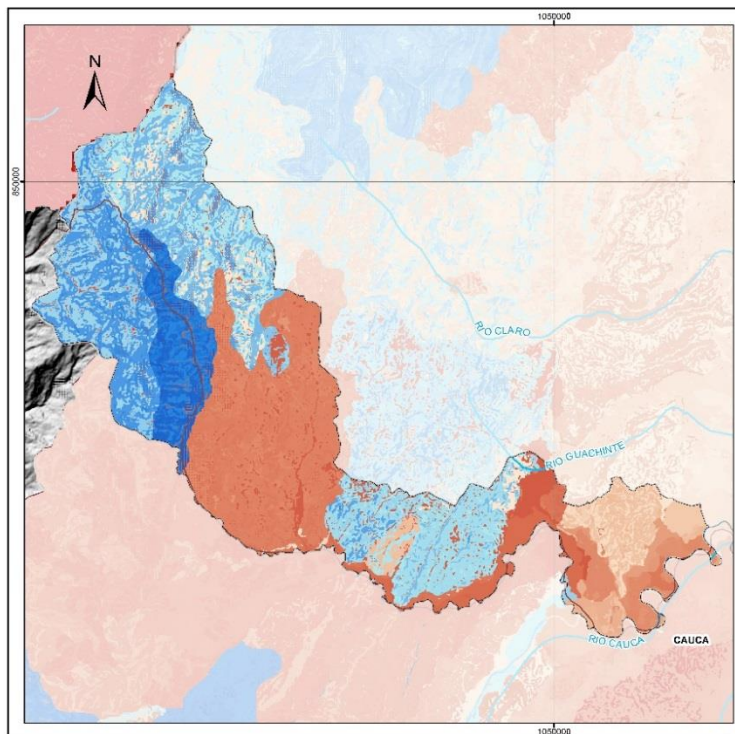
CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA



Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4 59' Norte
Longitud origen: 77 07' Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica:
ESTUDIO DE SUELOS
K04C - CVC, Año 2017
1:50.750 1,5 3 4,5
Kilómetros

Anexo 44. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Claro y Jamundí.



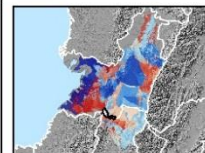
**CAMBIOS EN LA
PRODUCCIÓN HÍDRICA
POR HRU**

Río Timba

GESTIÓN DEL RIESGO
GRUPO CAMBIO CLIMÁTICO



CIAT 50: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, CONVENIO Nº 212 ZV
CVC: CORPORACIÓN ALTERNATIVA DE REGISTRO, CATASTRO Y VALUACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA



CONVENCIONES

- Ríos
- Subzonas Hidrográficas
- Departamentos

CAMBIOS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA



Sistema de referencia: MAGNA Colombia Oeste
Proyección: Transversal Mercator
Latitud origen: 4 59' Norte
Longitud origen: 77 07' Oeste
Falso norte: 1.000.000 m
Falso este: 1.000.000 m
Unidades: Metros

FUENTE DE INFORMACIÓN
Cartografía básica:
ESTUDIO DE SUELOS
K04C - CVC, Año 2017
1:50.750 1,5 3
Kilómetros

Anexo 45. Cambios en la producción hidrica por HRU de la Subzona hidrografica de los ríos Lili, Melendez y Cañaveralejo.

Bibliografía

- Acosta, L., & Vergara, L. (2013). Nw records and distribution modelin of *Gryneorensis* (Sorensen) Support the mesopotamian -Yungas disjunction in subtropical. *Zootaxa*, 143-158.
- Alarcón-Hincapié, J., & Pabón-Caicedo, J. (2013). El cambio climaticoc y la distirbucion espacial de las formaciones vegetales en colombia . *COlombia Forestal*, 16(2), 171-185.
- Anderson, R., Lew, D., & Perterson, A. (2003). Evaluating predictive models of species distributions: Criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* , 211-232.
- Arias, J., Rengifo, T., & Jaramillo, M. (2007). Manual tecnico: Buenas prácticas Agrícolas (BPA), en la producción de frijol voluble.
- Ataroff, M., & Sarmiento, L. (2004). Las unidades ecologicas de los andes de Venezuela En: La Marza, E, Soriano, P. Reptiles de los Andes Venezuela . *Fundación Polar, Codepre-ULA*, 9-26.
- Berberian, G., & Rosanova, M. (2012). Impacto del Cambio Climático en las enfermedades infecciosas. *Arch Argent Pediatr*, 39-45.
- Bucklin , D., Basille, M., Bencoter, A., Brandt, L., Mazzolti, F., Romañach, S., & Spetoperra, C. (2015). Comparing species distribution models constructed with different subsets of enviromental predictors. *Diversity and distributions* , 21:23-35.
- Candelario , G., Rodriguez , A., Muñoz, A., Ibarra, J., Chavéz, C., Mosso, C., . . . Ramirez, A. (2015). Estudio ecológico mixto en México de la distribución de *Aedes aegypti* implicaciones en las politicas públicas. *Revista medica MD*, 13-19.
- CIAT . (2015). Evaluación del cambio climatico en Café y cultivos asociados para las principales regiones cultivadas de las providencias de Orellana y Sucumbios (Ecuador). Cali, Colombia, Valle del Cauca.

- CIAT . (2015). *Evaluación del Cambio Climático en café y cultivos asociados para las principales regiones cultivadas de Nariño (Colombia)*. Cali, Colombia.
- CIAT . (2016). *El frijol en Colombia: Una visión compartida entre la Ciencia y el Campo* . Palmira .
- CIAT . (2016). *Manejo agronómico de Frijol, Cartila 1*. Palmira .
- DANE. (2010). *Encuesta Nacional Agropecuaria -ENA*. Colombia.
- DANE. (2014). *El cultivo del Plátano (Musa paradisiaca), un importante alimento para el mundo* .
- Eitzinger, A., Schamdt, A., Sain, G., Sonder, K., Hicks, P., Nowak, A., & Rodriguez, B. (2013). *Tortillas en el Comal: Los sistemas de maíz y frijol de América Central y el Cambio Climático. Centro internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 1-6.
- Elith, J., Graham, C., Anderson , R., Dudik , M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . Leathwick, A. (2006). *Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data* . *Ecography*, 29:129-151.
- Elith, J., Phillips , S., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). *A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions* , 17, 43 - 57.
- FAO. (2013). *Memoria del cuarto Seminario Regional de Agricultura y Cambio Climático. Santiago de Chile , Chile* .
- Fenalce . (2004). *Sensibilidades del sector cerealista y de leguminosas: Frijol* . Bogota .
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). *WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*.
- Figueroa, J., Stucchi, M., Rojas, R., & Pinto, V. (2016). *Modelign of Andean bear Tremarctos ornatus distribution in the dry forest of Marañon (Perú). Revista Mexicana de Biodiversidad* , Volume 87, Issue 1, 230-238.

- Franco, A. (2001). La globalización de la Salud: entre el reduccionismo económico y solidaridad ciudadana . *Facultad Nacional de Salud Pública*, 43-55.
- Hijmans, R., Cameron , S., Parra, J., Jones, P., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* , Int. J. Climatol, 25: 1965 - 1978.
- ICA. (2012). Manejo fitosanitario del Cultivo de Cítricos: Medidas para la temporada Invernal .
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100, Herramienta para la Toma de Decisiones – Estudio Técnico Completo: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.*
- Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). (2009). *Cambio Climático, El impacto en la agricultura y los costos de adaptación.* Washington, D.C.
- Instituto Nacional de Salud . (2015). Boletín de Epidemiológico Semanal número 52 . *Instituto Nacional de Salud.*
- INTA. (02 de 2013). Tecnologías para cosechar agua . Nicaragua : El morralito del INTA.
- Loboguerrero, A. (2013). Impactos del Cambio y Variabilidad Climática en el Sector Agropecuario Colombiano.
- Lopez, F., Gonzales, A., Velez , A., Gomez, G., Zuleta, I., & Uribe, S. (2016). Presencia de Aedes aegypti y su infección natural con el virus dengue en alturas no registradas para Colombia. *Biomedica*, 36:303-8.
- MADS. (2015). *Plan Nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas.* Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- McCall, P., & Kittyapong, P. (2006). Control of dengue vector: tools and strategies. *Scientific Working Group Report on Dengue*, 110-9.
- MinAgricultura . (2014). Cadena del Plátano.

- Morales, N. S., Fernández, I. C., & Baca-González, V. (2017). MaxEnt's parameter configuration and small samples: are we paying attention to recommendations? A systematic review. *PeerJ*, DOI 10.7717/peerj.3093.
- Padilla, J., Rojas, D., & Gomez, R. (2012). Dengue en Colombia: Epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Bogotá DC. *Guías de impresión Ltda.*
- Pantoja, J. (14 de Marzo de 2012). Zonas ideoneas para los cultivos de Brócoli y Arvejas dulce en el Altiplano de Guatemala bajo escenarios de Cambio Climático. Cali, Valle del Cauca: Universidad del Valle y CIAT.
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras Multipropósito: Opciones para productores del trópico Americano*. Cali, Colombia: CIAT.
- Peterson, A., & Vieglais, D. (2001). Predicting Species Invasions Using Ecological Niche Modeling: New Approaches from bioinformatics Attack a pressing problem. *BioScience*, 363-371.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 161-175.
- Radosavljevic, A., & Anderson, R. (2014). Making better Maxent models of species distributions complexity, overfitting and evaluation. *J Biogeogr*, 41: 629-643.
- Reiter, P. (2001). *Climate change and mosquito-borne disease*. Environmental health perspectives, 109(Suppl 1), 141.
- Romo, H., Snabría, P., & García, E. (2012). Predicción de los impactos del cambio Climático en la distribución del genero *Bolaria* Moore, 1900 en la Peninsula Iberica. *Revista de Lepidopterología*, 1-20.
- Santos, S., Amela, C., Sierra, J., Suarez, B., Sánchez, A., & Simón, F. (2013). *Evaluación del riesgo de introducción del virus de dengue a España*. Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES).



Sarmiento. (2013). *Aportes a la conservación estratégica de los páramos de Colombia: actualización de la cartografía de Iso complejos de páramo a escala 1:100.000*. IAvH.

IAvH.

UNFCCC. (2015). <http://bigpicture.unfccc.int/>. Obtenido de <http://bigpicture.unfccc.int/>:
<http://bit.ly/2psBbPr>

Universitaria Lasallista . (2012). *Cítricos: Cultivo, Poscosecha e industrialización* .

Yates, D., Kittel, G., & Figges Cannon, R. (2000). Comparing the Correlative Holdridge Model to Mechanistic Biogeographical Models for Assessing Vegetation Distribution Response to Climate Change. *Climate Change*, 44(1-2), 59-87.