



**Evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura y del recurso hídrico en los Andes de Colombia, Ecuador y Perú**

**Centro Internacional de Agricultura Tropical**

**Informe Final**

**Palmira, Colombia: Marzo de 2014**

## Tabla de Contenido

1	Capítulo 1 Generalidades del estudio.....	7
1.1	Delimitación de la zona de estudio .....	7
1.2	Descripción general de la zona de estudio .....	8
1.3	Contexto de vulnerabilidad climática .....	9
2	Capítulo 2: Exposición .....	14
2.1	Metodología exposición .....	14
2.2	Resultados Exposición .....	15
3	Capítulo 3. Sensibilidad agrícola .....	24
3.1	Metodología para determinar la sensibilidad agrícola .....	25
3.2	Resultados sensibilidad agrícola .....	27
4	Capítulo 4. Sensibilidad del recurso hídrico .....	64
4.1	Metodología del análisis de la sensibilidad del recurso hídrico .....	64
4.2	Resultados del análisis de la sensibilidad del recurso hídrico .....	64
5	Capítulo 5. Sensibilidad Social .....	87
6	Capítulo 6. Capacidad de adaptación .....	94
7	Capítulo 8. Servicios ecosistémicos.....	109
8	Capítulo 7. Análisis de vulnerabilidad.....	111
9	Capítulo 9. Medidas de adaptación.....	125
10	Bibliografía.....	134
11	Anexos.....	136
11.1	Anexo 1 Parámetros empleados en las corridas de Ecocrop .....	136
11.2	Anexo 2 Mapas de aptitud climática actual, a 2030 y a 2050.....	140
11.3	Anexo 3 Proceso metodológico del modelo hidrológico SWAT .....	141

## Lista de Figuras

Figura 1. Zona de estudio del proyecto PNUMA- CIAT, límite basado en la definición de la CAN .....	7
Figura 2. actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Colombia, por Cardona A. (2009).....	12
Figura 3. Actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Ecuador	12
Figura 4. Actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Perú.....	13
Figura 5. Anomalías de precipitación total anual para el periodo 2050s para 19 GCM IPCC-CMIP3 SRES A2, con corte de la región Andina.....	18
Figura 6. Anomalías de temperatura media anual para el periodo 2050s para 19 GCM IPCC-CMIP3 SRES A2, con corte de la región Andina.....	19
Figura 7. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes departamentos de la región andina de Colombia .....	20
Figura 8. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes provincias de la región andina de Ecuador .....	20
Figura 9. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes provincias de la región andina de Perú .....	21
Figura 10. Promedio de las anomalías de precipitación total anual a 2030s y 2050s (con corte de la región Andina).....	22
Figura 11. Promedio de las anomalías de temperatura media anual a 2030s y 2050s (con corte de la región Andina).....	23
Figura 12. Anomalías mensuales precipitación a 2050 para los tres países y con corte de la región Andina .....	24
Figura 13. Anomalías mensuales temperatura media a 2050 para los tres países y con corte de la región Andina .....	24
Figura 14. Cambios en aptitud climática del cultivo de aguacate hass para los escenarios 2030 y 2050 ..	28
Figura 15. Cambios en aptitud climática del cultivo de aguacate lorena para los escenarios 2030 y 2050 .....	28
Figura 16. Cambios en aptitud climática del cultivo de la arveja para los escenarios 2030 y 2050 .....	29
Figura 17. Cambios en aptitud climática del cultivo de cacao para los escenarios 2030 y 2050 .....	30
Figura 18. Cambios en aptitud climática del cultivo de café para los escenarios 2030 y 2050 .....	31
Figura 19. Cambios en aptitud climática del cultivo de caña de azúcar para los escenarios 2030 y 2050 ..	32
Figura 20. Cambios en aptitud climática del cultivo de caña panelera para los escenarios 2030 y 2050 ..	32
Figura 21. Cambios en aptitud climática de los cultivos de cítricos para los escenarios 2030 y 2050 .....	33
Figura 22. Cambios en aptitud climática del cultivo de Fríjol andino para los escenarios 2030 y 2050.....	34
Figura 23. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz tecnificado para los escenarios 2030 y 2050 .....	34
Figura 24. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz tradicional para los escenarios 2030 y 2050	35
Figura 25. Cambios en aptitud climática del cultivo de mango para los escenarios 2030 y 2050.....	36
Figura 26. Cambios en aptitud climática del cultivo de papa para los escenarios 2030 y 2050.....	37
Figura 27. Cambios en aptitud climática del cultivo de plátano para los escenarios 2030 y 2050 .....	38

Figura 28. Cambios en aptitud climática del cultivo de tomate de árbol para los escenarios 2030 y 2050 .....	38
Figura 29. Cambios en aptitud climática del cultivo de tomate chonto para los escenarios 2030 y 2050.	39
Figura 30. Cambios en aptitud climática del cultivo de yuca para los escenarios 2030 y 2050 .....	40
Figura 31. Cambios en aptitud climática del cultivo de arveja para los escenarios 2030 y 2050.....	42
Figura 32. Cambios en aptitud climática del cultivo de cacao para los escenarios 2030 y 2050 .....	43
Figura 33. Cambios en aptitud climática del cultivo de café para los escenarios 2030 y 2050 .....	44
Figura 34. Cambios en aptitud climática del cultivo de cebada para los escenarios 2030 y 2050 .....	45
Figura 35. Cambios en aptitud climática del cultivo de frijol para los escenarios 2030 y 2050 .....	46
Figura 36. Cambios en aptitud climática del cultivo de haba para los escenarios 2030 y 2050.....	47
Figura 37. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz para los escenarios 2030 y 2050 .....	47
Figura 38. Cambios en aptitud climática del cultivo de naranja para los escenarios 2030 y 2050.....	48
Figura 39. Cambios en aptitud climática del cultivo de la papa para los escenarios 2030 y 2050 .....	49
Figura 40. Cambios en aptitud climática del cultivo de plátano para los escenarios 2030 y 2050 .....	50
Figura 41. Cambios en aptitud climática del cultivo de trigo para los escenarios 2030 y 2050 .....	50
Figura 42. Cambios en aptitud climática del cultivo de yuca para los escenarios 2030 y 2050 .....	51
Figura 43. Cambios en aptitud climática del cultivo de arveja para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	53
Figura 44. Cambios en aptitud climática del cultivo de Cacao para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	54
Figura 46. Cambios en aptitud climática del cultivo de cañihua para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	55
Figura 47. Cambios en aptitud climática del cultivo de Frijol para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	56
Figura 48. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz para los escenarios 2030 y 2050 en la región de Perú.....	57
Figura 49. Cambios en aptitud climática del cultivo de la naranja para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	58
Figura 50. Cambios en aptitud climática del cultivo de la palta hass para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	59
Figura 53. Cambios en aptitud climática del cultivo de quinua para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.....	62
Figura 55. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Coello.....	65
Figura 56. Mapa de los requerimientos hídricos anuales de los cultivos en la cuenca en la línea base y cambios a 2030 y 2050 en la cuenca del Río Coello .....	66
Figura 57. Comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal a nivel mensual para las condiciones de la línea base, 2030 y 2050 en la cuenca del Río Coello .....	67
Figura 58. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Neiva.....	68
Figura 59. Mapa de los requerimientos hídricos anuales de los cultivos en la cuenca en la línea base y cambios a 2030 y 2050 en la cuenca del Río Neiva .....	69

Figura 63. Comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal a nivel mensual para las condiciones de la línea base, 2030 y 2050 en la cuenca del Alto Magdalena.....	72
Figura 64. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Tarazá. ....	73
Figura 65. Comparación entre la evapotranspiración de los cultivos (ETc) y la precipitación mensual en la cuenca del río Tarazá .....	74
Figura 66. Comparación entre los aportes de agua al caudal y los cambios en estos aportes en 2030 y 2050 para la cuenca del Río Tarazá.....	75
Figura 67. Producción de Agua Anual por cada URH en el escenario actual (línea base) – Cuenca Río Quijos .....	76
Figura 68. Caudal (m3/s) para las condiciones de línea base y posibles condiciones de clima futuro en la cuenca del Río Quijos.....	76
Figura 69. Impacto posible del cambio climático dentro de la cuenca del Río Quijos. ....	77
Figura 73. Aporte de agua por URH al caudal del río.....	80
Figura 74. Impacto posible del cambio climático dentro de la cuenca del Río Cañete. ....	80
Figura 75 Caudal para las condiciones de línea base y posibles condiciones de clima futuro – cuenca Río Cañete .....	81
Figura 76. Valores de precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base de la cuenca .....	82
Figura 77 Valores de precipitación y demanda evapotranspirativa de la línea base y los escenarios 2030 y 2050 .....	82
Figura 78 Cambios en los requerimientos hídricos de los cultivos para los escenarios 2030 y 2050 .....	83
Figura 79. Comparación de los Requerimientos de riego a nivel mensual para la cuenca de Ilo-Moquegua .....	83
Figura 80 Niveles de precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base de la cuenca.....	82
Figura 81 Precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base y para los escenarios 2030 y 2050 .....	84
Figura 83 Requerimientos de agua dentro de la cuenca para la línea base, escenario 2030 y escenario 2050 .....	86
Figura 84. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de seguridad alimentaria (autoconsumo) en las regiones más pobres de la región Andina de Colombia. ....	88
Figura 85. Impacto del cambio climático sobre los cultivos que generan ingresos a productores de agricultura familiar en las regiones más pobres de la región Andina de Colombia. ....	89
Figura 86. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de importancia en seguridad alimentaria para la agricultura familiar en las regiones más pobres de la región Andina de Ecuador .....	90
Figura 87. Impacto del CC., sobre los cultivos de importancia económica para los productores de bajos ingresos en las regiones más pobres de la región Andina de Ecuador.....	91
Figura 88. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de autoconsumo de la población pobre en las regiones más pobres de la región Andina de Perú. ....	92
Figura 89. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de importancia económica para los productores de bajos ingresos económicos en las regiones más pobres de la región Andina de Perú .....	93
Figura 90 Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Colombia: ICV, PMD, NBI Rural, y Educación y capital humano.....	98

Figura 91. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Colombia: Superficie en bosque natural, estados de las vías, títulos mineros otorgados y capacidad de ahorro.....	99
Figura 92. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Colombia: crédito agropecuario, conflicto por uso del suelo e IENDOG.....	100
Figura 93. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Porcentaje de área cultivada, Escolaridad rural, Migración, NBI.....	103
Figura 94. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Densidad poblacional, estado de las vías, población asalariada por trabajo agrícola y población ocupada.....	104
Figura 95. Mapa de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Tasa de analfabetismo rural .....	105
Figura 96. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Perú: IDH, Pobreza total, Número de pobres, Tasa de Alfabetismo.....	107
Figura 97. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Perú: Ingreso familiar per capita, Índice de escolaridad, Área sembrada por superficie.....	108
Figura 98. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de Aguacate y arveja.....	111
Figura 99. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de café, mango, cítricos y Plátano.....	112
Figura 100. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de frijón, maíz tradicional, tomate de árbol y papa.....	113
Figura 101. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel municipal.....	114
Figura 102. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel cantonal para Ecuador para los cultivos de arveja, cebada, frejol (frijol) y haba.....	115
Figura 103. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel cantonal para Ecuador para los cultivos de maíz, papa y trigo.....	118
Figura 104. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel cantonal para Ecuador.....	119
Figura 105. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel distrital para Perú para los cultivos de arveja, café, maíz y frijón.....	122
Figura 106. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel distrital para Perú. ....	123

## Introducción

El proyecto Portal Regional para la Transferencia de Tecnología y la Acción frente al Cambio Climático en América latina y el Caribe (REGATTA) tiene como objetivo principal el fortalecimiento de capacidades y la promoción e intercambio de conocimientos sobre tecnologías y experiencias en materia de cambio climático (CC), en el ámbito de la mitigación y adaptación, para la región de América Latina y el Caribe. El presente proyecto se enmarca dentro del proyecto REGATTA y pretende generar un espacio para compartir conocimientos entre diferentes actores que trabajan y están involucrados con los impactos del cambio climático en el sector agropecuario y en el recurso hídrico en la región Andina de Colombia, Ecuador y Perú. Un primer paso del trabajo es el desarrollo de un estudio sobre la vulnerabilidad al cambio climático de la agricultura y del recurso hídrico en esta región, identificar medidas de adaptación conjuntamente con gremios, investigadores, ONGs, etc. En este estudio de vulnerabilidad se sigue el enfoque propuesto por el IPCC mediante la combinación de la Exposición, Sensibilidad y Capacidad de Adaptación. En el primer caso, se construyen escenarios de CC, para el segundo mediante modelación de cultivos, y la capacidad de adaptación mediante indicadores socioeconómicos.

Toda esta información servirá de insumo para orientar las discusiones que se generen en el espacio para compartir conocimientos mediante una plataforma virtual. La plataforma virtual tiene como eje principal el desarrollo de foros electrónicos acerca de temas como: la construcción de escenarios climáticos, modelación de cultivos, análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación.

El presente informe está organizado de la siguiente manera: un primer capítulo con la delimitación de la zona de estudios y algunos datos generales descriptivos de la zona. Un segundo capítulo, con la información sobre exposición, en la cual se presentan los escenarios de cambio climático para la región. Un tercer capítulo analiza la sensibilidad del sector agrícola ante los escenarios de cambio climático. Un cuarto capítulo analiza el impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico en algunas de las cuencas de la zona de estudio. El quinto capítulo analiza la sensibilidad social asociada a los impactos del cambio climático en el sector agrícola. El sexto capítulo hace una recopilación de indicadores socioeconómicos considerados de relevancia en la capacidad de adaptación. Igualmente se incorpora un capítulo con una descripción muy general del posible impacto del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos. Los últimos dos capítulos están orientados al análisis de vulnerabilidad propiamente dicho y a la identificación de algunas medidas de adaptación.

## 1 Capítulo 1 Generalidades del estudio

### 1.1 Delimitación de la zona de estudio

El estudio se circunscribe a la zona andina de Colombia, Ecuador y Perú (ver Figura 1), sin embargo, hasta la fecha no existe una delimitación oficial de lo que se considera zona Andina para estos tres países. Por lo tanto, se tomó como referencia el Mapa de los Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro, desarrollado por la Comunidad Andina en el año 2009. Se trata de una metodología que considera factores ambientales, topográficos y eco-sistémicos<sup>1</sup>.



Figura 1. Zona de estudio del proyecto PNUMA- CIAT, límite basado en la definición de la CAN

La zona de estudio comprende 23 departamentos y 842 municipios para Colombia, 25 provincias y 1589 distritos para Perú y 19 Provincias y 154 cantones para Ecuador (ver Tabla 1).

<sup>1</sup> La metodología y los resultados están descritos en un libro que puede ser consultado y descargado de internet ([www.comunidadandina.org](http://www.comunidadandina.org)).

Tabla 1, Departamentos dentro de la zona de estudio del proyecto PNUMA-CIAT

<b>Colombia (Departamentos)</b>	<b>Perú (Provincias)</b>	<b>Ecuador (Provincias)</b>
Antioquia	Amazonas	Azuay
Arauca	Ancash	Bolívar
Bolívar	Apurímac	Cañar
Boyacá	Arequipa	Carchi
Caldas	Ayacucho	Chimborazo
Caquetá	Cajamarca	Cotopaxi
Casanare	Callao	El Oro
Cauca	Cusco	Esmeraldas
Cesar	Huancavelica	Guayas
Choco	Huánuco	Imbabura
Córdoba	Ica	Loja
Cundinamarca	Junín	Los Rios
Huila	La Libertad	Morona Santiago
La Guajira	Lambayeque	Orellana
Meta	Lima	Pastaza
Nariño	Loreto	Pichincha
Norte de Santander	Madre de Dios	Sucumbíos
Putumayo	Moquegua	Tungurahua
Quindío	Pasco	Zamora Chinchipe
Risaralda	Piura	
Santander	Puno	
Tolima	San Martín	
Valle del Cauca	Tacna	
	Tumbes	
	Ucayali	

## 1.2 Descripción general de la zona de estudio

La región de Andina de Colombia, Ecuador y Perú cubre una superficie cercana a un millón cien mil kilómetros cuadrados. En el caso de Colombia la superficie andina es cercana a 300 mil kilómetros cuadrados correspondiente a 26% del territorio nacional. En Ecuador, la superficie andina cubre cerca de 115 mil kilómetros cuadrados que corresponden a 45% del territorio nacional; de los tres, Perú es el país con mayor superficie Andina con cerca de 720 mil kilómetros cuadrados que corresponden a 56% del territorio nacional.

La población que vive en la región Andina de los tres países es cercana a 45 millones de habitantes<sup>2</sup>, de los cuales cerca de la mitad están ubicados en Colombia y representan cerca del 50% de la población colombiana. Cerca de 8 millones de habitantes en el Ecuador viven en la región Andina pero representan

<sup>2</sup> Es necesario aclarar que los datos poblacionales fueron tomados de los años en los cuales se realizaron Censos: para Colombia año 2005, para Perú año 2007, y para Ecuador año 2010. De aquí en adelante los cálculos presentados se estimaron con estas cifras.

a más de la mitad de la población ecuatoriana. Cerca de 15 millones de la población de Perú viven en la región Andina y representan la mitad de la población peruana.

En términos generales, la densidad poblacional de los tres países es cercana a los 31 habitantes por Km<sup>2</sup>, mientras que en la región Andina de los tres países se incrementa a 40, indicando que las zonas montañosas concentran un poco más a los pobladores en estos países. Por país, la mayor densidad de población la tiene Ecuador con 56 hab./Km<sup>2</sup>, seguido por Colombia con 36, y Perú con la menor densidad con 21. No obstante, cuando nos limitamos a la región Andina de los tres países, la mayor densidad poblacional la tiene Colombia con cerca de 75 hab./Km<sup>2</sup>, seguido por Ecuador con 68, y Perú con una densidad relativamente baja de 21 hab./Km<sup>2</sup>. Lo anterior indica que posiblemente las tierras de los Andes seguramente son mejores en Ecuador y Colombia que en el Perú, pero que al mismo tiempo reciben una mayor presión para su explotación.

La Región Andina de Colombia, Ecuador y Perú se caracteriza particularmente por su relieve, que en su gran mayoría se trata de zonas montañosas pertenecientes a la cordillera de los Andes con algunos picos volcánicos que pueden alcanzar los 5.000 metros de altura. En algunos casos se pueden presentar mesetas y valles interandinos donde generalmente se desarrollan cultivos transitorios intensivos o ganadería de lechería especializada, y en menor cantidad algunos cultivos perennes. En las partes altas de la región de estudio se encuentran zonas de gran importancia hidrológica como páramos, bofedales y glaciares que son considerados reservorios o reguladores hídricos de usuarios de agua en las partes medias y bajas de las cuencas hidrográficas (hidroeléctricas, riego, consumo humano).

En el caso de Colombia, la red hidrológica concentra la mayor parte del recurso hídrico a dos ríos interandinos que recorren casi todo el territorio, y otra parte fluye hacia el pacífico y otra hacia la cuenca Amazónica. En el caso de Ecuador y Perú, el recurso hídrico se reparte entre cuencas que desembocan al pacífico y cuencas tributarias del Amazonas. En el caso de Perú hacia el sur la cuenca del Titicaca es considerada como una de las tres grandes cuencas hidrográficas de este país.

Toda la región andina de los tres países es muy diversa en climas y microclimas lo que permite tener una gran variabilidad de valores de temperatura y precipitación, y con variaciones intra e interanuales. Esto último determina la gran heterogeneidad de cultivos en esta región. La lista de tipos de cultivos es variada, entre tubérculos, raíces, frutales, leguminosas y granos.

### **1.3 Contexto de vulnerabilidad climática**

En el caso de Colombia un estudio sobre vulnerabilidad climática y seguridad alimentaria realizado por el DNP en el año 2010 identifica a Huila, Tolima y Nariño como los departamentos con los municipios con más alta vulnerabilidad de la región Andina. No obstante, ese estudio señala que el problema de la seguridad alimentaria está relacionado con la distribución de los alimentos más que con la cantidad producida.

Otro estudio adelantado por el DNP (2011) indica que los rendimientos nacionales medios de los cultivos de algodón y arroz irrigado podrían aumentar de modo significativo en los decenios futuros mencionados, y que los rendimientos del cultivo de caña de azúcar se podrían incrementar moderadamente. Igualmente la productividad del café y plátano podría disminuir moderadamente, mientras que la productividad de los cultivos de banano, maíz y papa no se verían afectadas de modo significativo.

Colombia se encuentra en la formulación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) el cual busca lograr un mejor conocimiento de los riesgos relacionados con el clima y sus potenciales impactos, incorporar la gestión del riesgo climático en la planificación del desarrollo sectorial y territorial; y priorizar, implementar y hacer seguimiento a las medidas de adaptación que identifiquen para disminuir la vulnerabilidad y exposición de los sistemas socio-económicos y ambientales ante eventos climáticos extremos.

En el caso de Ecuador, un estudio del año 2012 financiado por la Fundación Carolina generó un índice cantonal de vulnerabilidad al cambio climático construido a partir de variables sociales y ambientales. Este estudio resalta que los 10 cantones de mayor prioridad en Ecuador son: Guamote, Colta y Pallatanga en la provincia de Chimborazo; Eloy Alfaro, San Lorenzo y Rio verde, en la provincia de Esmeraldas; Pujili y Sigchos en la Provincia de Cotopaxi; Guaranda en la Provincia de Bolívar; y, Flavio Alfaro y Pedernales en Manabí. Igualmente muestra que los cultivos con mayor afectación por cambio climático serán maíz, frijol, papa, y arroz. Por su parte, asegura que los cultivos de banano y cacao se verán favorecidos por el cambio climático.

En Ecuador, todavía no se cuenta con un Plan Nacional de Adaptación. Existen algunos proyectos relacionados con la adaptación al cambio climático: Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes (PRAA); Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del Agua en Ecuador (PACC); Proyecto Gestión de la Adaptación al Cambio Climático para disminuir la vulnerabilidad social, económica y ambiental en el Ecuador (GACC), y Seguridad alimentaria y cambio climático en la provincia de Pichincha.

En el caso de Perú, de acuerdo con el Plan de Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático del Sector Agrario adelantado por el Ministerio de Agricultura de Perú, las regiones agrícolas del Perú con mayor vulnerabilidad son Puno, Apurímac, Junín, Huánuco, y Cajamarca. Se estima que 14 distritos de Cajamarca son clasificados como de alta vulnerabilidad, mientras que Junín tiene 7 distritos clasificados como altamente vulnerables. Perú cuenta también con un Plan Nacional de Adaptación frente al Cambio Climático, el cual busca promover la inclusión de acciones de respuesta al cambio climático en las inversiones y actividades de desarrollo; proponer acciones prioritarias a los sectores y regiones en términos de prevención de riesgos y adaptación a los impactos del cambio climático en el país; asegurar la inclusión, en los planes y proyectos públicos, de las propuestas elaboradas sobre el tema de cambio climático por el grupo nacional de coordinación para el desarrollo de los pueblos amazónicos, y de la Mesa de Diálogo para el Desarrollo Integral de los Pueblos Andinos en Extrema Pobreza; orientar las prioridades de gasto e inversión pública en cuanto a la inserción del enfoque de cambio climático en los

programas y proyectos de desarrollo en el país, orientar las gestiones de cooperación y negociación internacional para el apoyo técnico y financiero en la implementación de acciones en el país.

El presente estudio busca realizar una evaluación de la vulnerabilidad e impacto de la agricultura y recursos hídricos en los Andes de Colombia, Ecuador y Perú a nivel regional, y la diseminación de la metodología de dicha evaluación y de sus resultados finales. Dentro del estudio se identificaron instituciones y actores clave en materia de cambio climático, y se recopiló información suficiente para adelantar el análisis de sensibilidad social y la capacidad de adaptación de todo el territorio andino de Colombia, Ecuador y Perú. Consideramos que este estudio será un insumo más que podrá seguir alimentando las iniciativas nacionales en materia de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario. El aporte fundamental estará en la aproximación e información generada sobre la sensibilidad de diferentes cultivos a escenarios de cambio climático a nivel de todo el territorio de los Andes de los tres países bajo estudio.

Como primer paso se realizó una búsqueda de información sobre programas y proyectos relacionados con cambio climático en los tres países, las instituciones y personas identificadas como líderes y/o puntos focales para adaptación al cambio climático en cada país, los comités de cambio climático y otros actores visibles en materia de cambio climático, publicaciones y eventos. Esta recopilación de información por país nos da un panorama de la capacidad técnica institucional en la ejecución de proyectos relacionados con el tema de cambio climático, y las bases para considerar iniciativas ya adelantadas con el fin de evitar duplicidad de esfuerzos y aprovechar de la mejor manera trabajos e información previamente generada y/o recopilada. Como resultado de esta búsqueda, se observa que en su mayoría coinciden en la elaboración de planes de adaptación y estrategias de manejo adecuado de los recursos naturales distintos enfoques y escalas de ejecución de los proyectos. Perú lidera la lista de proyectos ejecutados y en ejecución sobre cambio climático, seguido por Colombia y finalmente Ecuador. Se observa también que la institucionalidad pública de Colombia y Perú concentra muchos esfuerzos en análisis a nivel Nacional, y acompañan iniciativas de organismos multilaterales que desarrollan análisis a nivel regional y local. En el caso de Ecuador, los esfuerzos se concentran básicamente en iniciativas a nivel local.

A continuación, se presenta un mapa de actores institucionales para Colombia, Perú y Ecuador. El mapa sólo pretende mostrar las instituciones que vienen trabajando sobre adaptación al cambio climático en el sector agropecuario, el tipo de organización (instituciones públicas, gremios, ONGs, cooperación internacional, universidades y centros de investigación nacional), y el nivel de influencia y/o aportes a los líderes sobre cambio climático a nivel nacional. Este es un ejercicio básico para la búsqueda de información sobre adaptación al cambio climático en el sector agropecuario a nivel de cada país.

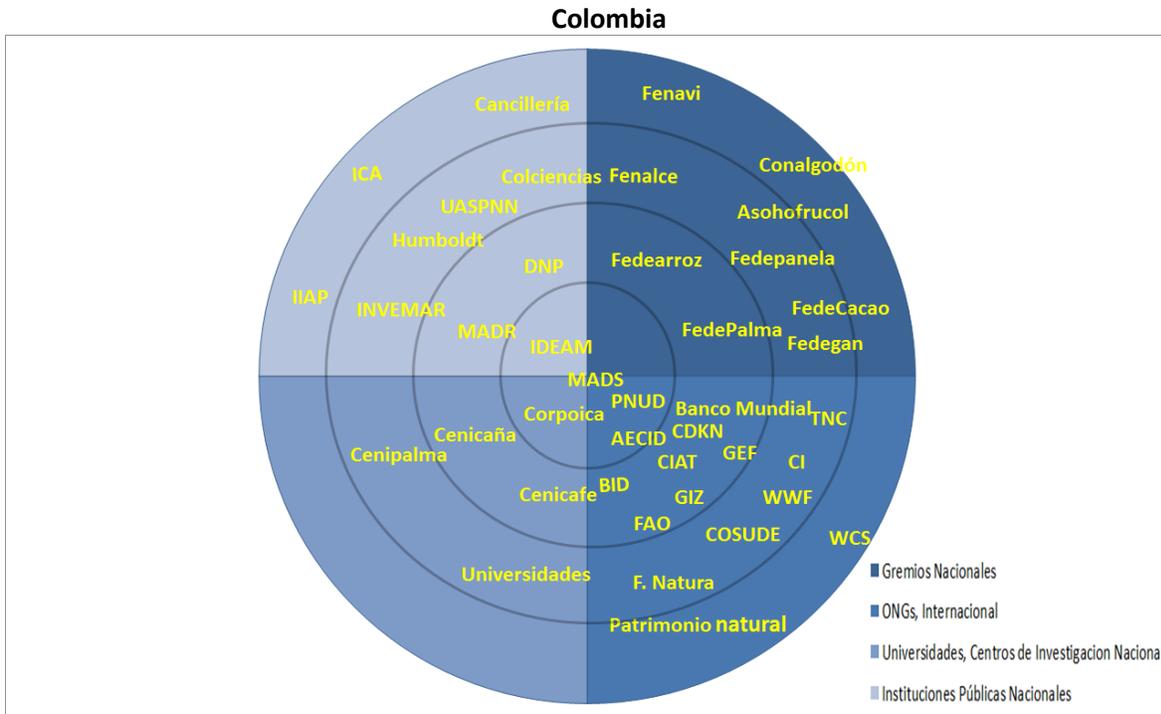


Figura 2. actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Colombia, por Cardona A. (2009)

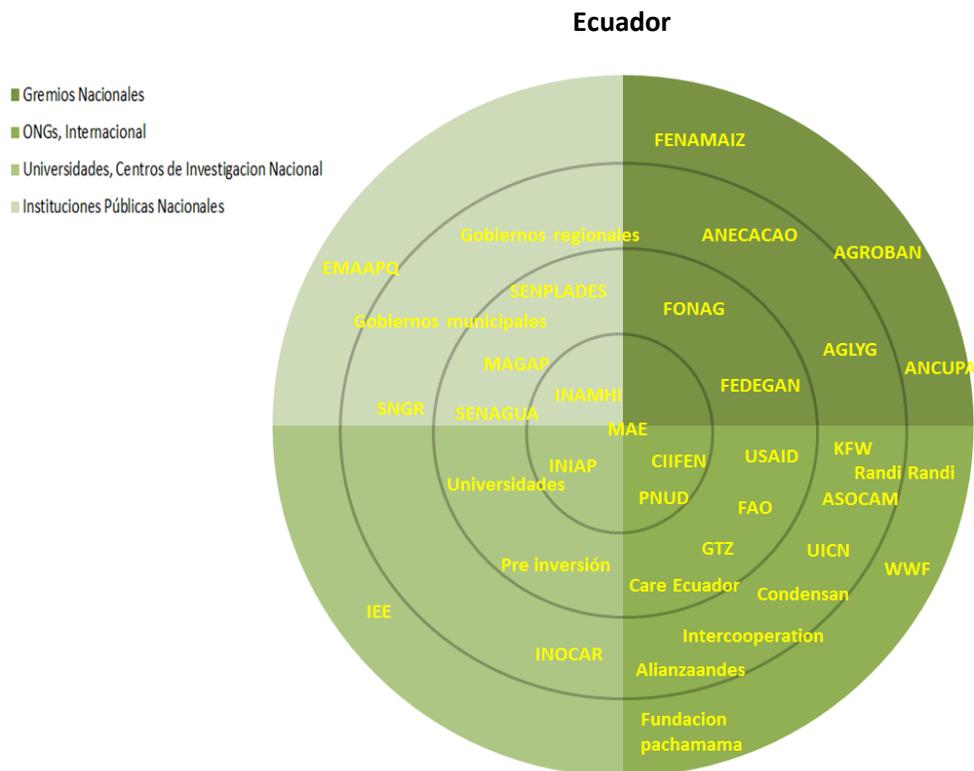


Figura 3. Actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Ecuador

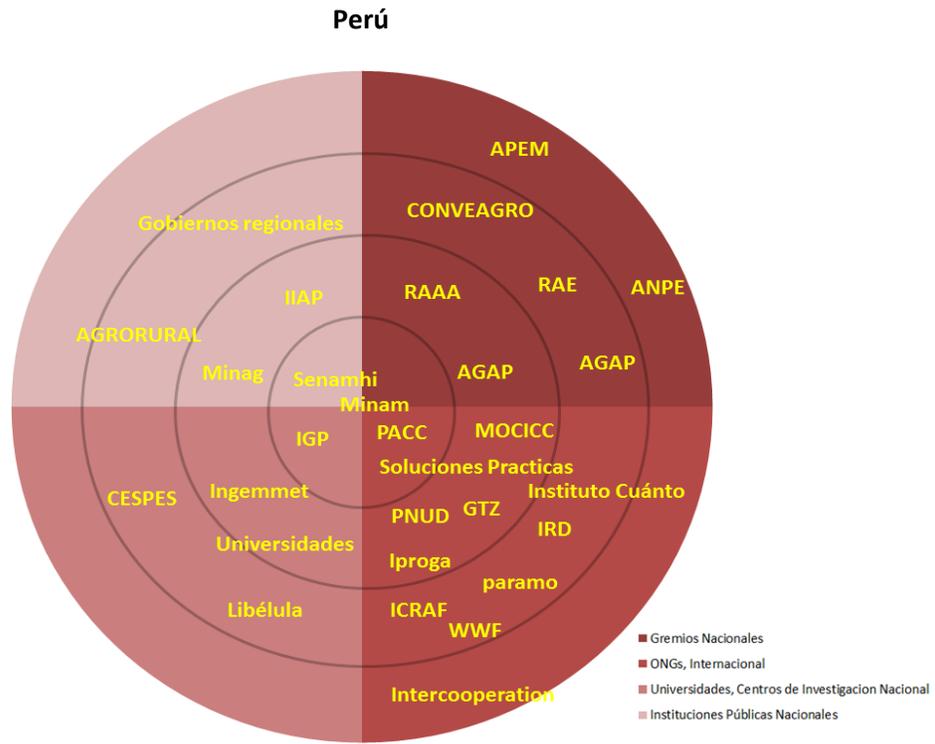


Figura 4. Actores y principales puntos de encuentro en la temática de adaptación climática en Perú

## 2 Capítulo 2: Exposición

### 2.1 Metodología exposición

Para la línea base climática se usó la base de datos de WorldClim (<1 km<sup>2</sup> al Ecuador), la cual es suficiente para capturar la variedad ambiental que puede perderse a bajas resoluciones, particularmente en montañas y otras áreas con altos gradientes climáticos.

En el caso de la generación de escenarios climáticos futuros se obtuvieron datos de Modelos Climáticos Globales (GCM por su sigla en inglés) descargados directamente del portal del *Earth System Grid* (ESG) de 19 Modelos Climáticos Globales (ver Tabla 2) pertenecientes al SRES (*Special Report on Emission Scenarios*) A2 del Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (IPCC, 2007). Los datos fueron interpolados utilizando los centroides de los píxeles a la resolución original, y obteniendo superficies de 1km de resolución (30 arcseg). El escenario A2, conocido como “*Business as usual*”, se eligió dado que supone que el comportamiento observado a lo largo de las últimas décadas continuará, ya que no se observan cambios considerables como para pensar que esa tendencia se va a revertir. Este escenario supone seguirá el crecimiento poblacional y el crecimiento económico de los países, y al mismo tiempo continuará el deterioro ambiental. De acuerdo a este escenario, no habrán mayores esfuerzos por reducir emisiones, pero asume un desarrollo tecnológico medio que permitirá aumentar la eficiencia en la producción con respecto a la contaminación.

Para el presente estudio se utilizó una técnica de reducción de escala estadística llamada “Reducción de escala delta” (Ramírez y Jarvis, 2010), que incluye el uso de la superficie de alta resolución de línea base WorldClim (Hijmans et al., 2005). El método, básicamente, produce una superficie suavizada (interpolación) de los cambios en el clima (deltas o anomalías) y luego se aplica esta superficie interpolada al clima de referencia (de WorldClim), teniendo en cuenta el posible sesgo debido a la diferencia en las líneas de base. Este método es ampliamente utilizado porque es sencillo y relativamente fácil de entender. Debido a su baja demanda computacional, el método delta permite una rápida y eficaz de reducción de escala de los múltiples GCM y escenarios de emisiones durante cientos de años (Hayhoe, 2010)

El método adopta los siguientes supuestos<sup>3</sup>: i) cambios en el clima solo varían en largas distancias (i. e. tan largos con el tamaño de celda de los GCM), y ii) relaciones entre las variables en la línea base (“clima presente”) es probable que se mantengan hacia el futuro.

Los pasos del método son: i) recolección de datos climáticos de línea base, ii) recopilación de la información climática futura, el *timeseries* de cada GCM (en este caso promedios de 30 años), iii) cálculo de anomalías, o la diferencia absoluta entre los valores futuros en cada una de las variables a ser interpoladas, iv) la interpolación de estas anomalías mediante centroides de las celdas (píxeles) de GCM como puntos para la interpolación, v) adición de las superficies interpoladas de la línea base WorldClim,

---

<sup>3</sup> Hay que reconocer las limitaciones del método para paisajes altamente heterogéneos, donde la topografía podrían causar considerables variaciones en las anomalías (es decir, los Andes).

utilizando la suma absoluta de temperaturas, y la adición de los cambios relativos de precipitación, vi) Cálculo de la temperatura media como la media de las temperaturas máximas y mínimas.

Tabla 2. Modelos Climáticos Globales disponibles

Model	Country	Atmosphere	Ocean	Reference
BCCR-BCM2.0	Norway	T63, L31	1.5x0.5, L35	N/A
CCCMA-CGCM3.1 (T47)	Canada	T47 (3.75x3.75), L31	1.85x1.85, L29	Scinocca et al. (2008)
CCCMA-CGCM3.1 (T63)	Canada	T63 (2.8x2.8), L31	1.4x0.94, L29	Scinocca et al. (2008)
CNRM-CM3	France	T63 (2.8x2.8), L45	1.875x(0.5-2), L31	Salas-Mélia et al. (2005)
CSIRO-Mk3.0	Australia	T63, L18	1.875x0.84, L31	Gordon et al. (2002)
CSIRO-Mk3.5	Australia	T63, L18	1.875x0.84, L31	Gordon et al. (2002)
GFDL-CM2.0	USA	2.5x2.0, L24	1.0x(1/3-1), L50	Delworth et al. (2004)
GFDL-CM2.1	USA	2.5x2.0, L24	1.0x(1/3-1), L50	Delworth et al. (2004)
GISS-AOM	USA	4x3, L12	4x3, L16	Russell et al. (1995)
GISS-MODEL-EH	USA	5x4, L20	5x4, L13	Schmidt et al. (2005)
GISS-MODEL-ER	USA	5x4, L20	5x4, L13	Schmidt et al. (2005)
IAP-FGOALS1.0-G	China	2.8x2.8, L26	1x1, L16	Yu et al. (2004)
INGV-ECHAM4	Italy	T42, L19	2x(0.5-2), L31	Gualdi et al. (2006)
INM-CM3.0	Russia	5x4, L21	2.5x2, L33	Diansky et al. (2002)
IPSL-CM4	France	2.5x3.75, L19	2x(1-2), L30	Marti et al. (2005)
MIROC3.2-HIRES	Japan	T106, L56	0.28x0.19, L47	Hasumi and Emori (2004)
MIROC3.2-MEDRES	Japan	T42, L20	1.4x(0.5-1.4), L43	Hasumi and Emori (2004)
MIUB-ECHO-G	Germany/Korea	T30, L19	T42, L20	Grötzner et al. (1996)
MPI-ECHAM5	Germany	T63, L32	1x1, L41	Jungclaus et al. (2005)
MRI-CGCM2.3.2A	Japan	T42, L30	2.5x(0.5-2.0)	Yukimoto et al. (2001)
NCAR-CCSM3.0	USA	T85L26, 1.4x1.4	1x(0.27-1), L40	Collins et al. (2005)
NCAR-PCM1	USA	T42 (2.8x2.8), L18	1x(0.27-1), L40	Washington et al. (2000)
UKMO-HADCM3	UK	3.75x2.5, L19	1.25x1.25, L20	Gordon et al. (2002)
UKMO-HADGEM1	UK	1.875x1.25, L38	1.25x1.25, L20	Johns et al. (2006)

\* Columnas de atmósfera y océano indican las resoluciones.

## 2.2 Resultados Exposición

### Clima actual

En el caso de Colombia, la cantidad anual de lluvias de la región andina se caracteriza porque la mayor parte de su territorio presenta precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm/año. Contadas excepciones como las zonas del medio Magdalena y medio Cauca donde las precipitaciones pueden superar los 3.000 mm/año, y zonas como el altiplano Cundiboyacense donde las precipitaciones pueden ser inferiores a 1.000mm/año). La mayor parte de la región andina presenta un régimen bimodal. En la parte central de

la región andina la época seca generalmente se presentan en los meses de enero - febrero y julio - agosto. En la zona sur de la región andina colombiana la época seca es más marcada en los meses julio y agosto. Por su parte, los períodos más lluviosos se concentran en abril-mayo y octubre - noviembre, especialmente en este último período. La temperatura cambia significativamente con los rangos altitudinales, y por ser la región andina una zona montañosa, las diferencias de temperatura son muy notorias. La parte altitudinalmente más baja de la región andina colombiana, que corresponde a los valles interandino presenta temperaturas medias anuales superiores a los 24°C, y especialmente más cálidas hacia el extremo norte de los valles. Mientras que la zona montañosa con elevaciones superiores a los 2.000 msnm presenta promedios anuales de temperatura inferiores a los 16°C, y en zonas de alta montaña pueden llegar a ser inferiores a 8°C. En Colombia la variabilidad climática está determinada en gran medida por los fenómenos de El Niño y la Niña (ENOS<sup>4</sup>). En la región Andina de Colombia, los años 2010 y 2011 fueron especialmente lluviosos, y el mes de julio de 2010 fue el más lluvioso de los últimos 30 años. Los excesos de lluvia en la región Andina aumentan considerablemente los riesgos de deslizamiento, el cual es el mayor riesgo identificado para las zonas montañosas en relación con el clima. Igualmente estos excesos de lluvias pueden conllevar a pérdidas de las cosechas de los cultivos por anegamiento de los terrenos, saturación de agua, pérdida de la floración, aumento de enfermedades, entre otras. Cuando se presenta el fenómeno del Niño, aumentan las posibilidades de sequías, pero también aumenta el riesgo de incendios forestales especialmente en las zonas de páramo.

En el caso de Ecuador, el clima presenta tres franjas climáticas muy marcadas. La región de la vertiente oriental de la región andina alcanza a ser influenciada por el régimen climático amazónico, y por esta razón es una zona húmeda y clima templado cálido. El costado más oriental puede llegar a alcanzar precipitaciones promedios anuales superiores a los 2.000 mm/año. Pero a medida que se asciende hacia la región central de los andes los niveles de precipitación van disminuyendo. La franja media del costado oriental alcanza valores de precipitación alrededor de los 1.500 mm/año. Por su parte, el costado occidental también presenta niveles de humedad altos, especialmente la zona norte que alcanza promedios anuales de precipitación superiores a los 2.000 mm/año. Sin embargo, hacia la parte sur de la región occidental las precipitaciones disminuyan considerablemente, hasta llegar a promedios inferiores a los 1.000 mm/año. Este costado occidental es mucho más cálido que el oriental, en especial hacia la zona norte. La zona central de los andes es más seca y más fría. Gran parte de la región central de los andes del Ecuador presenta promedios anuales de precipitación inferiores a los 500 mm/año. En términos generales, el período lluvioso de toda la región andina ecuatoriana presenta una distribución bimodal, presentando un período lluvioso secundario durante los meses de septiembre a noviembre y un período lluvioso principal durante los meses de febrero a mayo.

En el caso de la región andina peruana, existe una gran diversidad de climas a lo largo del territorio. A diferencia de Colombia y Ecuador, Perú está influenciados por los cambios estacionales, especialmente marcado hacia la zona centro y sur del país. Sin embargo, la presencia de los andes también influye enormemente en la formación de los climas. Igualmente hacia el sur, la presencia del lago Titicaca

---

<sup>4</sup> ENOS: fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante

influye en un área considerable a su alrededor. En términos generales, la región andina de Perú se caracteriza por los cambios de temperatura que se presentan a lo largo del día, especialmente marcados hacia la zona centro. Entre abril y octubre es el período seco con temperaturas diurnas altas pero con temperaturas nocturnas muy bajas. En esta época es muy común la ocurrencia de heladas. En los meses entre noviembre y marzo, es el período de lluvias donde las precipitaciones pueden alcanzar para este período valores de hasta 1.000 mm.

En la zona sur de la región andina de Perú se encuentran zonas áridas, semiáridas y semisecas localizadas en las zonas altitudinalmente bajas y medias del costado occidental de la cordillera. Sin embargo, a medida que se asciende se encuentra una gran región influenciada por el lago Titicaca donde las precipitaciones aumentan pero las temperaturas son muy bajas para todas las épocas del año. La zona central de la región andina peruana es considerada semiseca pero fría, especialmente el costado occidental. No obstante, a medida que nos movemos hacia el costado oriental las precipitaciones y la temperatura empiezan a aumentar. La zona norte de la región andina peruana es mucho más diversa, pero en términos generales es una zona semiseca pero con una gran diversidad en el régimen de precipitación, donde la cantidad de lluvia varía en sentido occidente – oriente y la distribución en sentido norte – sur.

En Perú existe un mapa de multipeligros climáticos, que muestra a las regiones de Cusco, Pasco, Huancavelica, Apurímac, Puno y Junín con los niveles más altos de amenazas. Las heladas son una amenaza recurrente en toda la región Sur-Andina del Perú, y en las partes más altas de la región central de los andes del Perú. Las provincias con mayor riesgo de heladas son: Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, Pasco y Puno. La región Sur-Andina del Perú también presenta riesgo alto de sequías. Por lo tanto esta región sur-Andina está sometida a diferentes tipos de amenazas a través del año. En los años recientes, las regiones del Perú que más pérdidas económicas han registrado por pérdidas de cultivos debido a eventos climáticos son: Apurímac, Puno, Huánuco, Cajamarca. En gran parte estas pérdidas están asociadas al fenómeno del Niño, donde los años especialmente críticos fueron 1982, 1983, 1997 y 1998.

### Escenarios futuros

En términos de cambios escenario de cambio climático, en las Figuras 5 y 6 muestran las anomalías (cambios) de precipitación total anual y temperatura media anual para las normales climatológicas de los periodos 2020-2049 (2030s) y 2040-2069 (2050s), respecto al período base 1961-1990. No hay un acuerdo de los cambios en precipitación entre los diferentes modelos, sin embargo, todos describen aumentos y disminuciones en diferentes zonas geográficas en un rango de -200 a 200 mm en 2030s y 2050s. Para el caso de la temperatura, los modelos describen un aumento generalizado de entre 1 y 4°C en ambos periodos.

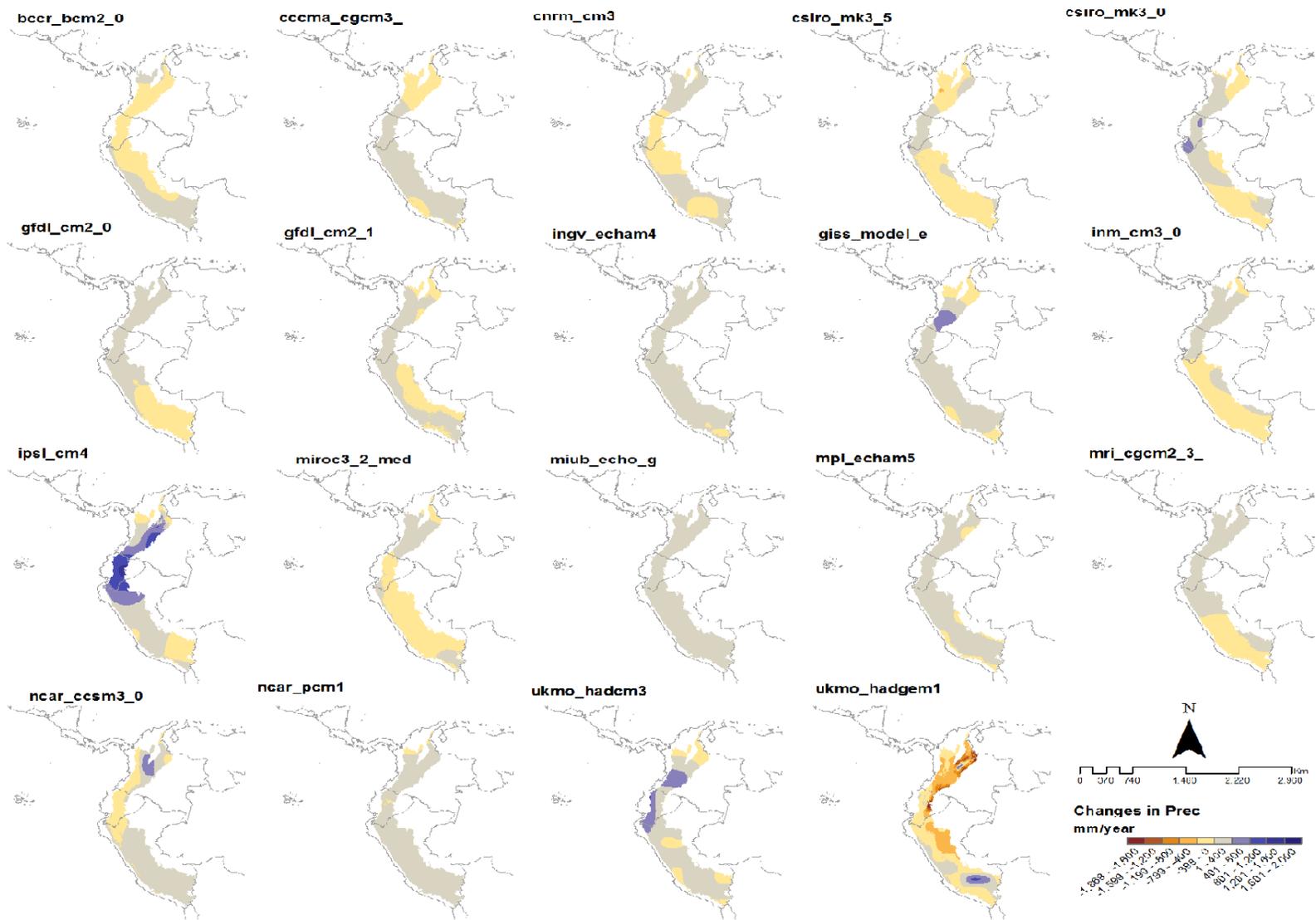


Figura 5. Anomalías de precipitación total anual para el periodo 2050s para 19 GCM IPCC-CMIP3 SRES A2, con corte de la región Andina

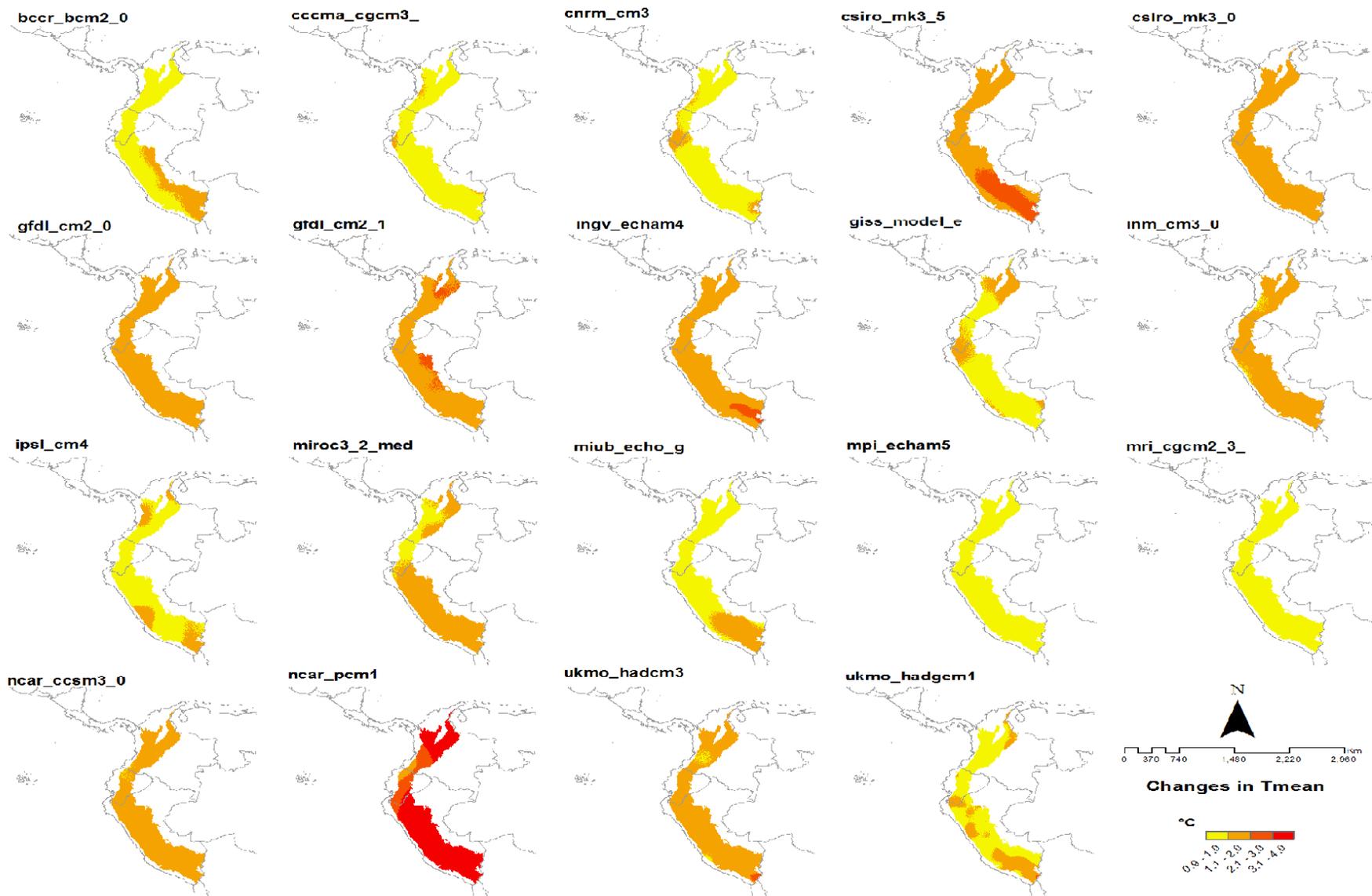


Figura 6. Anomalías de temperatura media anual para el periodo 2050s para 19 GCM IPCC-CMIP3 SRES A2, con corte de la región Andina

Las Figuras 7 y 8 muestran los cambios promedio y la desviación estándar de las anomalías de las Figuras 5 y 6, para precipitación total anual y temperatura media anual. [Tabla completa: <http://goo.gl/gM3Mru>]. En el caso de Colombia, el norte de la región Andina se observan disminuciones de precipitación de hasta 40 mm/año en 2030 y 80 mm/año en 2050, mientras que algunas partes del sur de la región Andina se observan en el mapa aumentos de alrededor de 80 mm/año en 2030s y 160 mm/año en 2050s. Las disminuciones más significativas en la precipitación total se prevé serán en la región de los Santanderes, mientras que se prevé aumentos en el Valle del Cauca, Cauca, Quindío, Nariño, Tolima y Huila. El patrón de anomalías en 2030 de precipitación es muy similar al mostrado por los modelos en 2050s, pero en magnitudes diferentes. Mientras que el cambio de precipitación del 2030s está en el rango de -3% a 3%, en 2050 -6% a 5%. Las tendencias principales proyectadas de la temperatura media anual indican aumento en toda la zona de los Andes. En 2030 se espera un aumento de la temperatura media anual entre 1 y 1.4°C, y 1.8 y 2.4 °C para 2050s.

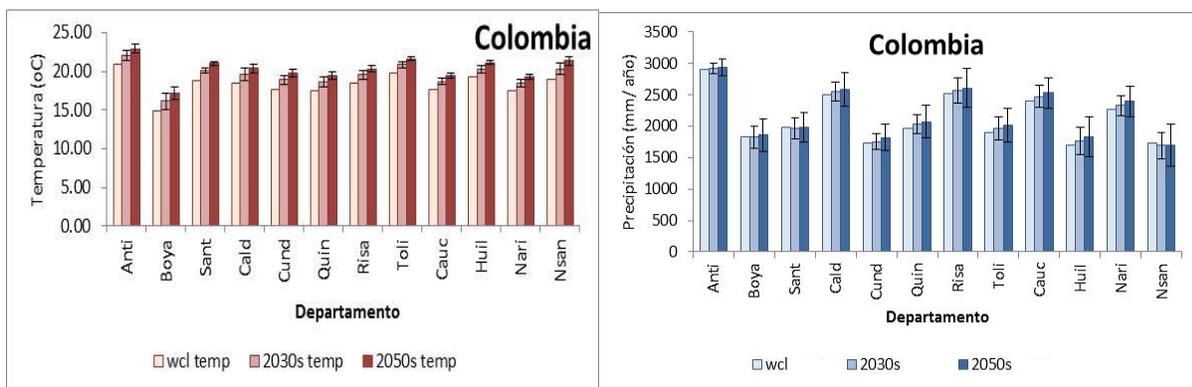


Figura 7. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes departamentos de la región andina de Colombia

Para Ecuador la proyección muestra un aumento general de las precipitaciones, especialmente en las provincias de Manabí, Santa Elena, Guayas, El Oro y Loja. El aumento se estima en un máximo de 160 mm/año en 2030s y 200 mm/año en 2050s. En los Andes Ecuatorianos habría un aumento de la temperatura media anual entre 0.9 y 1.6°C para 2030s, y 1.7 y 2.8 °C para 2050s, con mayor influencia en la región de las provincias de Sucumbíos, Orellana y Pastaza.

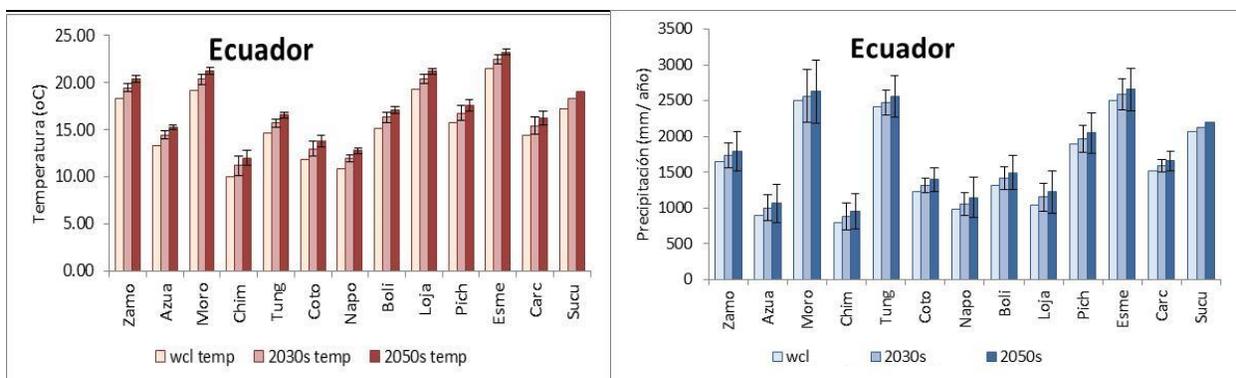


Figura 8. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes provincias de la región andina de Ecuador

En el caso de Perú el promedio de los modelos indican aumentos de precipitación anual fuertes hacia el norte de hasta 80 mm/año en 2030s y 180 mm/año en 2050s, pero más leves hacia el sur, donde habrían cambios de máximo 40mm/año y 120 mm/año, respectivamente entre los dos periodos. Al igual que en los otros dos países, los modelos indican un aumento general de la temperatura media anual, cuya magnitud no supera los 1.6°C en 2030s y los 2.8°C en 2050s.

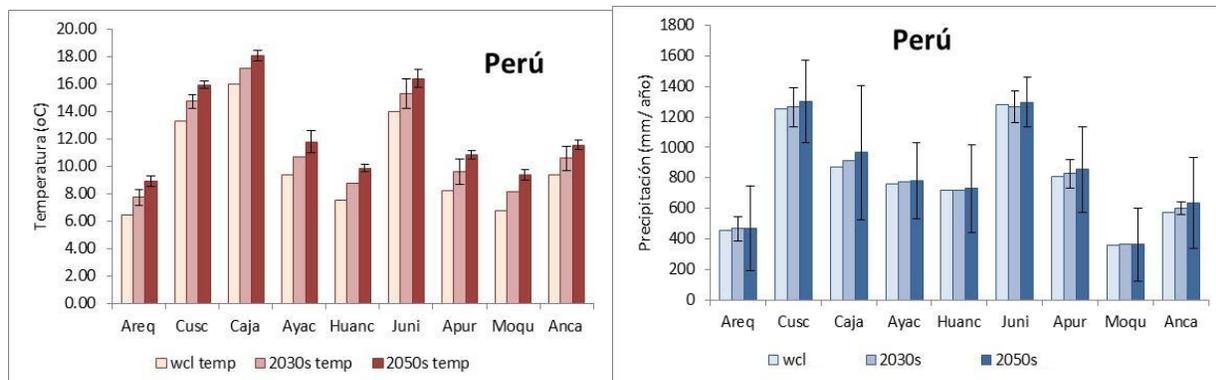


Figura 9. Proyecciones de temperatura (izquierda) y precipitación (derecha) en diferentes provincias de la región andina de Perú

Según las anteriores estimaciones, la región Andina de estos tres países podría verse afectada por un calentamiento entre 0.9 y 2.8 °C y por alteraciones de la precipitación que podría estar entre -3 % y +10% del acumulado anual promedio actual.

Un aspecto muy importante cuando se analizan los resultados de modelos climáticos, es la incertidumbre. La dispersión entre modelos para precipitación es alta y se acentúa significativamente a lo largo de la región Andina, probablemente producto de la dificultad de los modelos en resolver gradientes topográficos complejos (un problema que se atribuye a la resolución tan gruesa de los modelos) o por la cantidad de lluvia que cae en esa región.

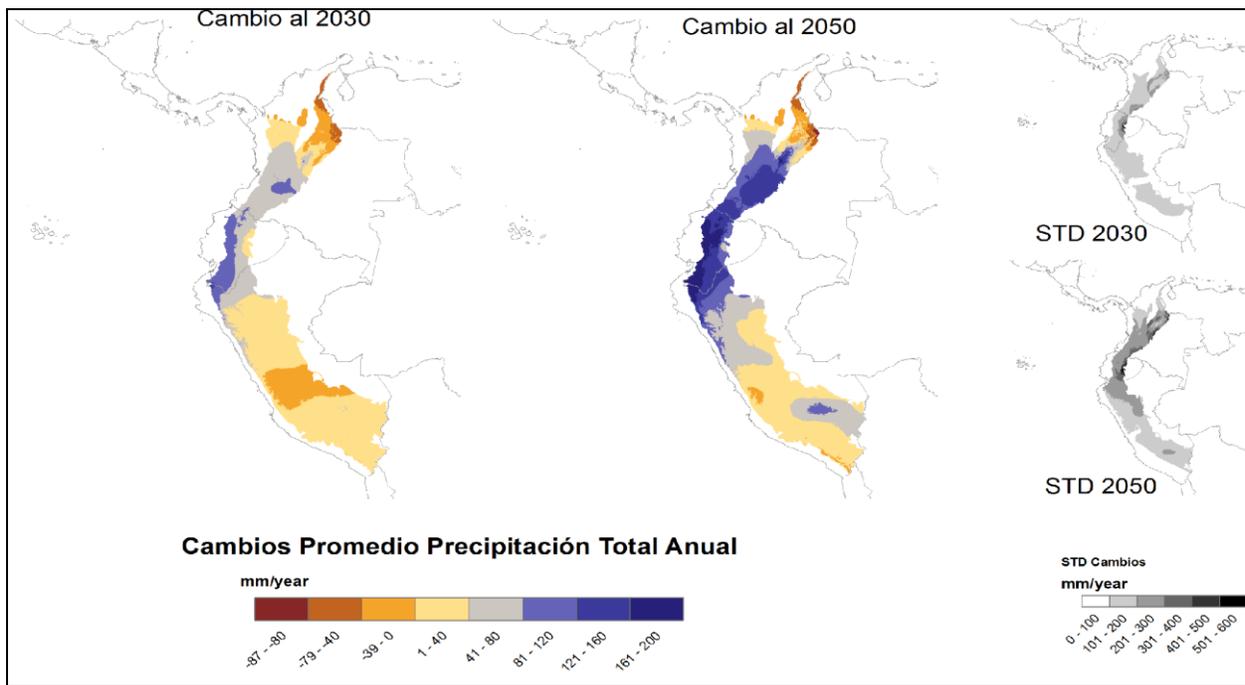


Figura 10. Promedio de las anomalías de precipitación total anual a 2030s y 2050s (con corte de la región Andina)

En la figura anterior se observa la distribución geográfica de los cambios en la precipitación. Los cuales serían mayores en la parte céntrica, es decir en Ecuador y sur de Colombia. Con los siguientes rangos: 40 a 80mm, y de los 80 a los 120mm para el año 2030. Pero con un aumento general para esa misma zona hacia el año 2050, llegando inclusive a los 200 mm más con respecto a la precipitación actual.

Desde luego que existen zonas donde la precipitación podría escasear peligrosamente, tal es el caso del norte de Colombia, donde las precipitaciones podrían disminuir hasta en 80 mm con respecto a la oferta de precipitación actualidad, de igual manera esta condición se incrementa a medida que pasa el tiempo hasta el año 2050.

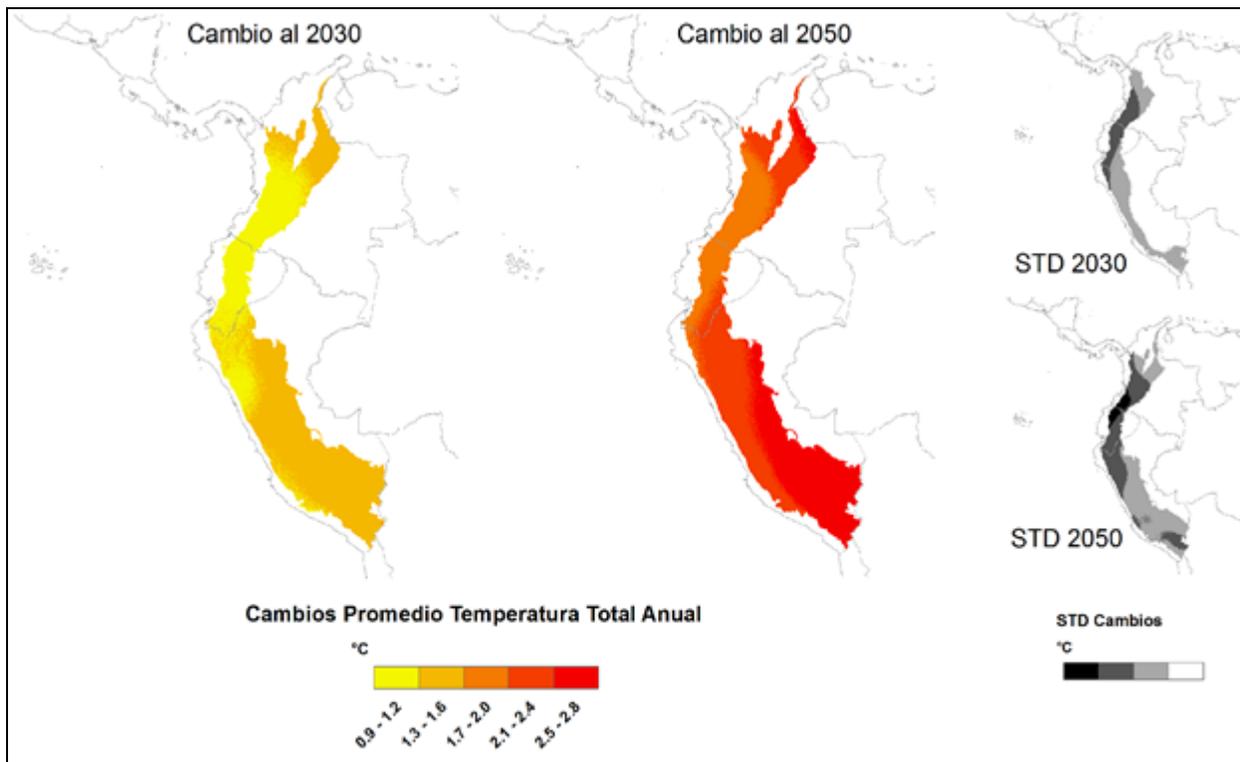


Figura 11. Promedio de las anomalías de temperatura media anual a 2030s y 2050s (con corte de la región Andina)

La gráfica anterior evidencia que para el año 2050 la temperatura podría incrementarse hasta llegar a un rango promedio de 2.5 a 2.8 °C, lo cual es evidentemente muy peligroso para la aptitud de la mayoría de los cultivos de la zona. También existe incertidumbre en la temperatura (Figura 11), la diferencia para la región Andina entre los diferentes modelos puede superar un grado centígrado (1°C), en sus proyecciones a 2030s y 2050s, lo que resulta ser significativo, teniendo en cuenta que los cambios hacia el 2050s, son en algunos casos la mitad de este valor.

De igual manera en las transiciones de precipitación en la región andina es muy variada y esta influenciada por diversos factores que interactúan para que se den las condiciones heterogéneas de precipitación (altitud, topografía, latitud, ENSO) debido a esto se ve mayor variabilidad y cambios en la precipitación (Figura 10).

En cuanto a las anomalías mensuales de precipitación, los modelos muestran que habría mayores cambios en la zona centro y sur de Perú norte en los meses de enero, febrero, junio y julio. Mientras que la zona sur de Colombia, Ecuador y la zona de Perú tendrían mayores cambios en los meses de septiembre y octubre.

En el caso de las anomalías mensuales de temperatura, no se observan mayores cambios intraanuales excepto en el caso de la zona sur de Ecuador y norte de Perú para los meses comprendidos entre junio y octubre.

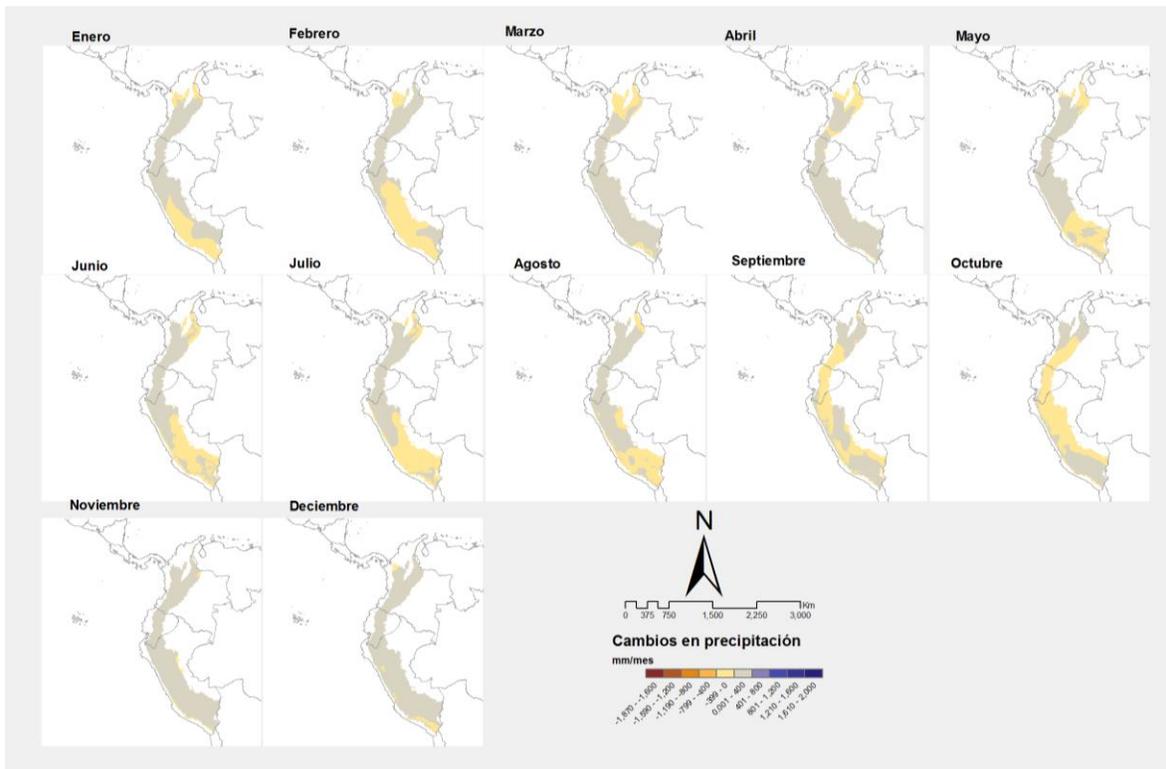


Figura 12. Anomalías mensuales precipitación a 2050 para los tres países y con corte de la región Andina

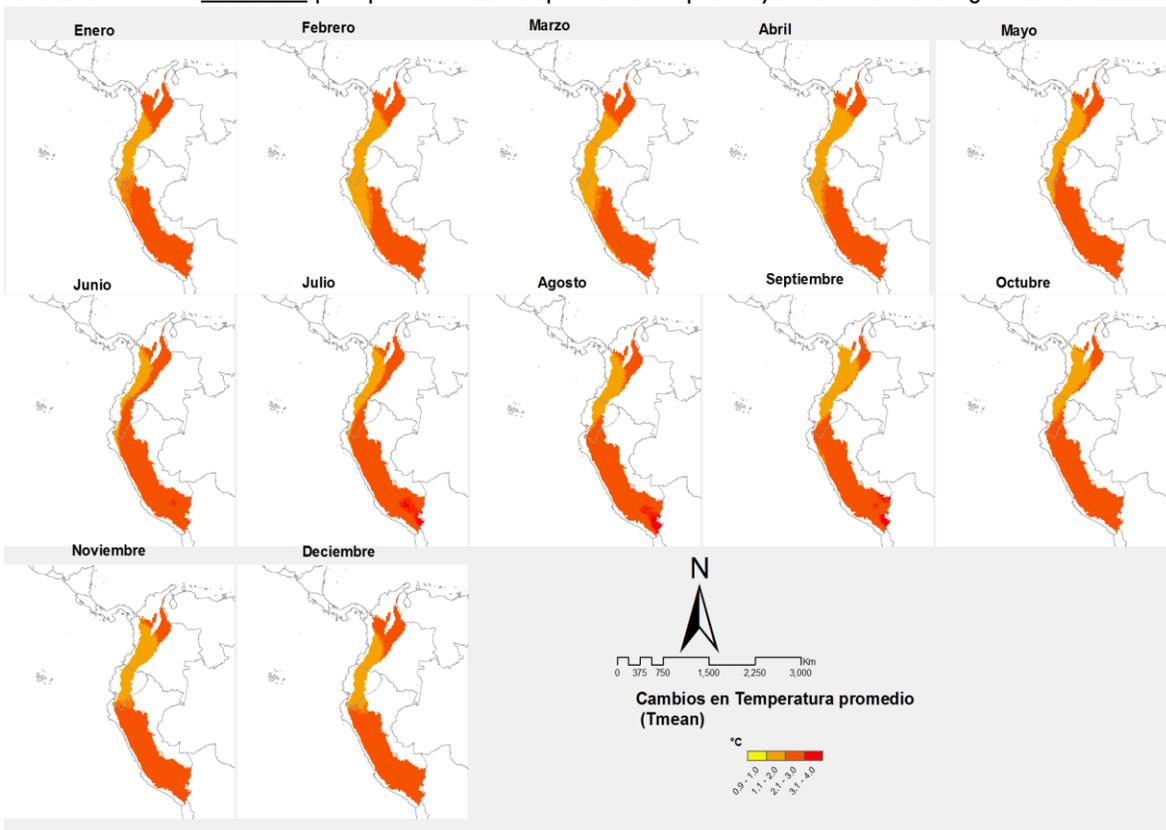


Figura 13. Anomalías mensuales temperatura media a 2050 para los tres países y con corte de la región Andina

### 3 Capítulo 3. Sensibilidad agrícola

### 3.1 Metodología para determinar la sensibilidad agrícola

Para la región Andina de los tres países se seleccionó una lista de cultivos de acuerdo al número de hectáreas sembradas y la importancia en términos de seguridad alimentaria para los productores de las zonas andinas, esta información fue recolectada a partir de fuentes tales como el Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario, censos y estadísticas agrícolas y literatura científica de los tres países.

Haciendo la modelación de aproximadamente 15 cultivos para cada país, pero finalmente fueron usados solamente aquellos que mostraron resultados coherentes con las estadísticas oficiales de presencia del cultivo.

La sensibilidad agrícola se midió en función del impacto positivo o negativo de los cambios en la temperatura y la precipitación sobre la aptitud de los cultivos. Por esta razón, se seleccionó para este estudio el modelo llamado *Ecocrop*, el cual es bastante básico, sus variables de entrada son datos de temperatura y precipitación, además de ello, es un modelo que se puede ejecutar a nivel territorial y no punto por punto.

Cómo un primer paso para correr *Ecocrop* se creó una base de datos con los parámetros de los diferentes cultivos analizados (ver Anexo 1). Posteriormente se realizó la corrida del modelo para toda la región Andina de acuerdo a los cultivos seleccionados para cada país. Se validaron los resultados de las corridas con las estadísticas de las áreas sembradas de los cultivos para los tres países. La información empleada para la validación fue tomada de las siguientes fuentes:

Colombia: [Anuario estadístico del 2010](#)

Ecuador: [ESPAC](#).

Perú, [Ministerio de Agricultura del Perú](#)

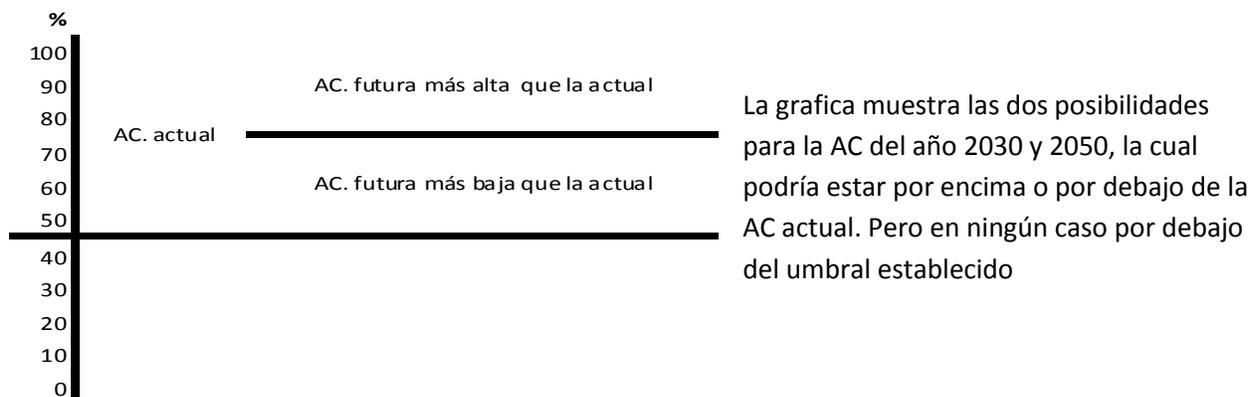
En los casos de modelaciones que no correspondían con las estadísticas en cuanto a la presencia del cultivo, se procedió a la búsqueda de parámetros con un mayor grado de especificidad para la zona de estudio, dentro de proyectos a nivel de departamental; con especial atención a los productos principales y productos de importancia económica cultivados o potenciales de la región, y las condiciones climáticas bajo las cuales se desarrolla el cultivo.

Se procedió a realizar la modelación de la aptitud climática (AC) para el año 2030 y 2050 empleando los escenarios climáticos generados en al inicio del estudio, cuyo proceso está consignado en la primera parte de este informe. Posteriormente se construyó un algoritmo matemático para clasificar los impactos del cambio climático sobre los cultivos, así:

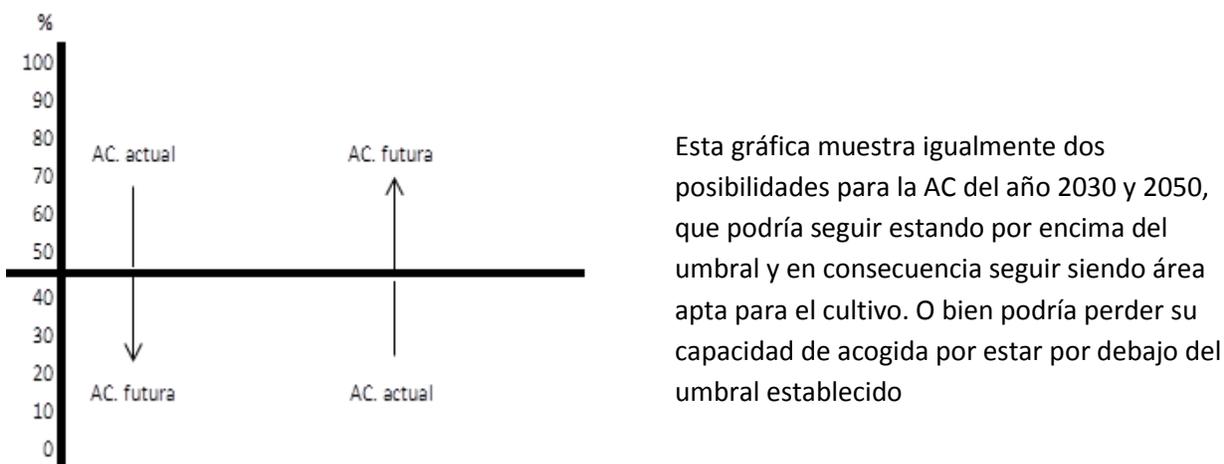
ID	Actual	Futuro	Diferencia( Futuro - Actual)	Significado
1	< 50	>= 50		Nuevas zonas aptas
2	>= 50	< 50		Pérdida fuerte
3	>= 50	>= 50	Negativa (-)	Pérdida ligera
4	>= 50	>= 50	Positiva o cero (+ or cero(0))	Más apto

En otras palabras, la condición No.1 significa que las zonas con AC menor al 50% en la actualidad, podrían ser viables a futuro si sus valores son superiores al rango establecido. Para las otras tres condiciones se asume que en la actualidad hay buena AC, pero que a futuro esta condición puede disminuir o aumentar, pero seguirá estando por encima del umbral del 50%. Una vez aplicado el algoritmo es posible establecer la posible variación en productividad y en viabilidad del cultivo tal como se ilustra a continuación:

Productividad. Hay zonas que a futuro siguen estando por encima del umbral establecido. Pero sus valores pueden estar por debajo o por encima del valor de AC de la actualidad.



Viabilidad del cultivo. Para identificar zonas que a futuro serían viables para el establecimiento de cada cultivo, se tuvo en cuenta todos los tipos de AC. Inclusive las que están por debajo del umbral.



### **3.2 Resultados sensibilidad agrícola**

En esta parte del informe se presentan los resultados de los cambios de aptitud climática para los escenarios 2030 y 2050. No obstante, para poder estimar estos cambios, fue necesario generar los mapas de aptitud climática actual, a 2030 y a 2050, los cuales se pueden descargar del link del Anexo 2.

#### Colombia

Los cultivos analizados para Colombia cuyas modelaciones se consideraron aceptables son: Aguacate Hass, Aguacate Lorena, Arveja, Cítricos, Cacao, Café, Caña Azúcar, Caña Panelera, Fríjol, Maíz Tecnificado, Maíz Tradicional, Mango, Papa, Plátano, Tomate Chonto, Tomate de Árbol y Yuca.

Para el caso específico del Aguacate Hass (Figura 14) se observa el surgimiento de nuevas áreas aptas para los años 2030 y 2050 para los municipios de Salamina, Pensilvania y Marulanda del Departamento de Caldas, y para el municipio de Guitarilla en el Departamento de Nariño. No obstante, el municipio de Salamina (Caldas) presenta una pérdida de aptitud en algunas zonas. En Saboyá (Boyacá) las zonas aptas presentarán mejores condiciones a 2030. Igualmente se observa una pérdida fuerte en aptitud a 2050 para este cultivo en el municipio de Sevilla y El Águila en el departamento del Valle, Pijao y Calarcá en el departamento del Quindío. Pitalito (Huila) y Cajibío y Piendamó en el departamento del Cauca.

La ganancia de aptitud de nuevas zonas aptas para el 2050 en aguacate hass, se evidencia en los municipios de Chipaque, La Calera, Choachí, Fómeque y Ubaque en el Departamento de Cundinamarca, así mismo en Chinavita y Ramiriquí en el Departamento de Boyacá y San Juan de Pasto en el Departamento de Nariño. Los mayores cambios se concentran en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío.

# Aguacate hass

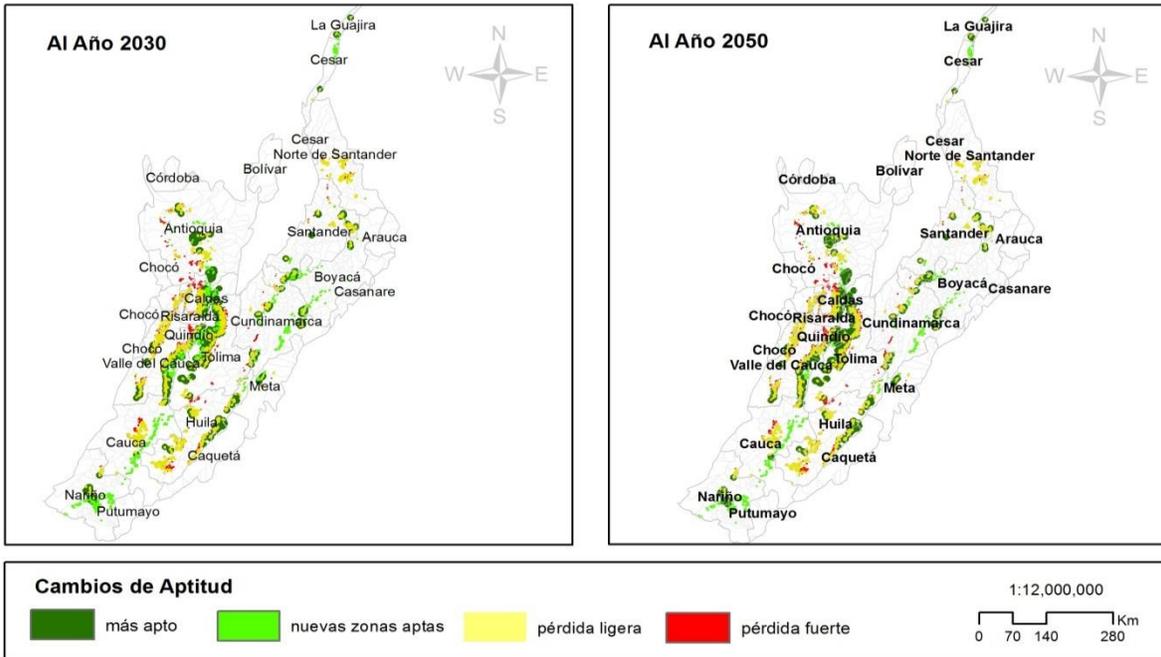


Figura 14. Cambios en aptitud climática del cultivo de aguacate hass para los escenarios 2030 y 2050

# Aguacate Lorena

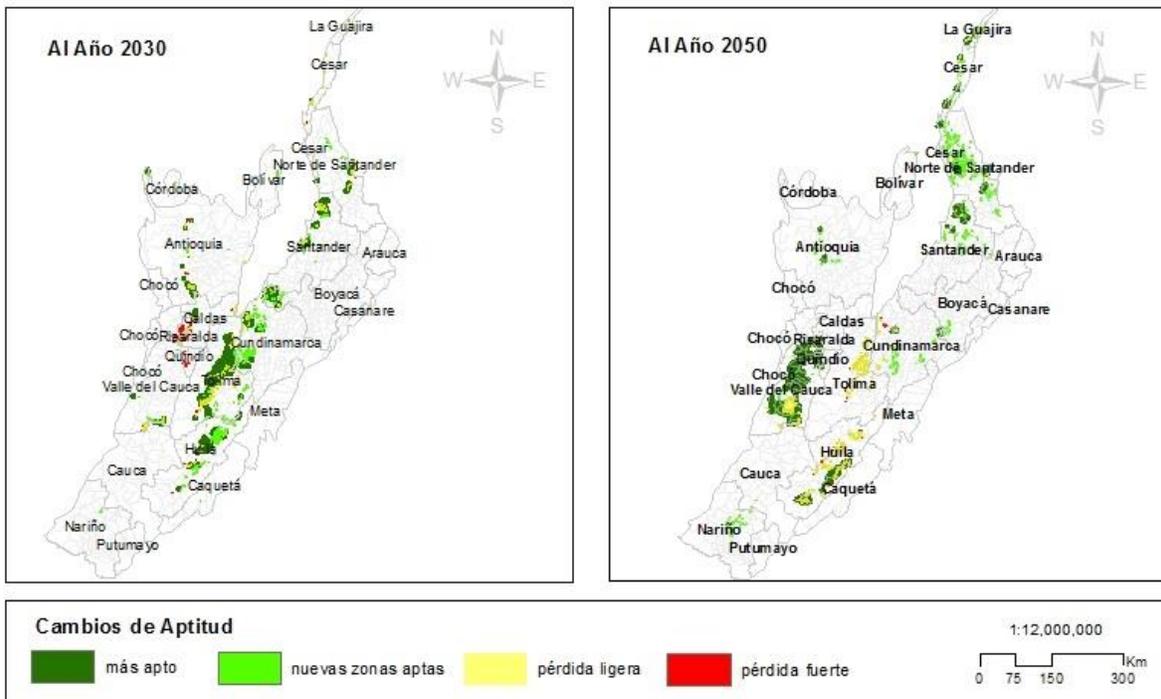


Figura 15. Cambios en aptitud climática del cultivo de aguacate lorena para los escenarios 2030 y 2050

En el caso de aguacate Lorena (Figura 15), se evidencia un gran cambio para el 2050 hacia el norte de la zona andina, en los Municipios de El Carmen, Convención, San Calixto, Ocaña, Hacarí, La Playa de Belén y Abrego en Norte de Santander. En el Departamento de Santander, municipio de Rio Negro se genera un cambio de pérdida ligera en 2030 a zonas más aptas en 2050; en municipios como Piedecuesta y los Santos, Villanueva, Curití y San Gil se da una ganancia de nuevas zonas aptas. Igualmente aparecen nuevas zonas en el departamento de Boyacá, en los municipios de Guateque y la Capilla. En el Departamento de Tolima se aprecia un gran cambio hacia 2050 en Municipios como Coello, Ibagué y Alvarado donde zonas que eran más aptas en 2030 pasan a ser zonas con pérdidas ligeras.

Los municipios de Buenavista, Calarcá y La Tebaida en el Departamento de Quindío, cambian su aptitud de pérdida fuerte en 2030 a zonas más aptas en 2050. En gran parte de los municipios de Valle del Cauca se evidencia zonas más aptas hacia el 2050 en municipios como Andalucía, Bolívar, Bugalagrande, Guadalajara de Buga, Riofrío, Roldanillo, San Pedro, Trujillo, Tuluá, Yotoco, Dagua, La Cumbre, Ansermanuevo, Toro y Yumbo. También se observa en este departamento zonas con pérdida ligera de aptitud para los municipios de Palmira y El Cerrito.

En Huila se generan cambios en el municipio de Garzón donde se gana zonas más aptas, y en el municipio de Palermo donde se prenotarán pérdidas ligeras de aptitud para este cultivo. En el Departamento de Nariño hay ganancias en nuevas zonas aptas en Municipios como el Tambo, Buesaco, La Florida y Nariño.

En general se observan los mayores cambios en los departamentos del Valle del Cauca y Tolima.

## Arveja

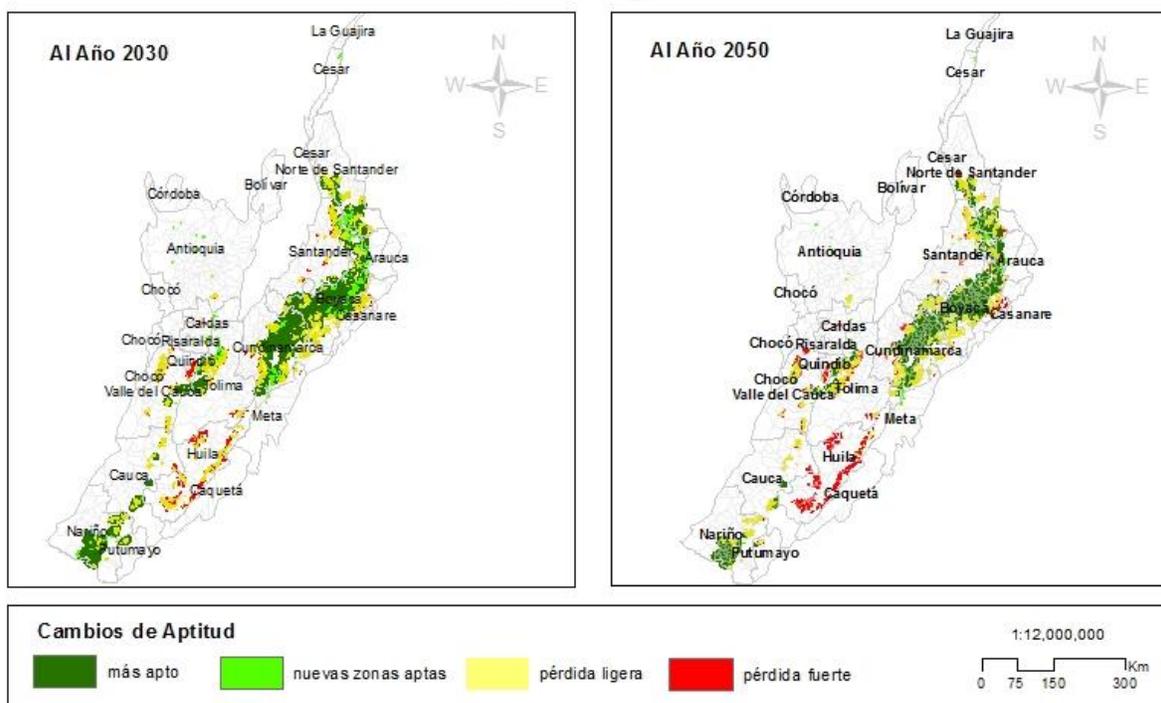


Figura 16. Cambios en aptitud climática del cultivo de la arveja para los escenarios 2030 y 2050

En el caso del cultivo de Arveja (Figura 16) se presenta cambios en los municipios de Gameza y Tasco en el departamento de Boyacá donde se pasa de tener nuevas zonas aptas en 2030 a tener zonas más aptas en 2050, así mismo sucede en Santo Domingo de los Silos en el Departamento de Norte de Santander.

Se evidencia un cambio fuerte al oriente del Departamento del Huila en Municipios como Algeciras y Gigante donde la aptitud cambia de zonas con pérdida ligera en 2030 a zonas con pérdida fuerte en 2050.

## Cacao

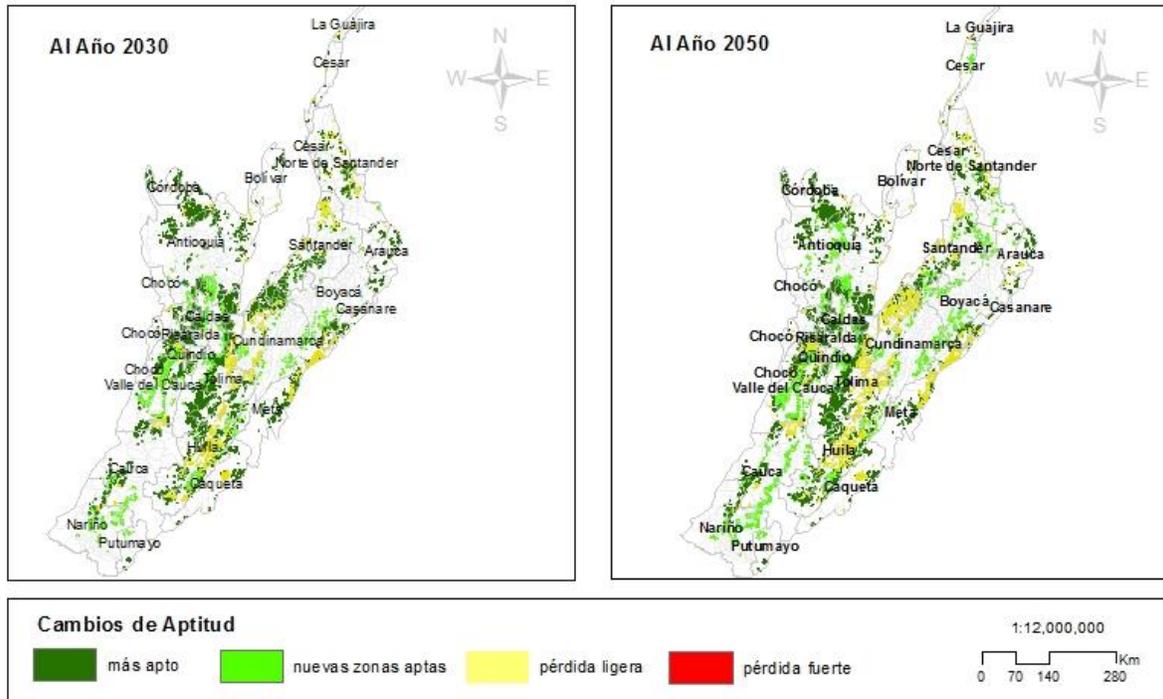


Figura 17. Cambios en aptitud climática del cultivo de cacao para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de Cacao (Figura 17) se aprecia ganancia en nuevas zonas aptas para el 2050 en el Municipio de Agustín Codazzi departamento del Cesar, en Arabuco y Gachantiva en el Departamento de Boyacá y en Almaguer, La Vega y San Sebastián en el Departamento del Cauca.

Se evidencia cambios en zonas más aptas del departamento de Cundinamarca, municipios como: Yacopí, Caparrapí, La Palma, que pasan a ser zonas con pérdida ligera.

Se puede apreciar zonas con ligera pérdida de aptitud en la zona céntrica de la región andina en el departamento del Tolima, sin embargo son más amplias las zonas donde la aptitud climática se incrementa, especialmente en la década del 2030.

## Cafe

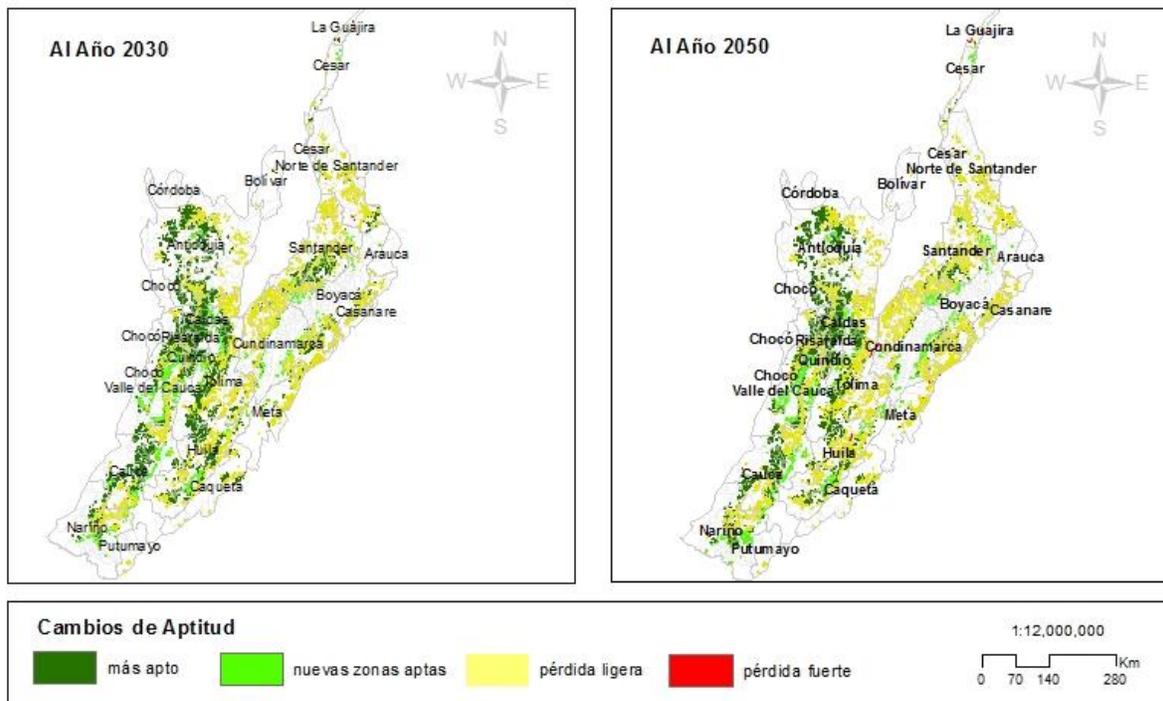


Figura 18. Cambios en aptitud climática del cultivo de café para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de café, se observa un aumento en zonas con pérdida fuerte en los municipios de Beltrán departamento de Cundinamarca y Venadillo departamento del Tolima para el 2050. En el municipio de Puente Nacional departamento de Santander se da un cambio de zonas con pérdida ligera con respecto a las zonas de la misma aptitud en 2030. Hay una ganancia de nuevas zonas aptas en los municipios de Altamira, Garzón, Guadalupe en el departamento del Huila y en el municipio de San Juan de Pasto Departamento de Nariño.

No se observan cambios fuertes para este cultivo a nivel de país.

Para el caso de la Caña de azúcar se nota un aumento en nuevas zonas aptas para el 2050 en los municipios de El Tambo, Sandoná y Consacá en el Departamento de Nariño, también en el municipio la Palaya de Belén departamento de Norte de Santander y algunas zonas del municipio San Vicente del Caguán en el Departamento de Caquetá. Además se presentan cambios de zonas “más aptas” en 2030 en el departamento del Valle del Cauca en los municipios de Florida, Candelaria y Pradera que pasan a ser zonas con pérdida ligera en el 2050.

El cambio más evidente se aprecia en el sur del Departamento Valle del cauca.

# Caña Azucar

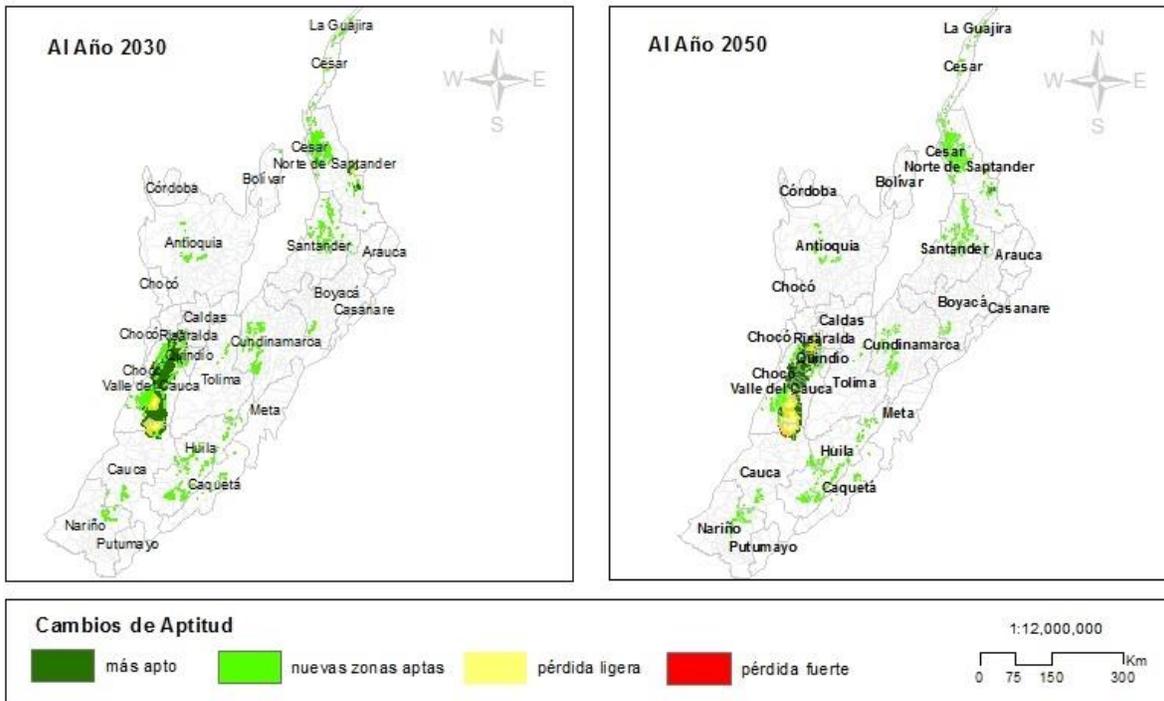


Figura 19. Cambios en aptitud climática del cultivo de caña de azúcar para los escenarios 2030 y 2050

# Caña Panelera

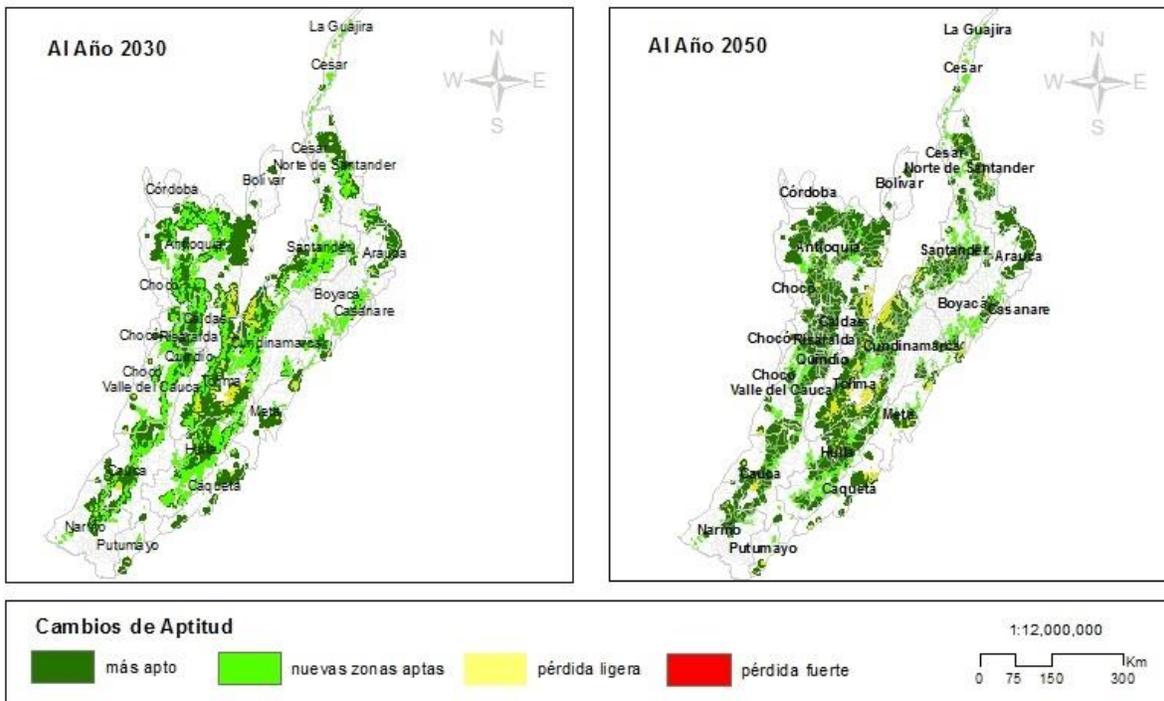


Figura 20. Cambios en aptitud climática del cultivo de caña panelera para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de caña panelera, los cambios se presentan en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío donde se aprecia un cambio de nuevas zonas aptas en 2030 a zonas más aptas en 2050. En general los cambios parecen beneficiar la aptitud de este cultivo en la zona Andina.

## Citricos

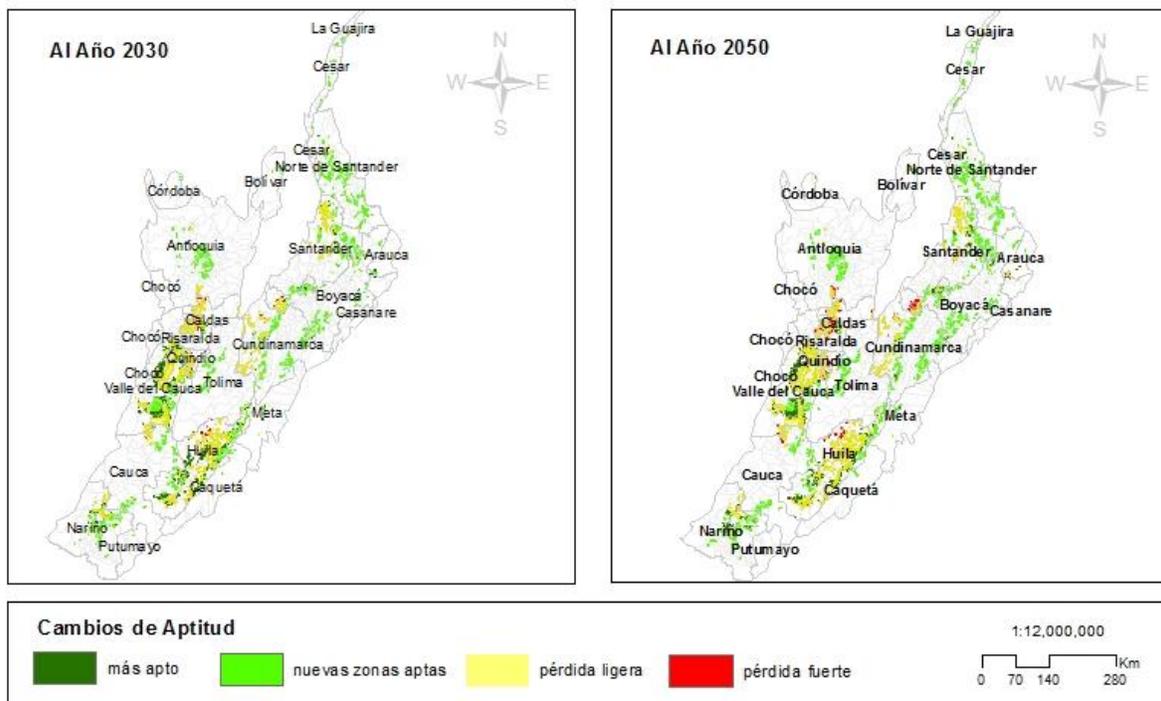


Figura 21. Cambios en aptitud climática de los cultivos de cítricos para los escenarios 2030 y 2050

Para los cultivos de cítricos, se evidencian cambios al occidente del departamento de Boyacá en los municipios de Muzo, Pauna, Maripi, donde las zonas de pérdida fuerte aumentan en el 2050. En el Municipio San Pedro de los Milagros del Departamento de Antioquia se presenta un aumento de nuevas zonas aptas para el 2050.

En cuanto a Fríjol, los mapas muestran cambios negativos en la aptitud en los Departamentos de Santander, Norte de Santander, Cundinamarca, Huila y Antioquia, especialmente fuertes hacia el año 2050 (ver Figura 22). Las pérdidas más fuertes se espera ocurran en los municipios de Charalá (Santander), Municipios de Arboledas y Durania (Norte de Santander), Municipio de Falan (Tolima), Municipio de Pitalito (Huila) y en los municipios ubicados en el norte del departamento de Antioquia.

Se prevé un aumento de zonas mas aptas en el municipio de Umbita (Boyaca), en los municipios de La Calera y Choachí (Cundinamarca) y en los Municipios de Imués y Providencia (Nariño).

# Frijol

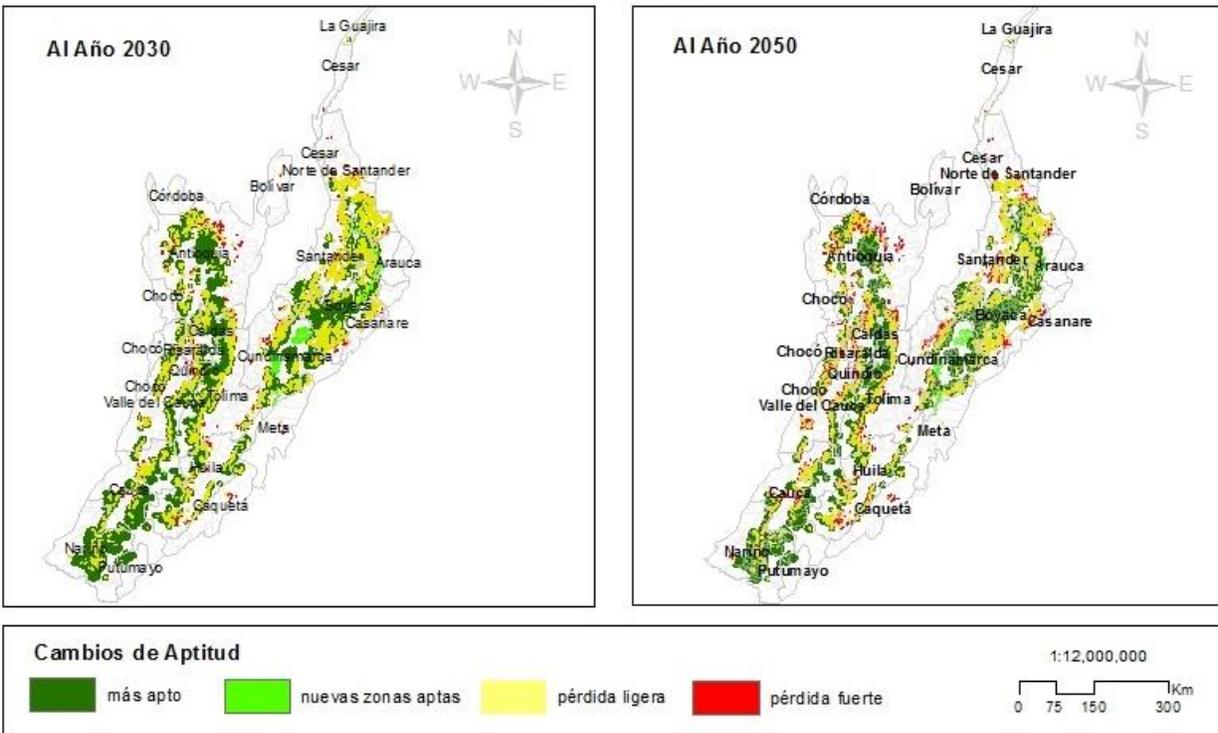


Figura 22. Cambios en aptitud climática del cultivo de Frijol andino para los escenarios 2030 y 2050

# Maíz tecnificado (1200a1800m)

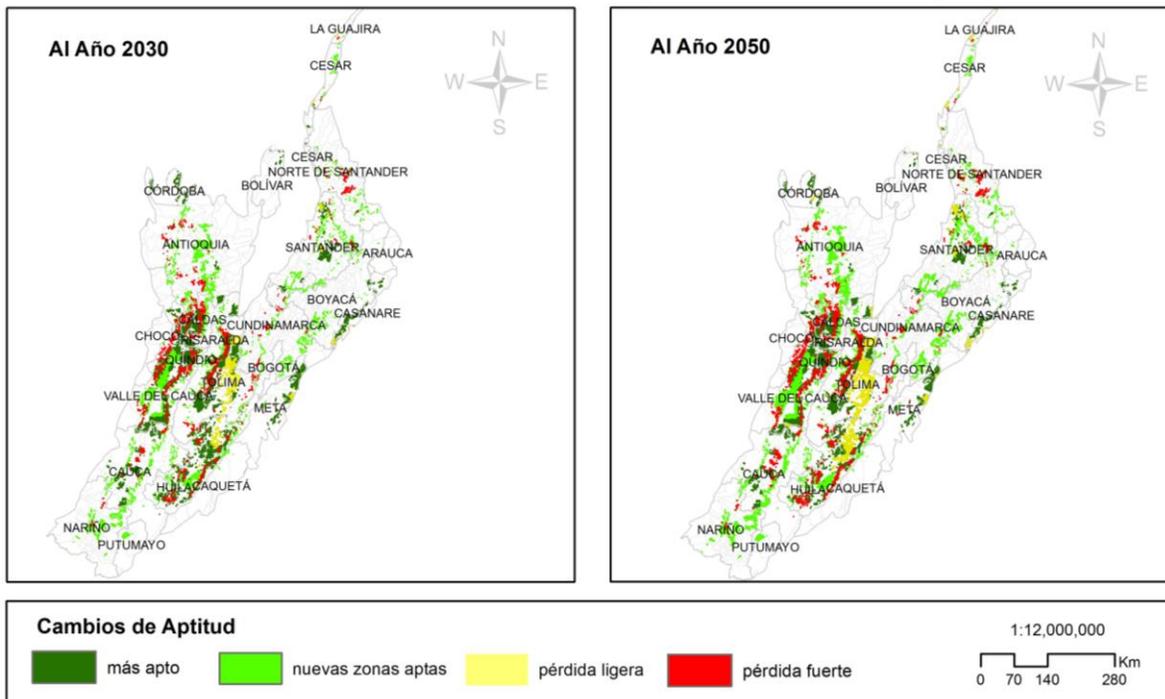


Figura 23. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz tecnificado para los escenarios 2030 y 2050

En el caso de maíz tecnificado (ver Figura 23) , que para este caso significa que se encuentra en un rango de aptitud entre los 1200 y 1800 msnm, con pendientes de terreno moderadas donde se hace más fácil la mecanización para la preparación del suelo, y otros procesos del cuidado del terreno y de la planta. Los mayores cambios de aptitud para el 2050 se pueden apreciar en los Departamentos del Valle del Cauca, Huila, Tolima y Caldas. Se observa una tendencia muy fuerte a pérdidas de aptitud en algunos municipios como Pitalito y Santa María (Huila), municipio de Piendamó (Cauca), municipio del Rosario (Nariño), municipios de Sevilla, Caicedonia, Trujillo y Riofrío (Valle del Cauca), municipio de Rovira (Tolima).

Se evidencian cambios para el 2050 para nuevas zonas aptas en los Municipios de La Unión de Sucre, Abejorral y Sonsón (Antioquia), municipios de Girón, Bolívar, San Andrés de Cuerquia y Chipatá (Santander).

## Maiz Tradicional

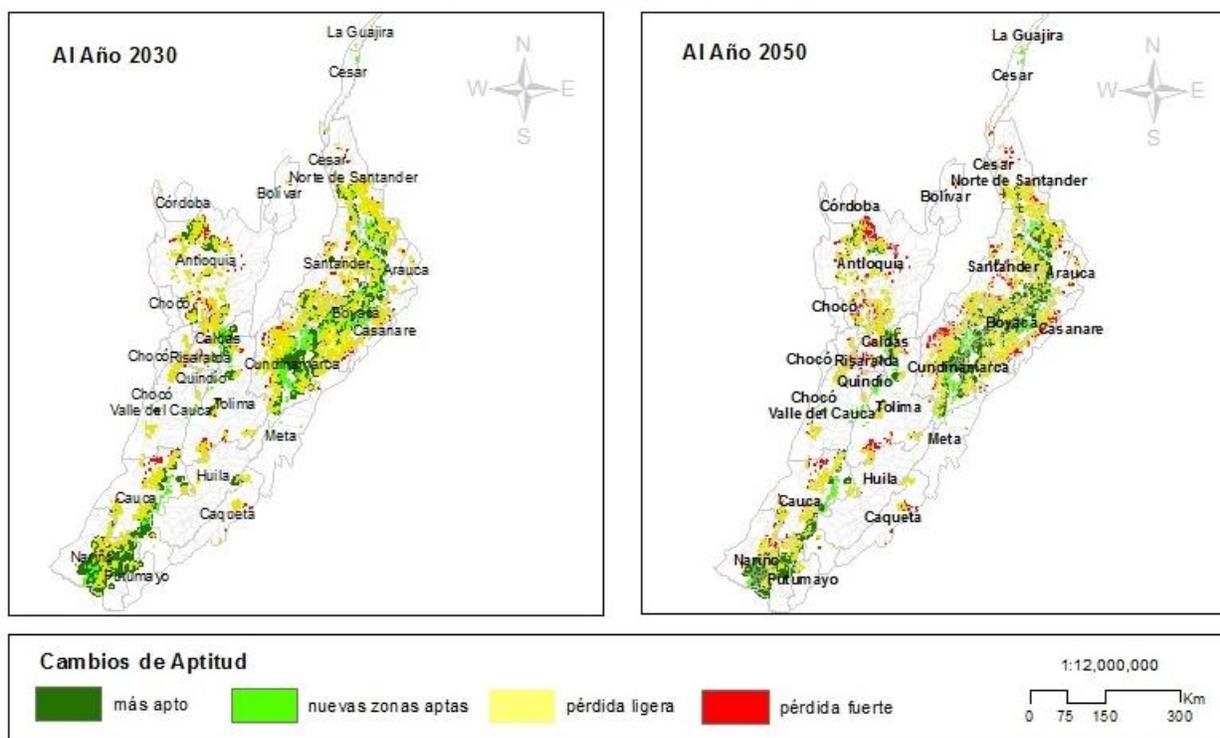


Figura 24. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz tradicional para los escenarios 2030 y 2050

Los cambios negativos más representativos en el cultivo de maíz tradicional pueden observarse en los Departamentos de Cundinamarca, Tolima, Cauca y Nariño (Figura 24). En los Municipios de Yacopí, La Palma y Topaipí (Cundinamarca) y en los municipios de Planadas y Ataco (Tolima) se ve un área extensa afectada de manera negativa para el año 2050.

En el Departamento del Cauca en los Municipios de Puracé y Totoró se presenta un aumento en nuevas zonas aptas para el 2050, de igual manera en el municipio de Cumbal (Nariño) se evidencia un aumento en algunas áreas de la zona oriental del Municipio.

El análisis espacial muestra un cambio en zonas más aptas en 2030 a zonas con pérdida ligera para el 2050 en los Municipios de Colón, San Francisco y Sibundoy en el Departamento de Putumayo, y en los Municipios de El Tablón de Gómez y La Cruz en el Departamento de Nariño.

## Mango

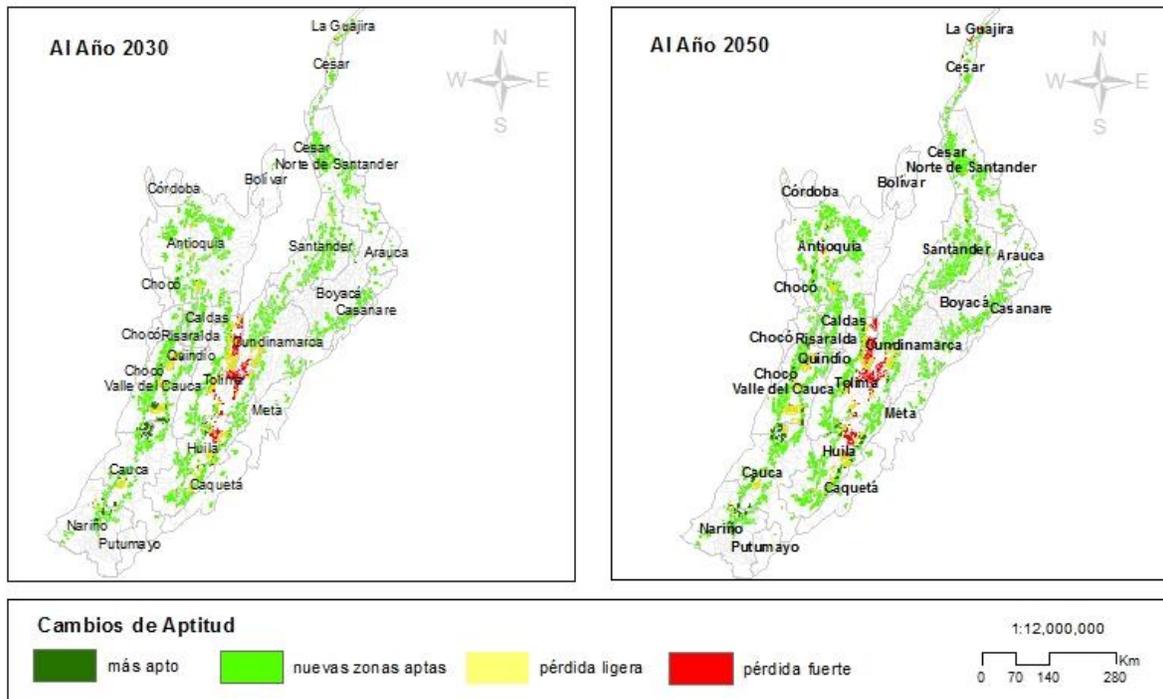


Figura 25. Cambios en aptitud climática del cultivo de mango para los escenarios 2030 y 2050

En cuanto al cultivo de mango (Figura 25), una vista general permite evidenciar un aumento de nuevas áreas a 2050 en relación con las de 2030, se aprecian cambios en los Departamentos de Valle del Cauca, Santander, Tolima y Huila. En el Departamento de Santander se evidencia un aumento de nuevas zonas aptas en sus municipios, tales como Los Santos, Oiba, Charalá, Zapatoca y Suaita entre otros.

En los municipios de Coello y Piedras en el Departamento del Tolima y en el Municipio de Campoalegre en el Departamento del Huila, se presenta un aumento de zonas con pérdida fuerte para 2050. En los Municipios de Palmira, Florida y Santander de Quilichao en El Departamento del Valle del Cauca se aprecia una pérdida en zonas que en 2030 se clasifican como *más aptas* y en 2050 pasan a ser zonas con pérdidas ligeras.

# Papa

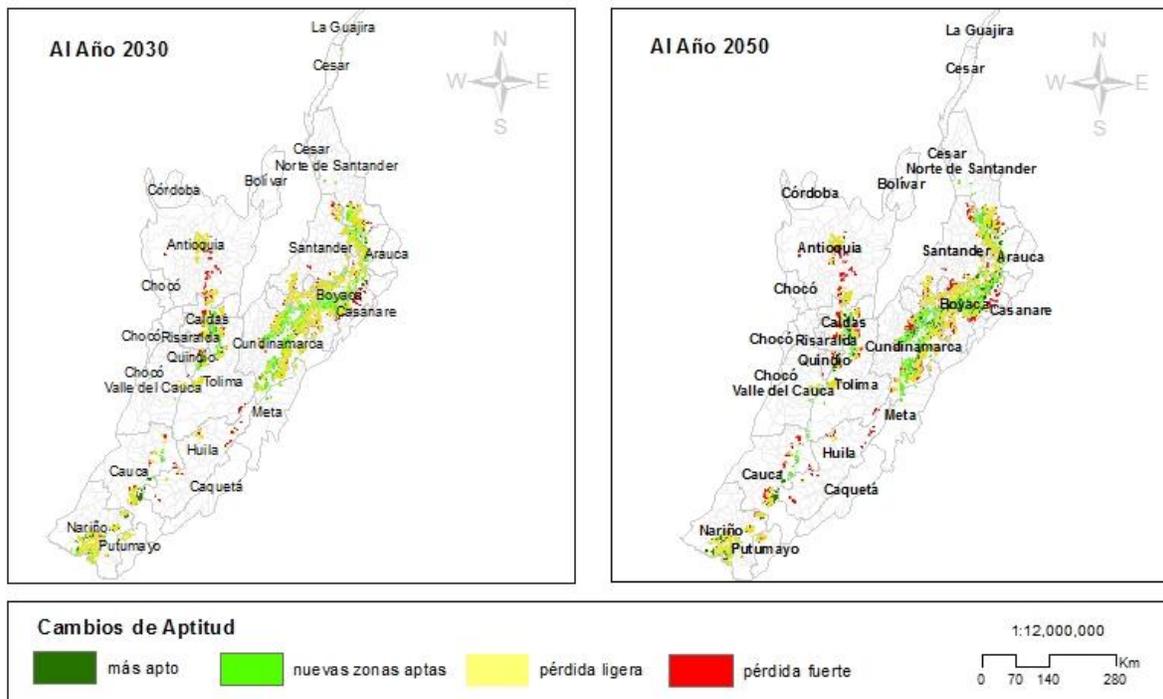


Figura 26. Cambios en aptitud climática del cultivo de papa para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de la papa (Figura 26), de forma general se evidencian cambios en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Nariño. En los Municipios de Toca y Tuta (Boyacá), Subachoque, Facatativá, Susa, Fúquene y Bogotá (Cundinamarca), se presenta un aumento en nuevas zonas aptas para el cultivo en 2050. Pero se observa pérdida fuerte en los municipios de Colón, San Francisco y Sibundoy (Putumayo), Municipio de Pacho (Cundinamarca) y el municipio de Gámbita (Santander).

Para el 2050 en los municipios de La Cruz y Túquerres en el Departamento de Nariño se presenta una pérdida ligera en zonas que clasificadas como *más aptas* en el 2030.

Una vista general para el cultivo de plátano (ver Figura 27) permite ver cambios en los Departamentos de Cesar, Norte de Santander, Santander, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. En el caso de los municipios de Becerril, Chiriguana y Pailitas (Cesar), El Carmen y Abrego (Norte de Santander), municipios de Curití, Charalá, Gámbita, Guavatá, Los Santos y Piedecuesta (Santander), municipios de Amalfi, Angostura, Santo Domingo (Antioquia), municipios de Palmira, La Cumbre, Vijes, Guacarí (Valle del Cauca) y municipios de Cajibío, Caldonó, Toribío y Popayán (Cauca) presentan un aumento de nuevas zonas aptas para el cultivo en 2050. En los Municipios de Caloto y Corinto se evidencia la pérdida de zonas más aptas en 2030 y un aumento de zonas con pérdida ligera en 2050. En el Municipio de Medina en el Departamento de Cundinamarca se visualiza un leve incremento de zonas con pérdida fuerte en 2050.

# Platano

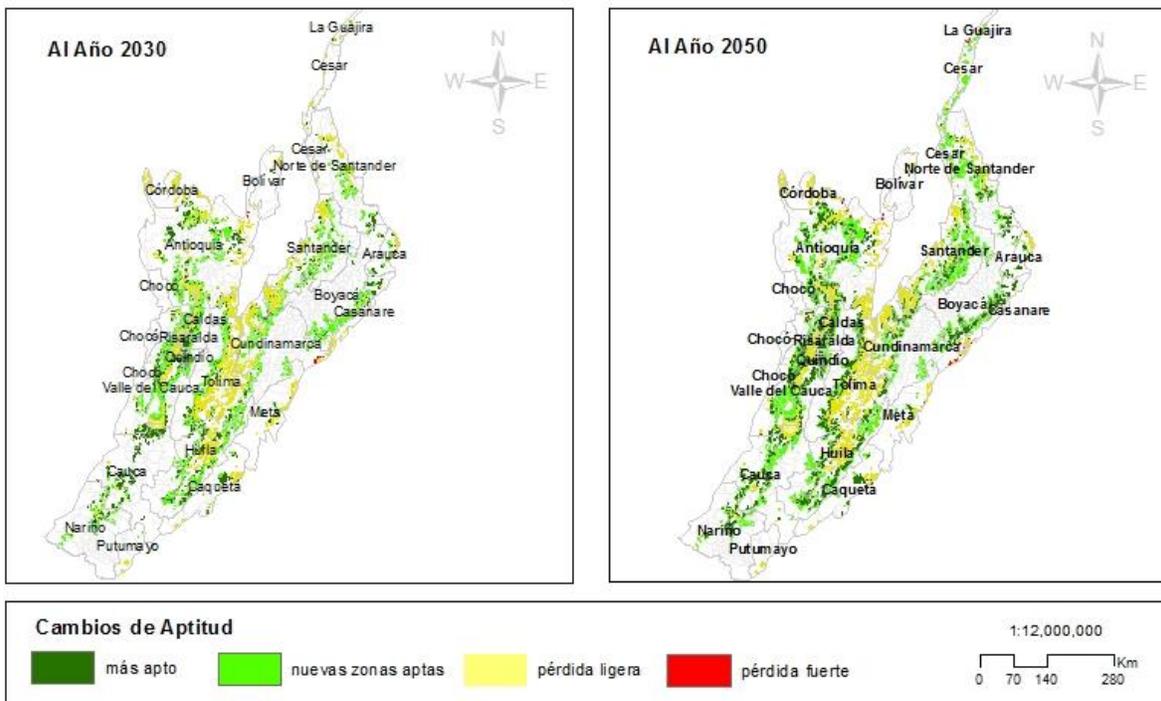


Figura 27. Cambios en aptitud climática del cultivo de plátano para los escenarios 2030 y 2050

# Tomate de Arbol

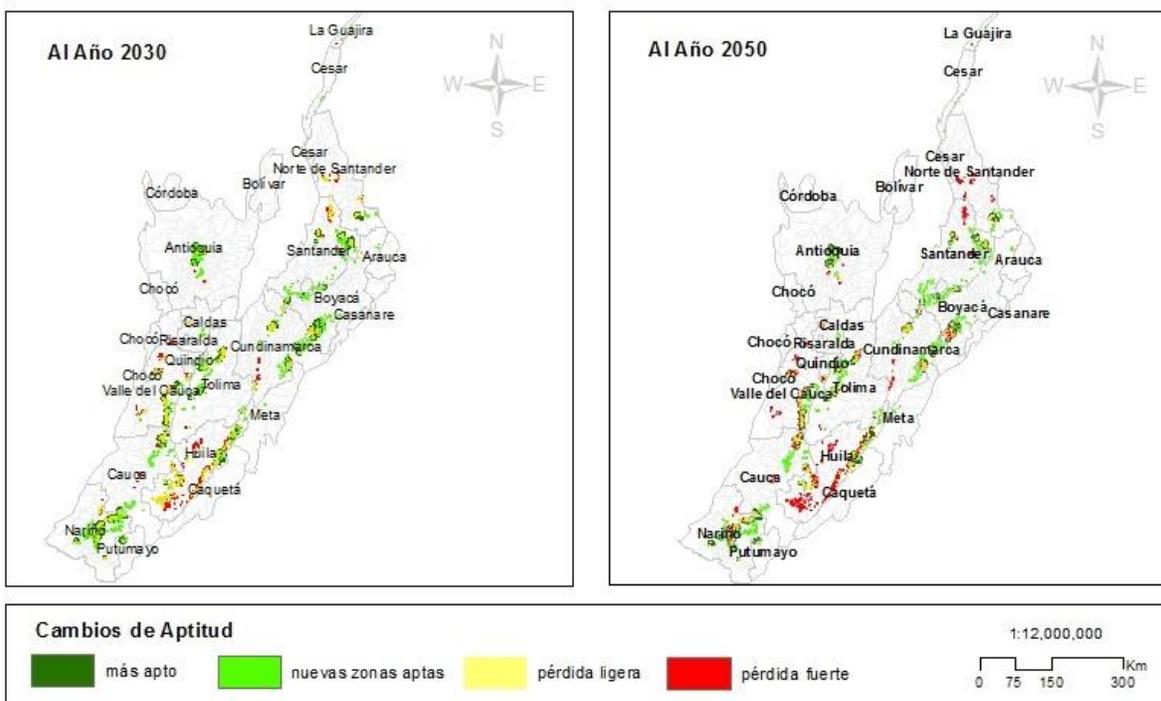


Figura 28. Cambios en aptitud climática del cultivo de tomate de árbol para los escenarios 2030 y 2050

En cuanto a tomate de árbol (ver Figura 28) La comparación de los mapas muestra de forma general cambios en los departamentos de Huila, Santander, Boyacá, Cauca y Valle del Cauca. En los mapas sobresalen algunos cambios donde la aptitud del cultivo pasa de tener una pérdida ligera en 2030 a pérdida fuerte en 2050. Esto último ocurre especialmente en los municipios de Isnos, San Agustín, Guadalupe, Garzón y Gigante (Huila), en el Municipio de Toribío (Cauca), en los municipios de Yumbo y Bolívar (Valle del Cauca), en el municipio de Abrego (Norte de Santander), municipio de Matanza en el Departamento de Santander,.

En los Municipios de Saboyá, Arcabuco, Gachantivá (Boyacá) se aprecia un aumento en nuevas zonas aptas para el cultivo a 2050. En el mismo Departamento en los Municipios de Garagoa, Pachavita, La Capilla se aprecia un cambio de zonas con pérdida fuerte a 2050. En el Municipio de Silvia Departamento del Cauca y en los Municipios de Buesaco, El Tablón de Gómez y Funes del Departamento de Nariño, también presentan un aumento de nuevas zonas aptas para el cultivo.

## Tomate Chonto

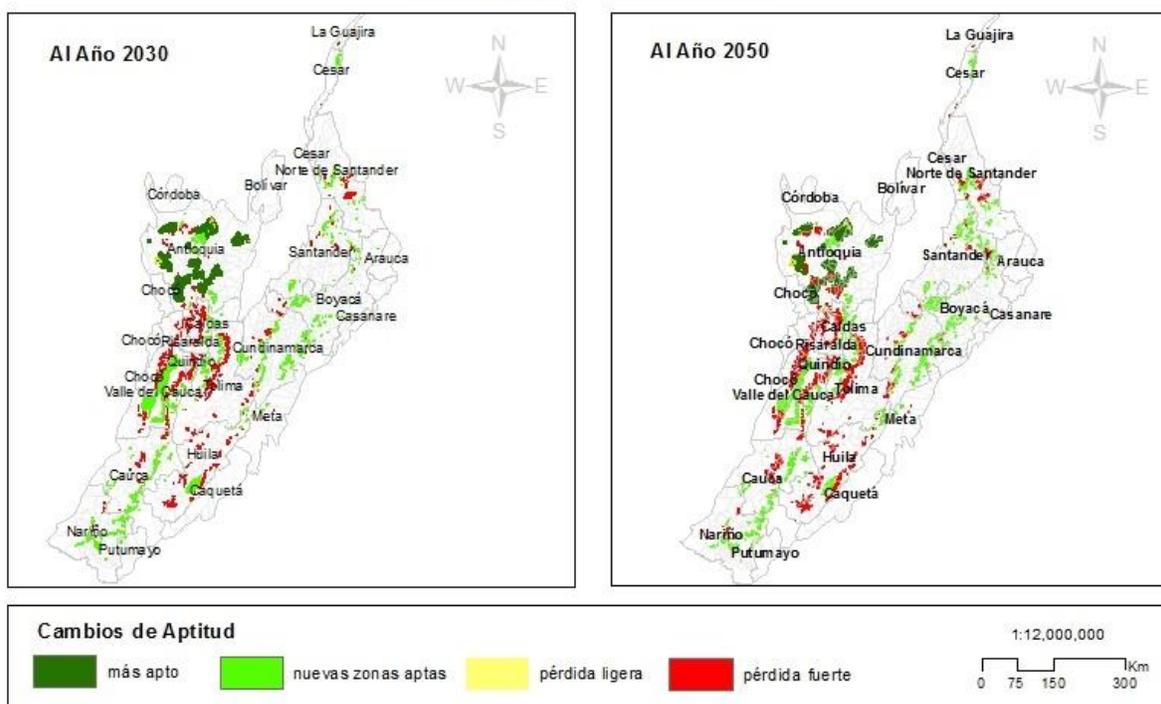


Figura 29. Cambios en aptitud climática del cultivo de tomate chonto para los escenarios 2030 y 2050

En cuanto al cultivo de tomate chonto (ver Figura 29), se observan zonas con pérdida fuerte de aptitud del cultivo para las departamentos del eje cafetero, Tolima y Cundinamarca. En los Municipios de Tinjacá, Chiquinquirá, San Miguel de Sema en el Departamento de Boyacá, en los Municipios de Ragonvalia, Bucarasica en Norte de Santander, se observa un aumento de nuevas zonas aptas a 2050. Los cambios de aptitud entre el año 2030 y el año 2050 son muy pocos. Básicamente el mayor impacto se concentra en el año 2030.

# Yuca

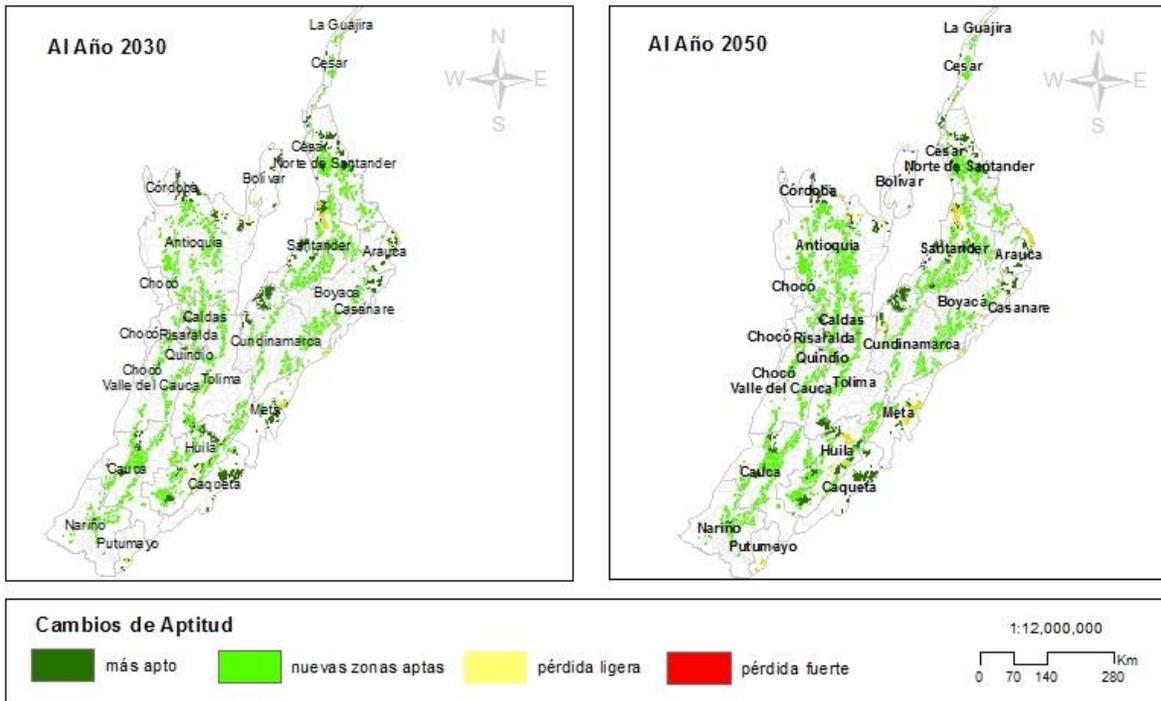


Figura 30. Cambios en aptitud climática del cultivo de yuca para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de yuca (ver Figura 30), se observa en general una ganancia de aptitud de este cultivo a través de la región andina colombiana. Esto se da especialmente en las zonas más bajas, dado que la aptitud climática generalmente se encuentra en zonas de baja altitud, y con los escenarios de cambio climático las zonas de más baja altitud de la región Andina mejoraran sus condiciones climáticas para este cultivo.

En algunos municipios que se encuentran en la región Andina pero cuya localización altitudinal es baja, y que actualmente presentan buenas condiciones de aptitud climática muestran que a 2050 la aptitud se va a reducir levemente. Esto se da especialmente en los municipios de Lejanías y Mesetas (Meta), en el municipio de Orito (Putumayo), en el municipio de Neiva (Huila) y en el municipio de Rionegro (Santander).

De acuerdo a los resultados arrojados por el modelo Ecocrop, Aguacate hass, Arveja, Fríjol, Mango y Papa son cultivos que verán gran parte de las áreas actualmente aptas impactadas negativamente por el cambio climático, principalmente por el aumento en la temperatura de la zona andina. No obstante, los cultivos de mango y tomate de árbol presentarán nuevas áreas con potencial de siembra. Se observa un desplazamiento ascendente de las zonas aptas para el cultivo de la papa, lo que indica que zonas que actualmente están en ecosistemas de páramo en el futuro tendrán una mayor presión de los cultivadores de papa. La mayoría de estos cultivos son típicos de zonas andinas, y el aumento de

temperatura y cambio en las precipitaciones hacen que su aptitud disminuya hasta tal punto que difícilmente se pueden seguir sembrando en zonas de los andes, y por lo tanto podría obligar a un desplazamiento de la agricultura a las zonas más altas de la región andina, lo que posiblemente genere gran presión sobre áreas estratégicas para la protección del recurso hídrico.

Los cultivos de aguacate lorena, caña de azúcar, caña panelera y yuca tendrán un aumento considerable de nuevas áreas aptas. Lo anterior se explica en parte porque estos cultivos actualmente se encuentran sembrados en áreas relativamente bajas, y con el aumento de la temperatura se espera que la aptitud de la mayoría de los cultivos se desplace hacia zonas más altas. Estos cultivos generalmente se encuentran sembrados en las partes más bajas de la región andina, y en algunos casos como zonas marginales (partes más altas), y por lo tanto, poco a poco irán ganando aptitud en la zona baja y media de los Andes.

En cuanto a cambios en productividad de áreas actualmente sembradas, se espera un balance negativo especialmente para café y cítricos; y un balance positivo para caña panelera, aguacate lorena, cacao, fríjol andino, maíz tecnificado (altura entre los 1200 a 1800 m.s.n.m), tomate chonto y yuca.

## Ecuador

En el caso de Ecuador, los cultivos analizados y cuyos resultados fueron coherentes con las estadísticas cantonales fueron: Arveja, Cacao, Café, Cebada, Frijol, Haba, Maíz Grano Seco, Naranja, Papa, Plátano, Trigo y Yuca.

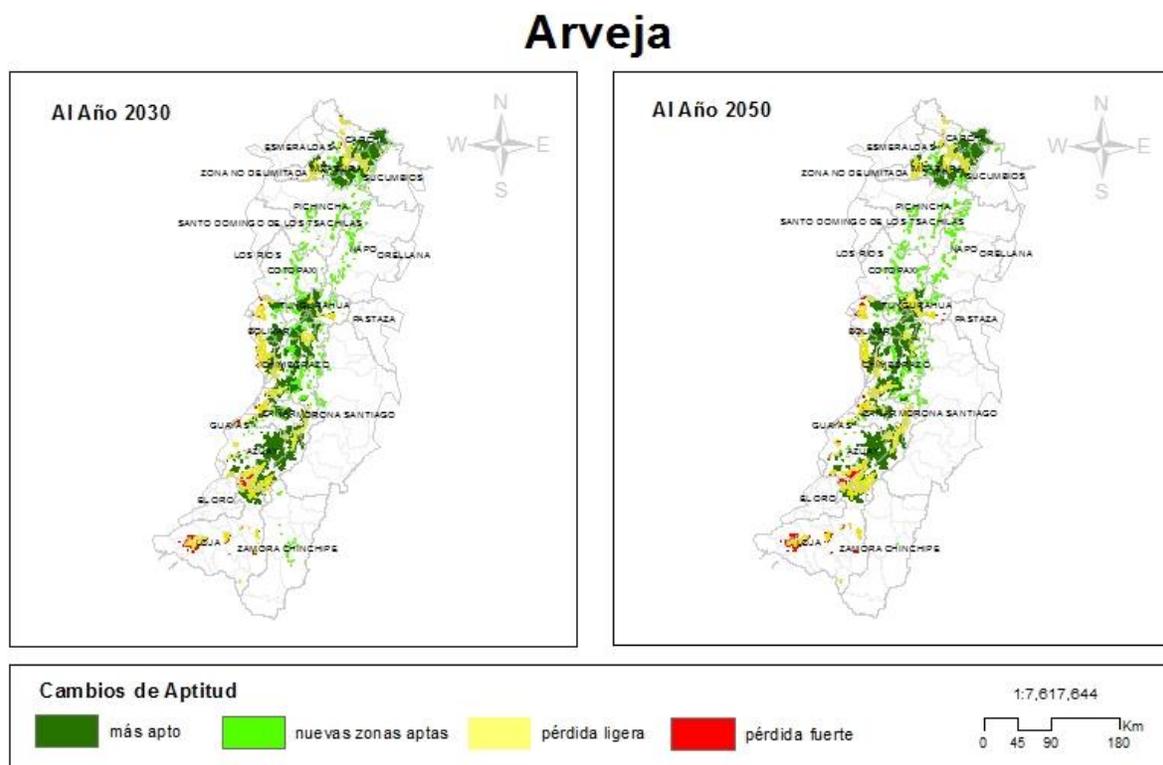


Figura 31. Cambios en aptitud climática del cultivo de arveja para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de arveja (ver Figura 31), se observan cambios de aptitud en las Provincias de Tungurahua, Chimborazo y Azuay. En general, las áreas más bajas perderán algo de aptitud mientras que las más altas ganarán aptitud climática. En el Cantón de Ambato Provincia de Tungurahua se visualiza un aumento de zonas con pérdida ligera para el 2050, este fenómeno es similar en el Cantón de Alausí Provincia de Chimborazo donde zonas aptas sufrirían pérdida ligera. En el Cantón de Santa Isabel Provincia de Azuay, en los Cantones de Celica y Paltas en la Provincia de Loja, hay un aumento de zonas con pérdida fuerte para 2050.

En los Cantones de Guamote y Alausí en la Provincia de Chimborazo se observa un leve aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050.

En el escenario 2050 en comparación con el escenario de 2030, en términos generales se observa que en las zonas más baja ampliarán un poco la superficie con pérdidas ligeras, y las más altas ampliarán un poco la superficie que gana aptitud.

# Cacao

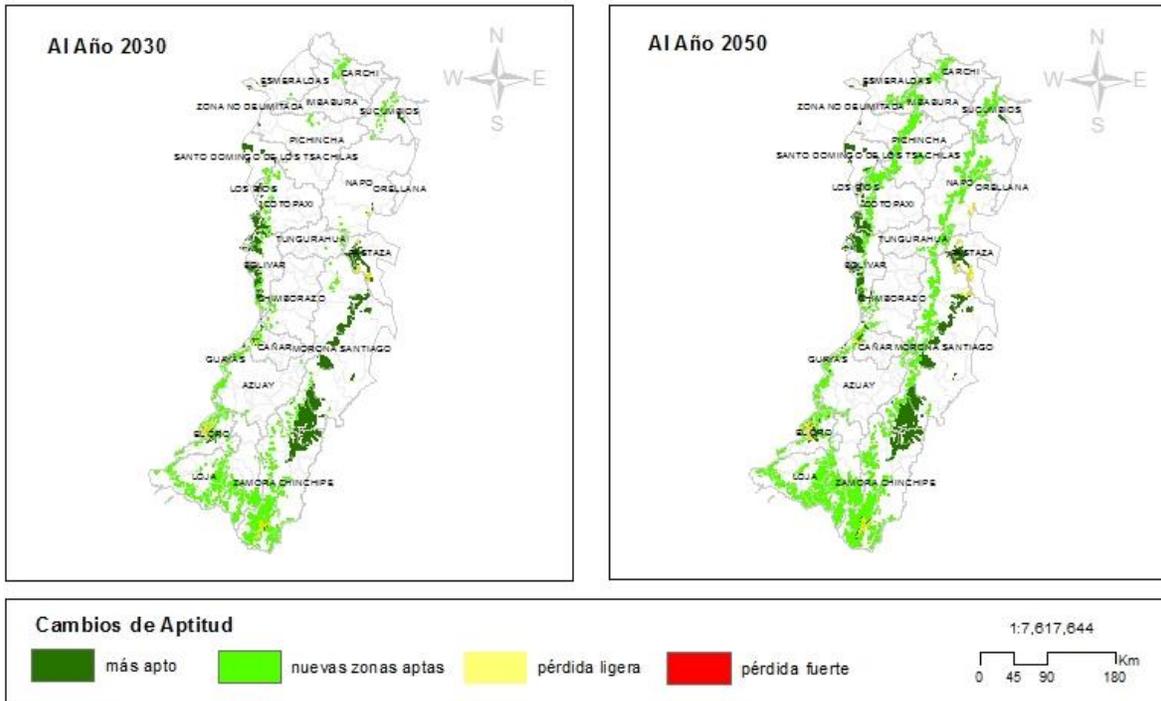


Figura 32. Cambios en aptitud climática del cultivo de cacao para los escenarios 2030 y 2050

En el cultivo de cacao (ver Figura 32), para el año 2030 se observa una ganancia de nuevas áreas aptas hacia el sur del país, mientras que para el 2050 las nuevas áreas aptas aparecen a lo largo de la región Andina, especialmente las áreas localizadas en las zonas altitudinalmente más bajas. Se evidencia un aumento de áreas aptas para las provincias como Loja, Pichincha, Imbabura y Napo. En el Cantón de Quito Provincia de Pichincha, en el Cantón de Pablo Sexto en la Provincia de Morona Santiago, en el Cantón de El Chaco en la Provincia de Napo y los Cantones de Gonzanamá y Loja en la Provincia de Loja, se aprecia un aumento de nuevas zonas aptas para el escenario de 2050. No obstante, se observa una leve pérdida ligera para el 2050 en el Cantón de Huamboya en la Provincia de Morona Santiago.

También es importante apreciar la disminución de zonas más aptas en el escenario 2050 como se observa en el Cantón de Pastaza en la Provincia de Pastaza, en el Cantón de Huamboya en la Provincia de Morona Santiago y el Cantón de Cañar en la Provincia de Cañar.

# Café

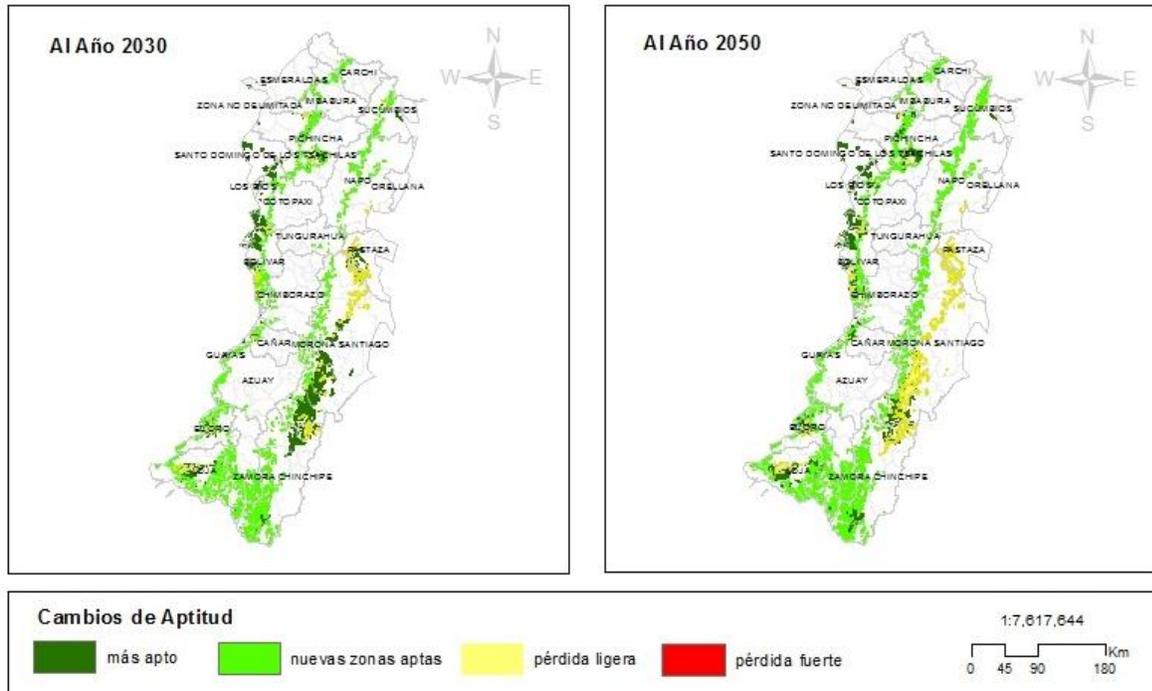


Figura 33. Cambios en aptitud climática del cultivo de café para los escenarios 2030 y 2050

En el cultivo de café (Figura 33), los mapas muestran un desplazamiento de la aptitud climática del cultivo en forma altitudinalmente ascendente, esto explicado por el aumento de la temperatura. Las zonas medias de la región andina que se encuentran en el costado amazónico presentarán pérdida de zonas aptas, zonas que se desplazarán paulatinamente hacia la región central de los Andes en la zona contiguamente superior a la zona cafetera actual. Algunas provincias afectadas positiva y negativamente son: Morona Santiago, Pastaza y Sucumbíos. En los Cantones de Sucumbíos y Gonzalo Pizarro en la Provincia de Sucumbíos y en los Cantones de Catamayo y Macará en la Provincia de Loja hay un aumento de nuevas áreas catalogadas como *nuevas zonas aptas* para el escenario 2050.

Algunos puntos a resaltar entre los escenarios 2030 y 2050 es que en los Cantones de San Juan Bosco, Limón Indanza y Santiago de la Provincia de Morona Santiago se evidencia un cambio de aptitud de más apto en 2030 a pérdida ligera en 2050, de igual manera este cambio también ocurre en el Cantón de Pastaza en la Provincia de Pastaza.

# Cebada

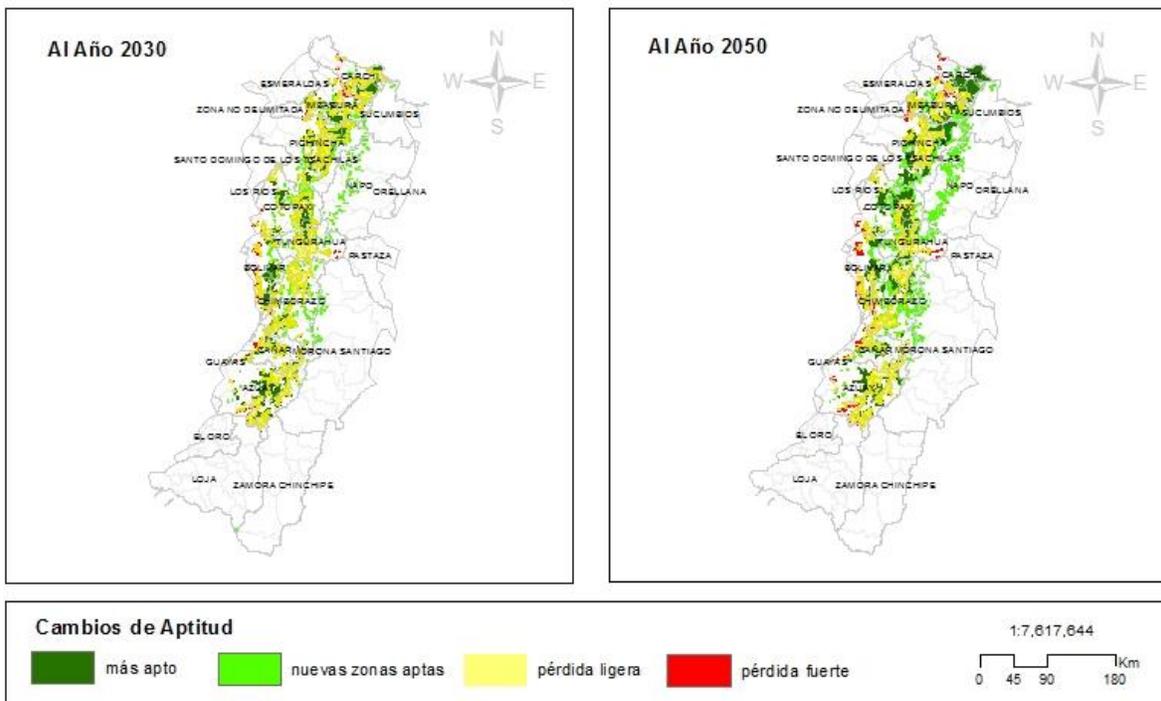


Figura 34. Cambios en aptitud climática del cultivo de cebada para los escenarios 2030 y 2050

En términos generales la afectación de la aptitud climática de la cebada es ligeramente negativa (Figura 34). No obstante, se observan que nuevas áreas aptas surgirán hacia la zona norte de la región andina. En los cantones de Tulcán, Montufar y Espejo en la Provincia de Carchi y el cantón de Cayambe en la Provincia de Pichincha se da un cambio de aptitud y aumento de zonas más aptas para 2050. En el Cantón de Guaranda en la Provincia de Bolívar se dan varios cambios de aptitud, en la zona norte hay aumento de zonas más aptas para 2050, en la zona occidental del cantón algunas zonas con pérdida ligera y en algunos casos con pérdida fuerte, y para zona sur del cantón hay un aumento de zonas con pérdida ligera. En los Cantones de Girón y zona sur de Azuay en la Provincia de Azuay hay un incremento de zonas con pérdida fuerte en el escenario 2050. A las márgenes occidentales de los Cantones de Tena, Archidona, Quijos y El Chaco de la Provincia de Napo hay un aumento en aptitud de nuevas zonas aptas en 2050.

Comparando los escenarios 2030 y 2050 es notable el aumento de zonas con nuevas zonas aptas. Una comparación rápida entre los escenarios 2030 y 2050 permite distinguir cambios en Provincias tales como: Carchi, Imbabura, Cotopaxi, Bolívar, Napo y Azuay.

# Fríjol

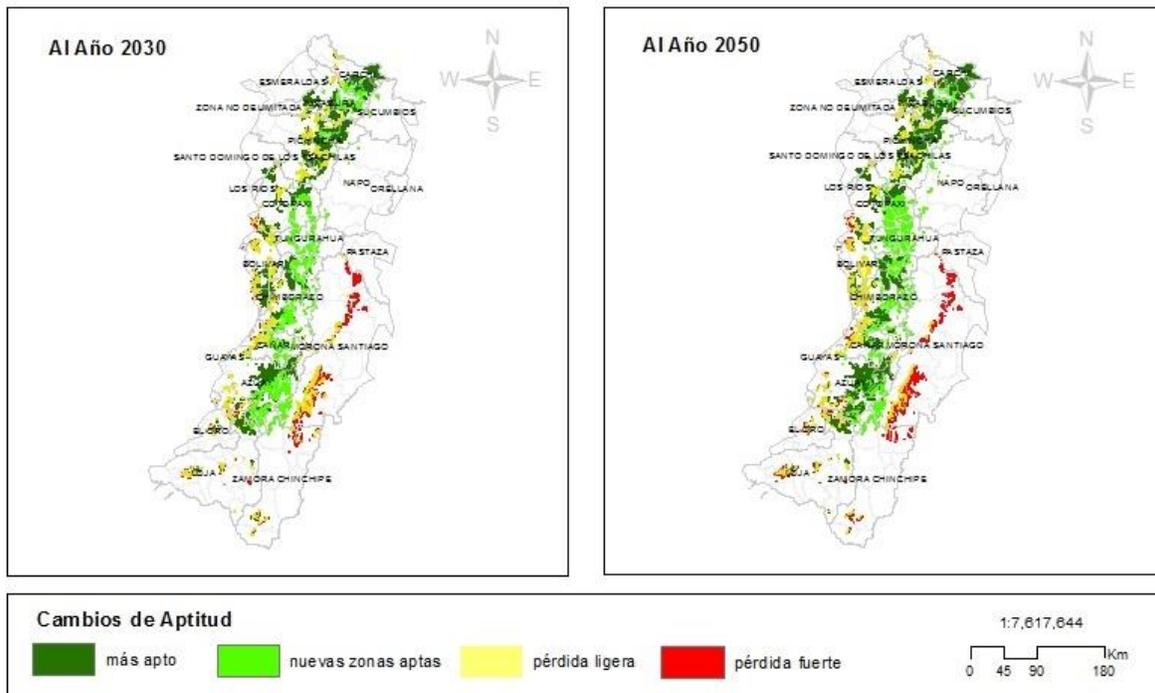


Figura 35. Cambios en aptitud climática del cultivo de fríjol para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de Fríjol (Figura 35), una comparación general permite evidenciar cambios de aptitudes en las Provincias de Tungurahua, Morona Santiago, Bolívar y Azuay. En los Cantones de Ambato y Santiago de Pillaro en la Provincia de Tungurahua, en el Cantón de Sigsig en la Provincia de Azuay y en los Cantones de Latacunga, Pujilí y Salcedo en la Provincia de Cotopaxi, se visualiza un incremento para 2050 de nuevas zonas aptas. Se observa igualmente un cambio en los Cantones de Gualaquiza y San Juan Bosco en la Provincia de Morona Santiago, donde la aptitud evoluciona de pérdida ligera en 2030 a pérdida fuerte en 2050. En los Cantones de San Miguel y Chimbo en Bolívar se evidencia un cambio de zonas más aptas en 2030 a zonas con pérdida ligera en 2050.

En el caso del cultivo de haba (ver Figura 36), en general, de acuerdo con los escenarios de cambio climático el cambio de aptitud para este cultivo será muy positivo, ya que a lo largo de la región andina se observan la aparición de nuevas áreas aptas. A nivel general los cambios son más evidentes en cuestión de nuevas zonas aptas para el escenario 2050 en Provincias de Sucumbíos, Loja, Pichincha y Azuay. En los Cantones de Sucumbíos y Gonzalo Pizarro en la Provincia de Azuay, en los Cantones de Loja y Saraguro en la Provincia de Loja, en los Cantones de Cayambe y Pedro Moncayo en la Provincia de Pichincha y en el Cantón de Cuenca en la Provincia de Azuay, se visualiza un incremento de áreas con nuevas zonas aptas para el escenario 2050. En el cantón de Cecilia en la Provincia de Loja se puede observar un cambio de pérdida ligera en 2030 a pérdida fuerte en 2050.

# Haba

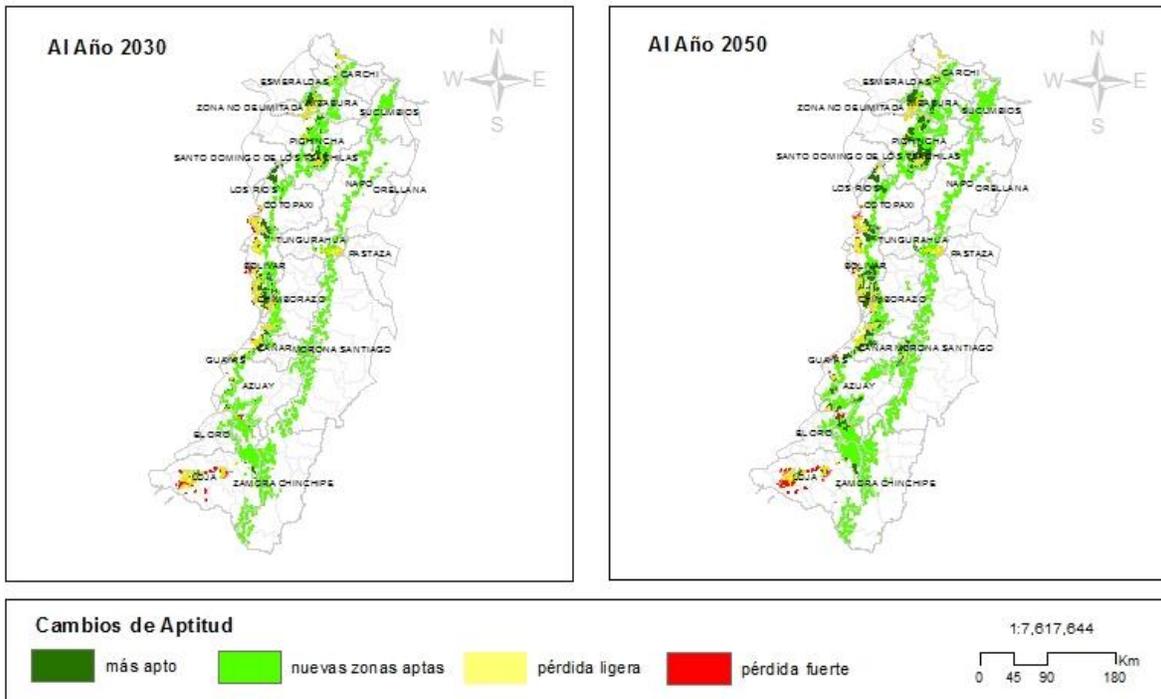


Figura 36. Cambios en aptitud climática del cultivo de haba para los escenarios 2030 y 2050

# Maíz

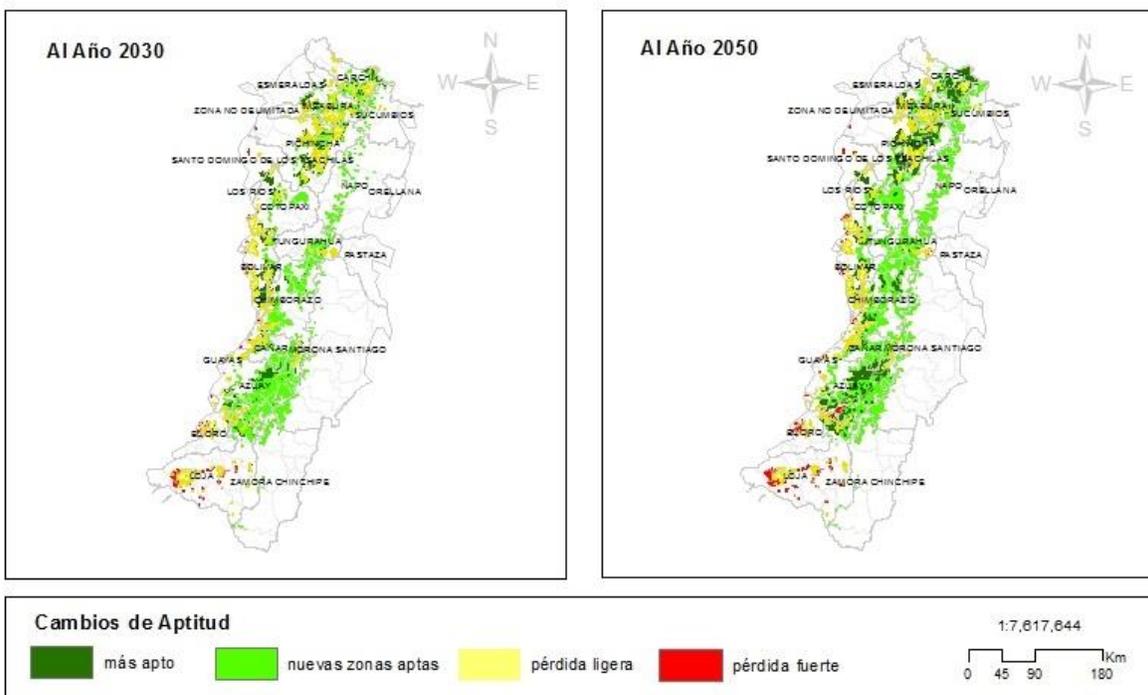


Figura 37. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz para los escenarios 2030 y 2050

En términos generales se observa que una gran parte del territorio de los andes ecuatorianos ganará aptitud climática para el cultivo de Maíz (ver Figura 37). Algunos cantones que ganarán aptitud son: Latacunga y Salcedo en la Provincia de Cotopaxi, en los Cantones de Quero, San Pedro de Pelileo y Ambato en la Provincia de Tungurahua y en el Cantón de Guamote en la Provincia de Chimborazo. En los cantones de Espejo, Tulcán, y Bolívar en la Provincia del Carchi se puede visualizar un aumento tanto en áreas más aptas como en nuevas zonas aptas para el escenario de 2050. En los Cantones de Pindal y Celica en la Provincia de Loja se observa un cambio de zonas que 2030 tenían pérdida ligera y para el escenario 2050 pasan a pérdida fuerte.

## Naranja

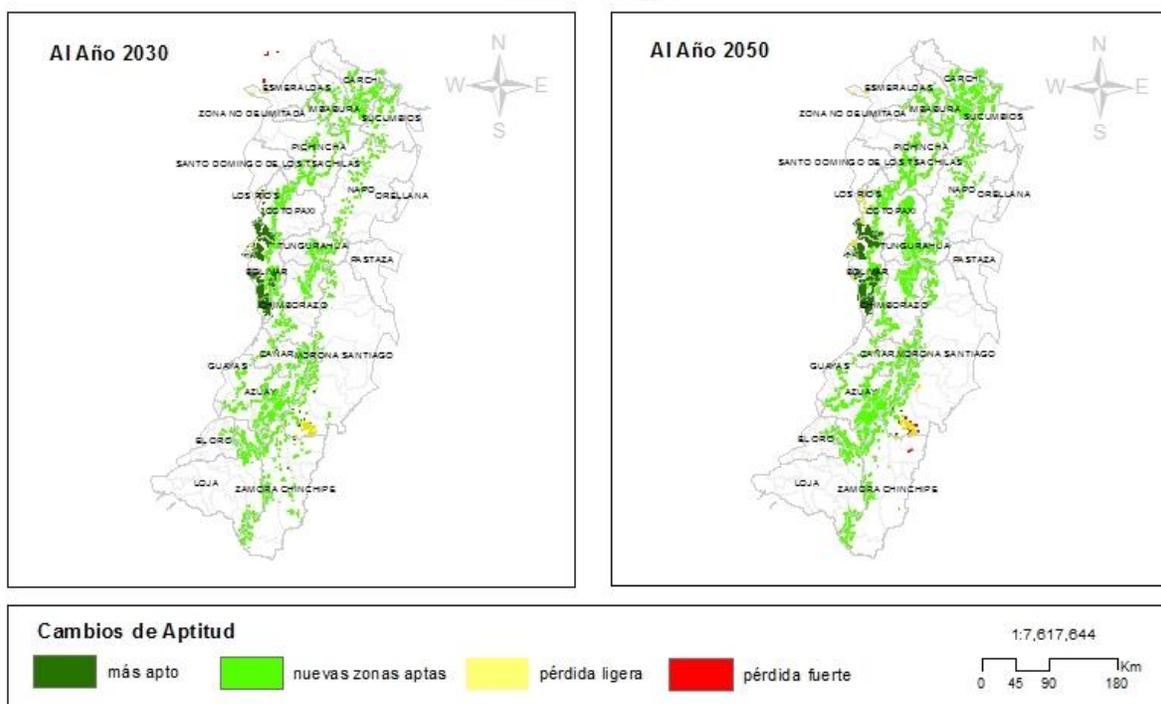


Figura 38. Cambios en aptitud climática del cultivo de naranja para los escenarios 2030 y 2050

Los mapas muestran un balance positivo para el cultivo de la naranja tanto para el escenario 2030 como para el escenario 2050 (Figura 38). En los cantones de Salcedo, Latacunga y Pujili en la Provincia de Cotopaxi, en los cantones de Ambato, Santiago de Pillaro, San Pedro de Pelileo en la Provincia de Tungurahua, en los Cantones de Cuenca y Nabo en la Provincia de Azuay, en el Cantón de Loja en la Provincia de Loja, en los Cantones de Quito y Mejía en la Provincia de Pichincha, en el Cantón de Guano en la Provincia de Chimborazo y en el Cantón de Tulcán en la Provincia de Carchi, se evidencia un aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050.

Sólo se observan unas pequeñas áreas que pierden aptitud, tales como: cantón de Gualaquiza en la Provincia de Morona Santiago y cantón de Yantzaza en la Provincia de Zamora Chinchipe

## Papa

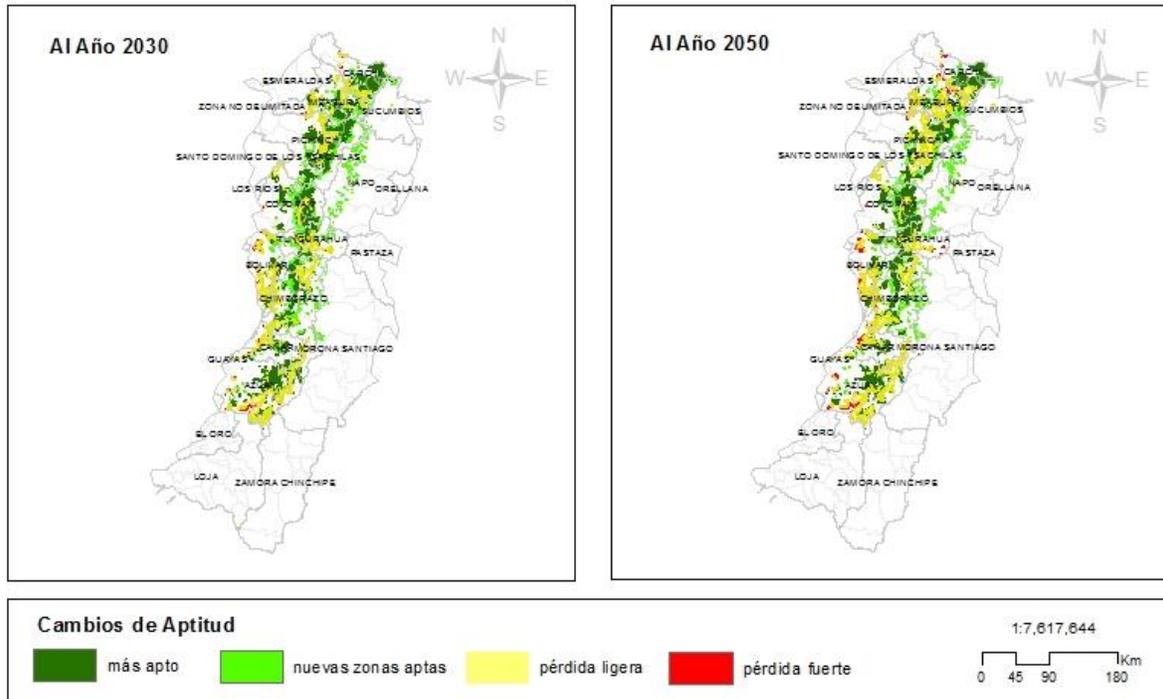


Figura 39. Cambios en aptitud climática del cultivo de la papa para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de papa se evidencia un aumento de zonas con pérdida ligera para el escenario 2050 en los cantones de Cuenca, Gualaceo y Paute en la provincia de Azuay y en el cantón de Alausí en la provincia de Chimborazo (Figura 39). De igual manera este fenómeno se presenta en los cantones de Quito en la Provincia de Pichincha y en el Cantón de Cotacachi e Imbabura en la Provincia de Imbabura donde además se evidencia algunas áreas con pérdida fuerte. En el Cantón de Ibarra en la Provincia de Imbabura y en el Cantón de Guarandá en la Provincia de Bolívar se nota un fuerte cambio en pérdida fuerte para el escenario 2050. Contrario a lo anterior se puede apreciar un aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050 en los Cantones de Guamote y Alausí pertenecientes a la Provincia de Chimborazo y en los Cantones de Quito y Cayambe en la Provincia de Pichincha.

Para el cultivo de Plátano se observa ganancia casi generalizada para todo el territorio de los andes ecuatorianos, especialmente hacia las zonas bajas (Figura 40). También muchas áreas con buena aptitud actualmente mejorarán sus condiciones climáticas para este cultivo.

En los cantones de Sucumbíos y Gonzalo Pizarro en la Provincia de Sucumbíos, en los Cantones de Palora, Pablo Sexto y Morona en la Provincia de Morona de Santiago y en los Cantones de Paltas, Macara y Sozoranga en la Provincia de Loja se da un incremento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050. También se aprecia una disminución de las zonas más aptas para el escenario 2050 en el Cantón de Santiago en la Provincia Morona de Santiago, en el Cantón de Las Naves en la Provincia de Bolívar y en el Cantón de Gonzalo Pizarro en la Provincia de Sucumbíos.

# Plátano

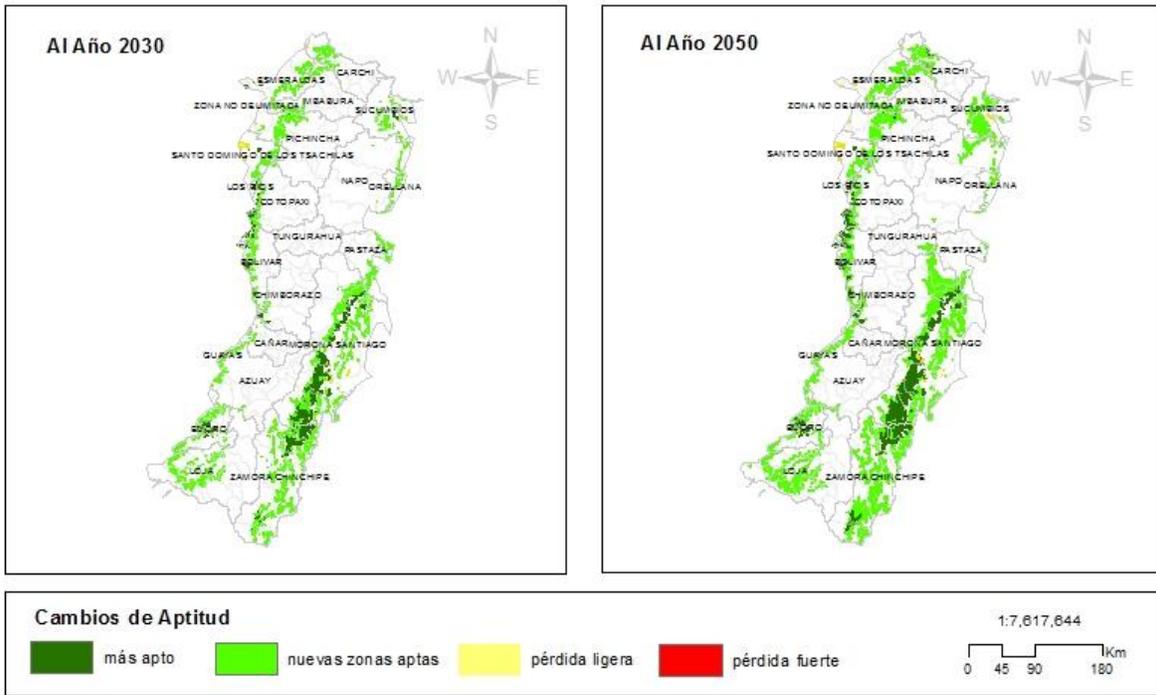


Figura 40. Cambios en aptitud climática del cultivo de plátano para los escenarios 2030 y 2050

# Trigo

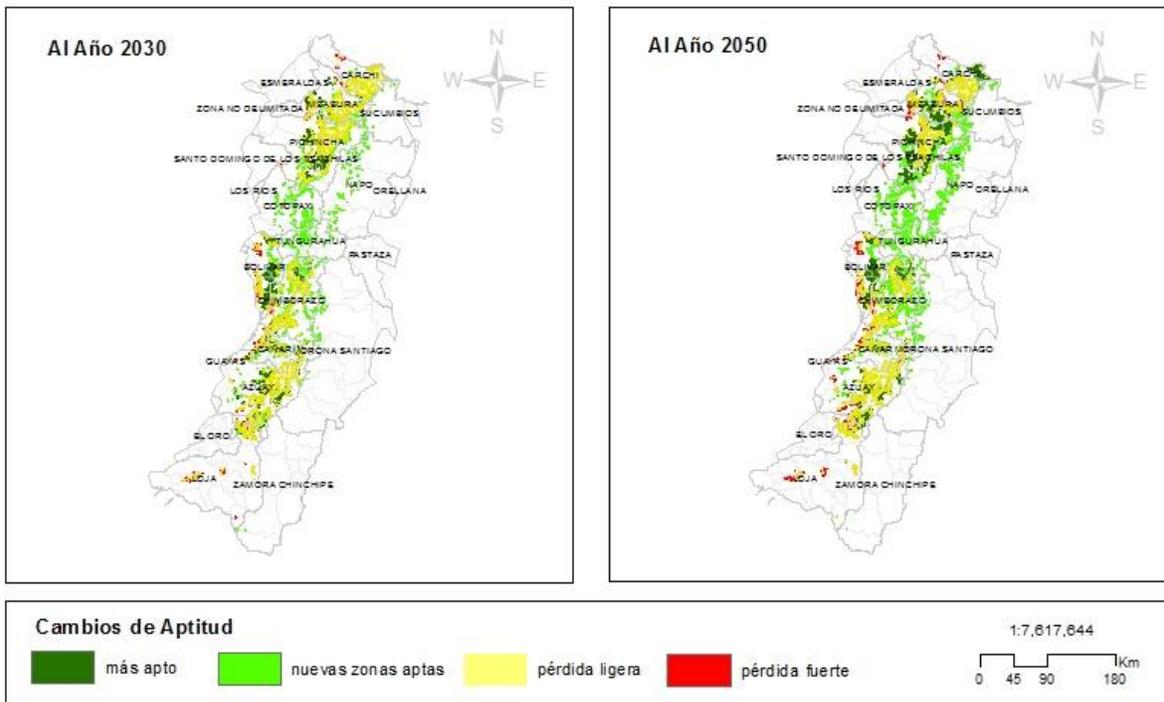


Figura 41. Cambios en aptitud climática del cultivo de trigo para los escenarios 2030 y 2050

Para el cultivo de trigo (Figura 41), en el Cantón de Tulcán en la Provincia de Carchi, en los Cantones de Pedro Moncayo y Cayambe en la Provincia de Pichincha se presenta un cambio de aptitud de zonas con pérdida ligera en 2030 a zonas más aptas en 2050. En las partes altas de los cantones de El Chaco y Quijos de la Provincia de Napo, en los Cantones de Saquisilí y Latacunga en la Provincia de Cotopaxi se aprecia una ganancia de nuevas zonas aptas para el escenario 2050. En el Cantón de Cuenca en la Provincia de Azuay, hay un cambio en ciertas áreas donde aumentan zonas con pérdida ligera en el escenario 2050. Se aprecian áreas con pérdida fuerte para el escenario 2050, en los Cantones de Celica y Paltas en la Provincia de Loja.

## Yuca

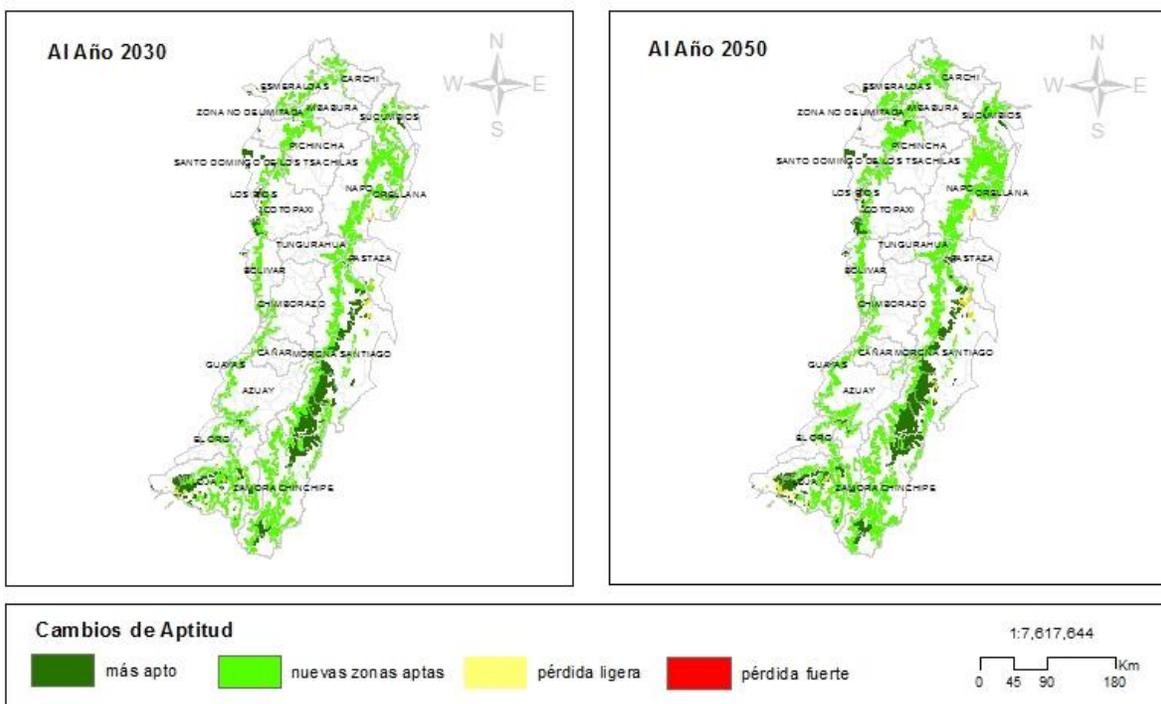


Figura 42. Cambios en aptitud climática del cultivo de yuca para los escenarios 2030 y 2050

Igual que en el caso de Colombia, el cultivo de yuca ganará aptitud climática a lo largo del territorio andino del Ecuador (Figura 42). En los Cantones de El Chaco y Archidona en la Provincia de Napo, en los Cantones de Quijos y Mejía en la Provincia de Pichincha, en el Cantón de Palanda y Zamora en la Provincia de Zamora y en los Cantones de Girón, Paute, Guachapala, Nabón y Santa Isabel en la Provincia de Azuay, se observa un incremento de nuevas zonas aptas para el escenario de 2050. Existen pequeñas áreas que cambian su aptitud, de más aptas en 2030 a pérdida ligera en 2050, como es el caso de algunas zonas en los Cantones de Celica y Pindal en la Provincia de Loja.

Los cultivos que verán las áreas actualmente sembradas negativamente impactadas en forma severa son los cultivos de café, papa y caña panelera. Sin embargo, para los tres cultivos aparecerán nuevas áreas con buena aptitud climática para su siembra, especialmente para el cultivo de la papa. Los cultivos de

yuca y plátano parece ser que jugarán un papel fundamental en el futuro agropecuario de la región andina de Ecuador. En cuanto a productividad, se prevé que los granos serán afectados negativamente, mientras que cultivos como arveja, cacao, caña panelera, cítricos, papa, tomate y yuca ganarán terreno en términos de productividad en las áreas actualmente sembradas.

## Perú

En el caso de Perú, fue más complicado obtener buen desempeño en los resultados de la modelación de los cultivos. Los cultivos que finalmente se analizaron fueron: Arveja, Café, Cacao, Cañihua, Frijol, Maíz, Naranja, Palta Hass, Papa, Plátano, Quinoa y Yuca.

En términos generales se observa en la Figura 43 que el cultivo de arveja ganará aptitud climática a lo largo de la región Andina, especialmente en la zona centro y sur de la región andina peruana. En la Provincia de Chumbivilcas en el Departamento del Cusco, en la Provincia de Azángaro en el Departamento de Puno se presentan áreas más aptas para el escenario 2050. Otras regiones con ganancia de aptitud climática son: provincias de Lucanas y Huanca Sancos en el Departamento de Ayacucho, en la Provincia del Espinar en el Departamento del Cusco y en la Provincia de Melgar en el Departamento de Puno. Pero también se observan algunas pérdidas ligeras de aptitud climática especialmente en la zona norte de la región andina peruana y hacia las zonas altitudinalmente bajas.

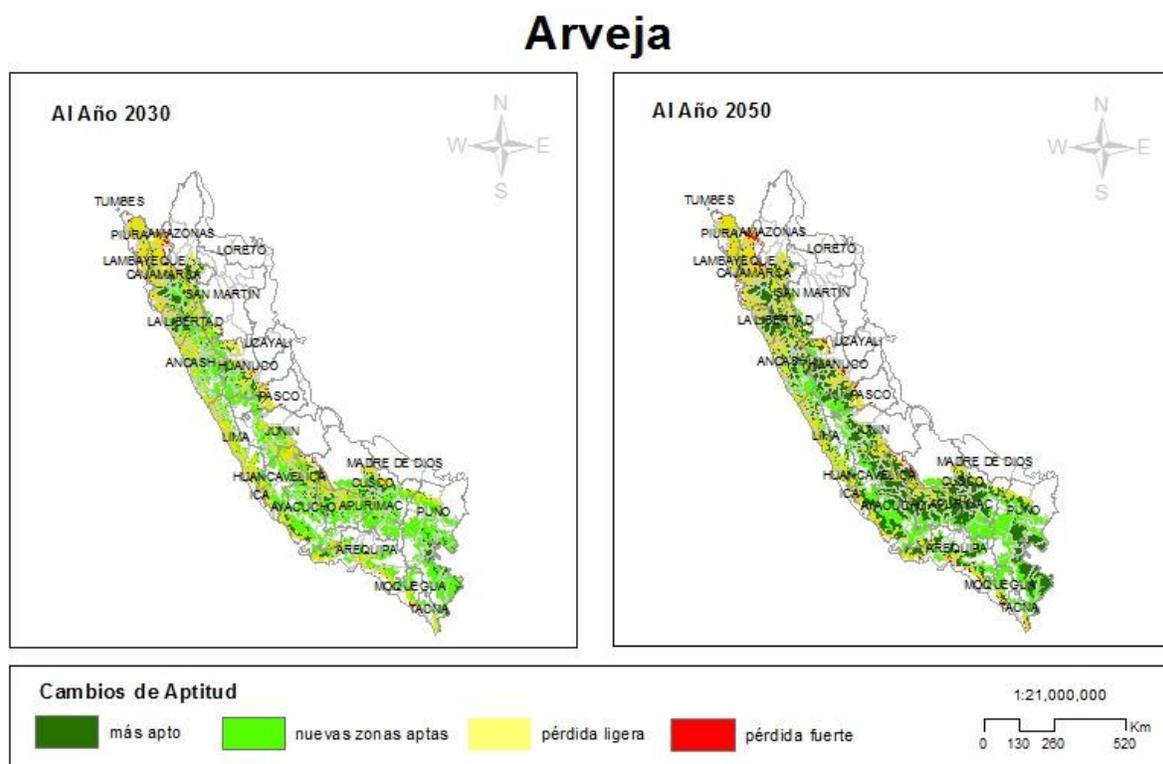


Figura 43. Cambios en aptitud climática del cultivo de arveja para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Algunas pequeñas áreas que muestran los mapas con pérdidas fuertes a 2050 son: Provincia de Ayabaca en el Departamento de Piura y en las Provincias de San Ignacio y Cutervo en el Departamento de Cajamarca.

# Cacao

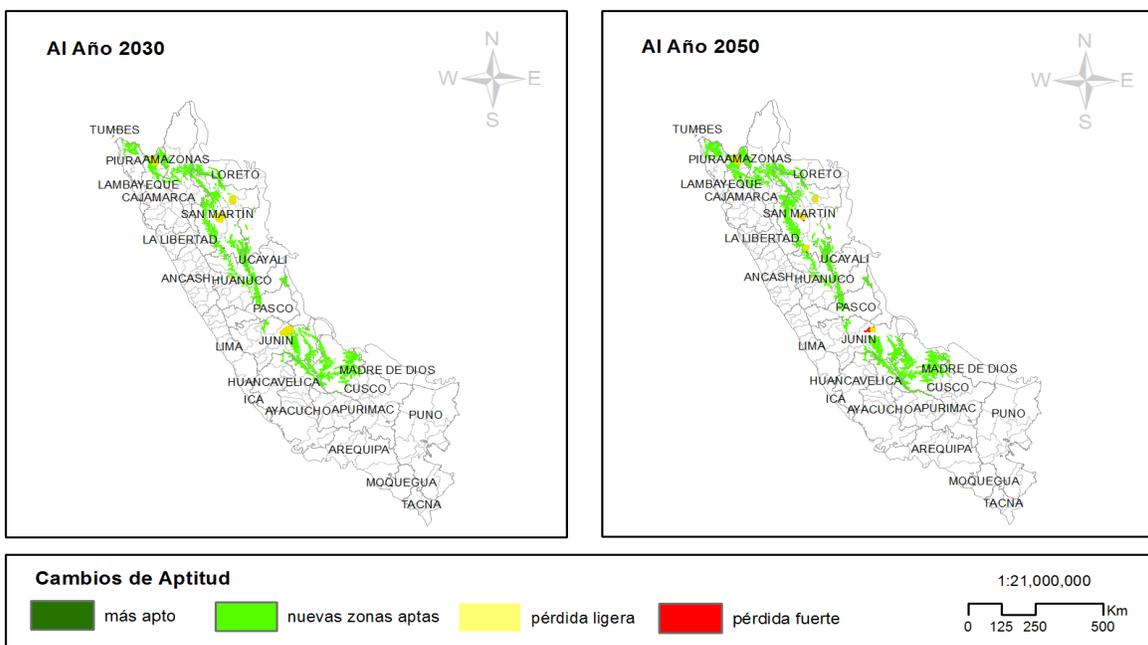


Figura 444. Cambios en aptitud climática del cultivo de Cacao para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Para el cultivo de cacao, se prevé un escenario positivo hacia el año 2050, especialmente al noreste de la región de los andes peruanos. Se perciben zonas pequeñas con ligera pérdida de aptitud, pero a pesar de ello se podría continuar sembrando cacao. Por otra parte para el año 2050, se prevé casi las mismas condiciones del 2030. La única zona de que resalta por su pérdida fuerte de aptitud está en el distrito de Satipo, provincia de Satipo, departamento de Junín.

# Café

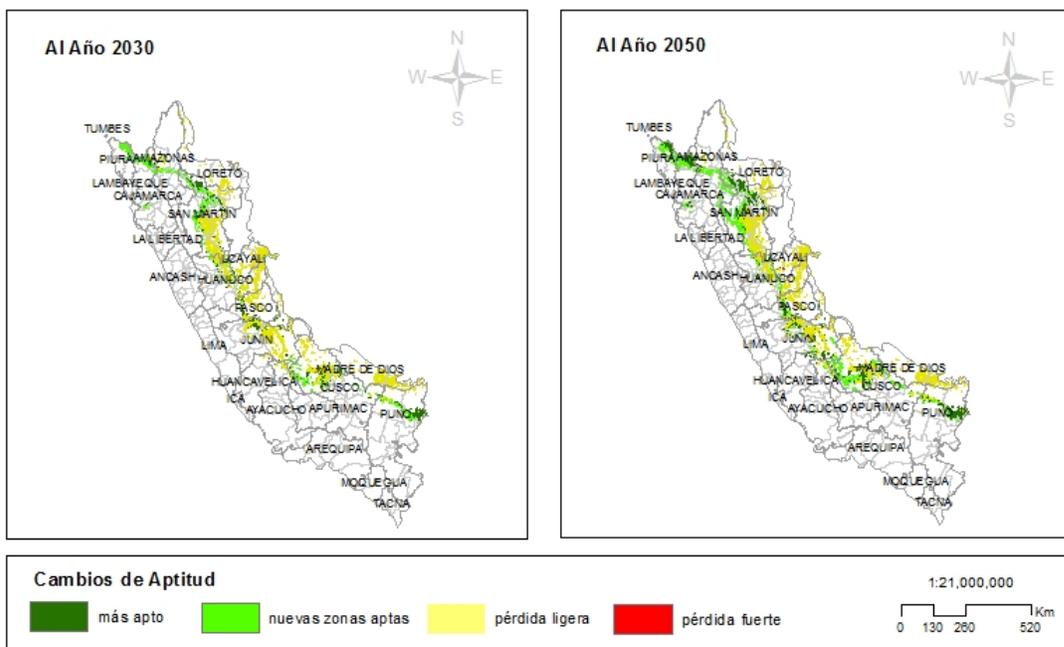


Figura 45. Cambios en aptitud climática del cultivo de café para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

En general se observa una pérdida ligera de aptitud climática para el cultivo de café en las zonas altitudinalmente más bajas de la región andina de Perú en el costado amazónico; y se observa igualmente que zonas más altas contiguas ganan aptitud climática (ver Figura 45). En las Provincias de San Ignacio y Santa Cruz en el Departamento de Cajamarca, en las Provincias de Utubamba y Bongará, en el Departamento de Amazonas y en la Provincia de Oxapampa en el Departamento de Pasco se puede apreciar un aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050.

En general, salvo algunas pequeñas áreas en el sur, se observa ganancia de aptitud climática para el cultivo de la cañihua a lo largo de todo el territorio de la región andina peruana, especialmente en las partes más altas (Figura 46). En las Provincias de Sihuas, Mariscal Luzuriaga y Pomabamba en el Departamento de Ancash, en la Provincia de Pasco en el Departamento de Pasco, en la Provincia de Lucanas en el Departamento de Ayacucho y en la Provincia de Caylloma en el Departamento de Arequipa se presentan nuevas zonas aptas para el escenario 2050. Hacia el sur, cerca al lago Titicaca, se observa una ganancia de aptitud en zonas que actualmente son aptas para Cañihua. En las Provincias de Azángaro, Huancané y El Collao en el Departamento de Puno se observa un aumento en áreas más aptas para el escenario 2050.

## Cañihua

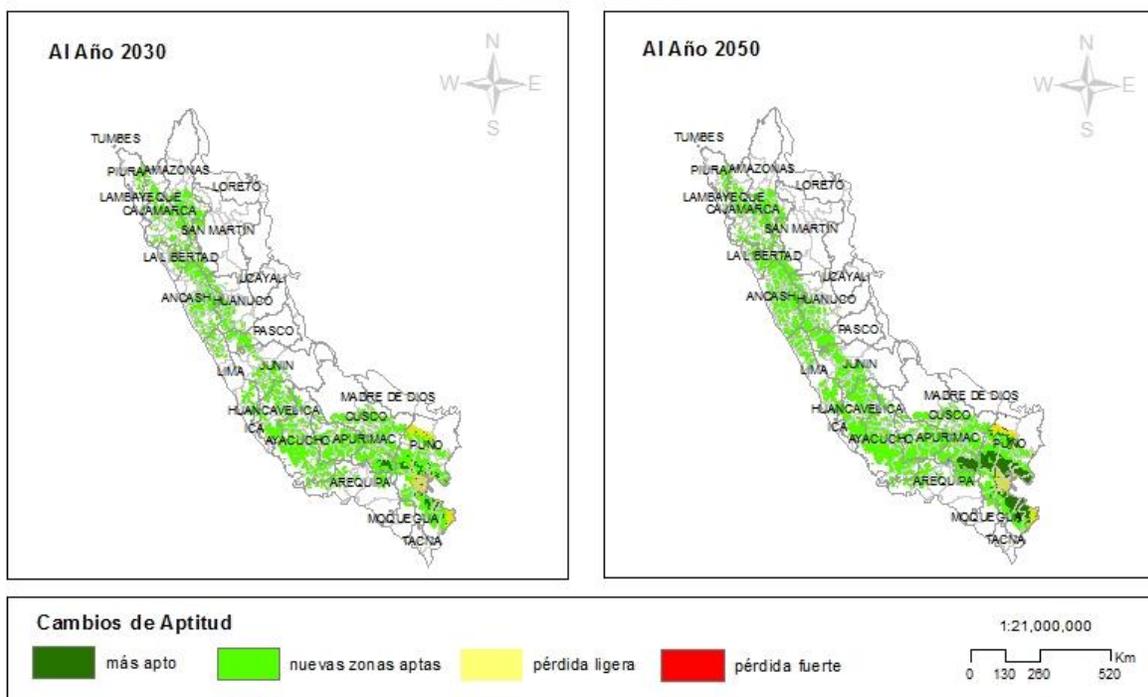


Figura 45. Cambios en aptitud climática del cultivo de cañihua para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

# Fríjol

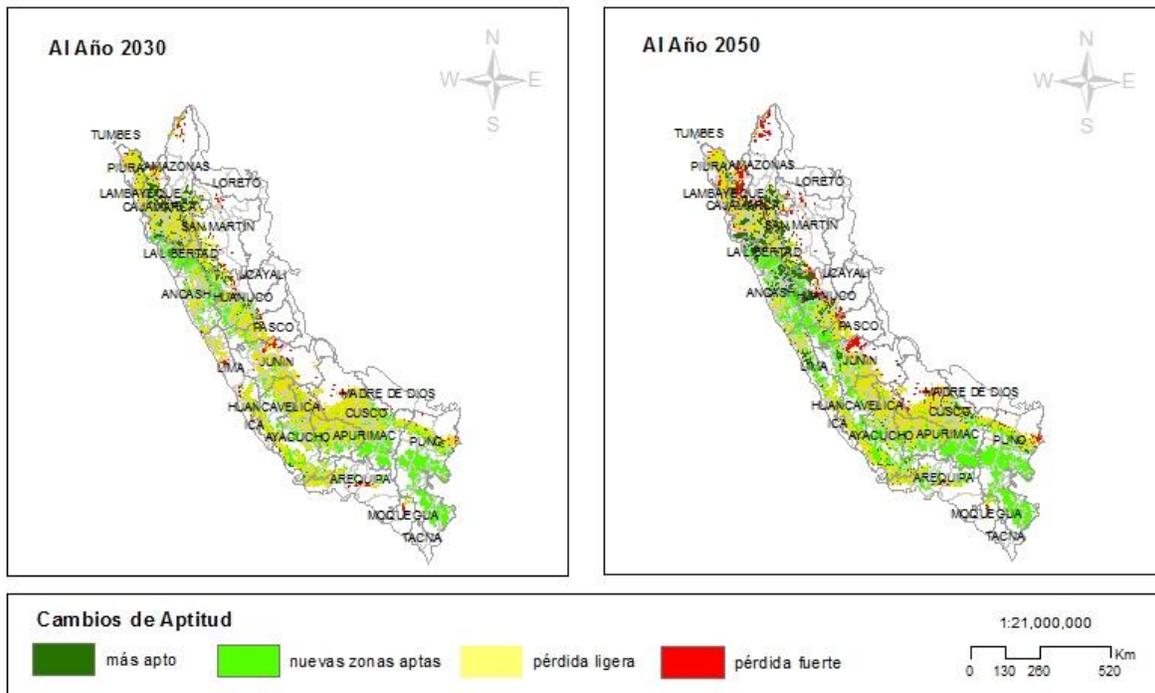


Figura 467. Cambios en aptitud climática del cultivo de Fríjol para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

En términos generales se observa pérdida ligera de aptitud climática del cultivo de frijol en las zonas altitudinalmente bajas y medias de toda la región andina peruana, y se observa áreas nuevas con aptitud climática favorable especialmente para el escenario 2050 (Figura 47). En las Provincias de Espinar y Chumbivilcas en el Departamento de Cusco, en la Provincia de Melgar en el Departamento de Puno, en las Provincias de Huanca Sancos y Sucre en el Departamento de Ayacucho, en las Provincias de Chupaca, Tarma y Junín en el Departamento de Junín, en las Provincias de Pasco y Daniel Alcides Carrión en el Departamento de Pasco en las Provincias de Huari y Pallasca en Ancash y en la Provincia Santiago de Chuco en el Departamento de La Libertad, se puede apreciar el aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050.

Por otra parte, se evidencia un aumento de pérdida fuerte para el escenario 2050 para la Provincia de Condorcanqui en el Departamento de Amazonas en la Provincia de Jaén, y en la Provincia de chanchamayo en el Departamento de Junín.

En las Provincias de Celendín y San Miguel en el Departamento de Cajamarca, se aprecian cambios con respecto a zonas que en 2030 tienen pérdida ligera ya que en 2050 pasan a ser más aptas.

# Maíz

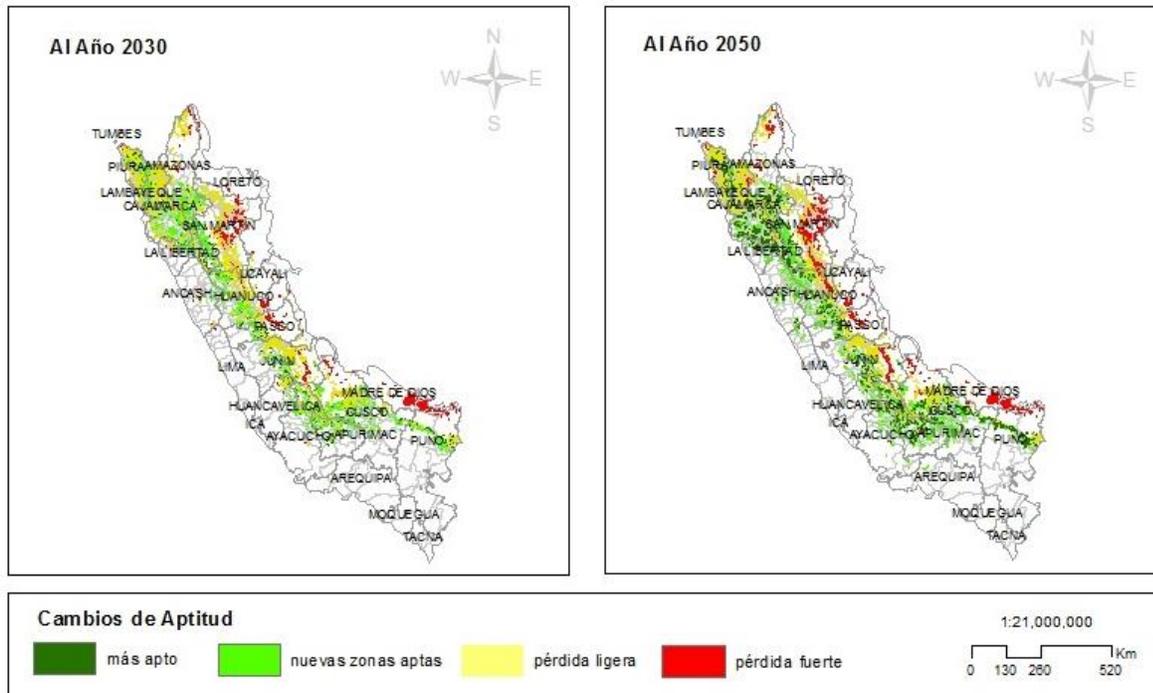


Figura 478. Cambios en aptitud climática del cultivo de maíz para los escenarios 2030 y 2050 en la región de Perú.

Se observa en los mapas que se presentaría una pérdida muy fuerte de aptitud climática del cultivo de maíz en la zona más baja de la región andina en el costado amazónico (ver Figura 48). Esto es especialmente cierto para las Provincias de San Ignacio y Jaén en el Departamento de Cajamarca, en las Provincias de Lamas, El Dorado, Huallaga y Tocache en el Departamento de San Martín, en la Provincia de Leoncio Prado y en la Provincia de Satipo en el Departamento de Junín.

A medida que se asciende altitudinalmente se observa que las pérdidas pasan a ser más leves, y al seguir ascendiendo la situación se vuelve más favorable para este cultivo. En las Provincias de Cajamarca en el Departamento de Cajamarca, en la Provincia de Santiago de Chuco en el Departamento de La Libertad, en las Provincias de Dos de Mayo, Yarowilca y Huánuco en el Departamento de Huánuco, en la Provincia de Jauja en el Departamento de Junín y en la Provincia de Cangallo en el Departamento de Ayacucho se observan el aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050.

# Naranja

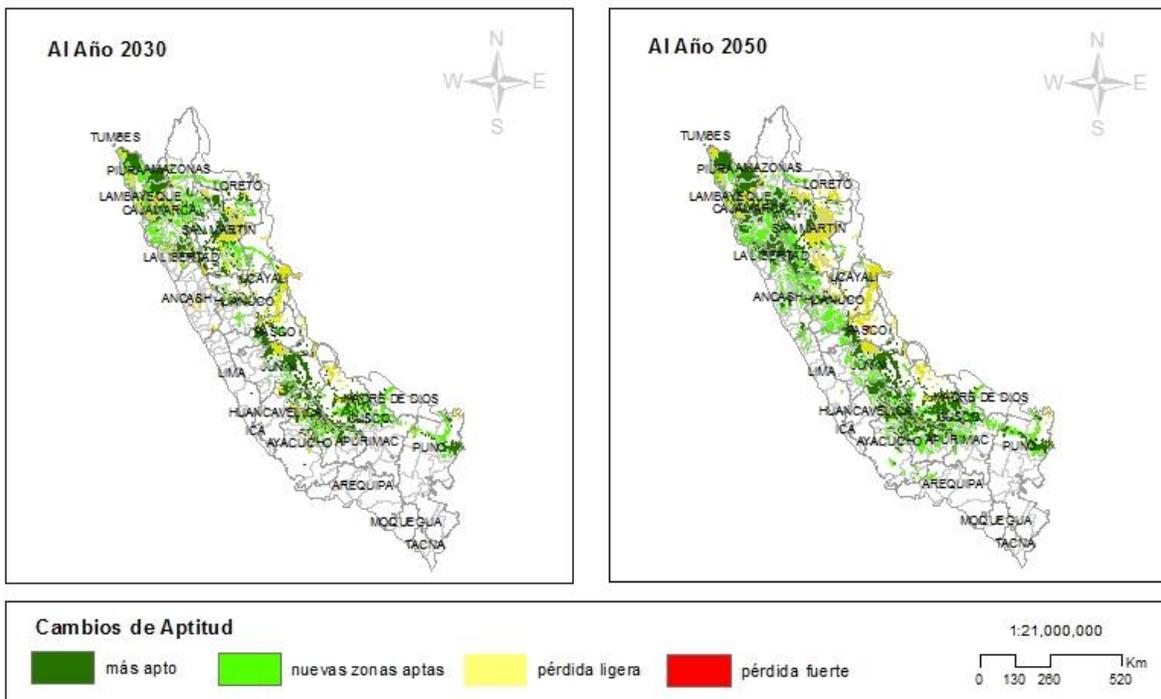


Figura 489. Cambios en aptitud climática del cultivo de la naranja para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Para el cultivo de naranja, se observa la aparición de nuevas zonas aptas en las Provincias de Huari, Corongo, Huaylas en el Departamento de Ancash, en la Provincia de Sánchez Carrión en el Departamento de La Libertad, en la Provincia de La Mar y Huamanga en el Departamento de Ayacucho, en la Provincia de Mariscal Cáceres en el Departamento de San Martín y en la Provincia de Quispicanchi en el Departamento de Cusco, especialmente en el escenario 2050 (Figura 49). No obstante se observan también pérdidas ligeras para las Provincias de Bellavista, Huallaga y Picota en el Departamento de San Martín se observa aumento en pérdida ligera en el escenario 2050.

## Palta Hass

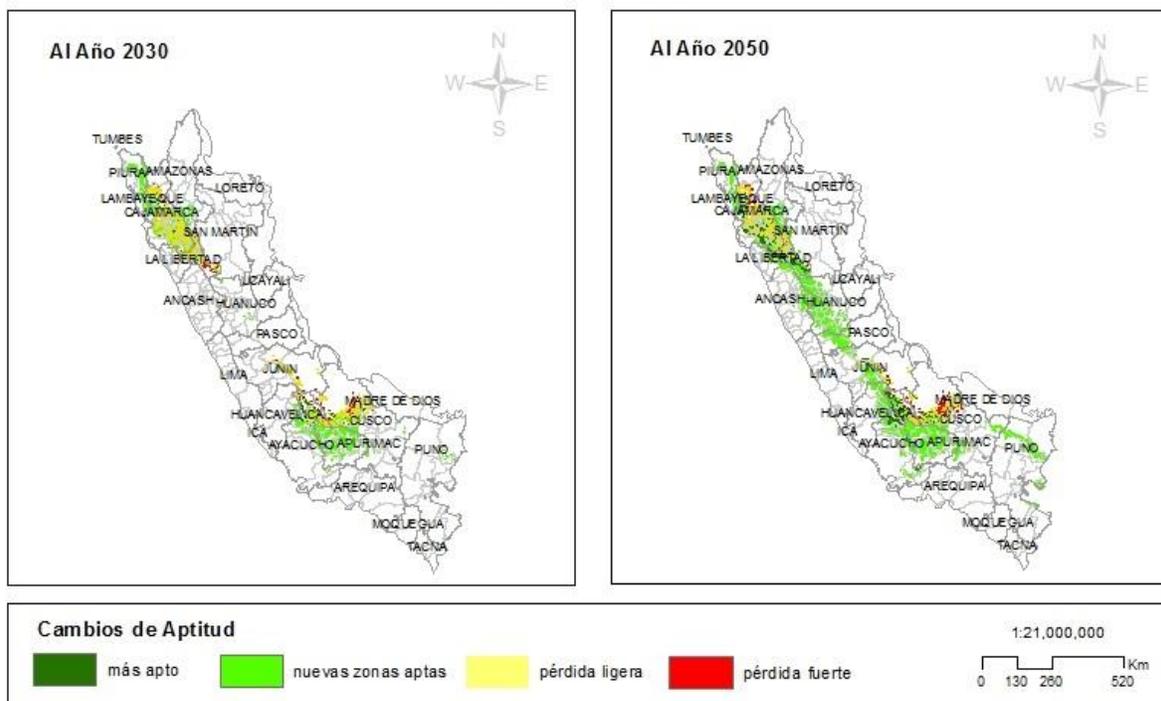


Figura 490. Cambios en aptitud climática del cultivo de la palta hass para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Se observa ganancia de aptitud climática del cultivo de palta hass especialmente en las zonas más altas, especialmente en las Provincias de Marañón, Huamalíes y Ambo en el Departamento de Huánuco, en las Provincias de Concepción, en la Provincia de Huancayo en el Departamento de Junín y en la Provincia de Carabaya en el Departamento de Puno. Esta ganancia de aptitud es más evidente para el escenario 2050 (Figura 50).

La zona norte de la región andina podría experimentar pérdidas ligeras de aptitud climática para este cultivo, como es el caso de las Provincias de Cutervo, Chota, Celendín, Jaén y Santa Cruz en el Departamento de Cajamarca. En algunos casos puntales se observa pérdida fuerte de aptitud, tal como el caso de las Provincias de La Convención, Urubamba y Calca en el Departamento de Cusco y en la Provincia de Jaén en el Departamento de Cajamarca.

En general se observa una tendencia favorable para el cultivo de la papa para la región andina de Perú (Figura 51). Los departamentos más favorecidos son Pasco, Junín, Cusco, Apurímac, Ayacucho, Puno y Cajamarca. No obstante, es necesario señalar que esta ganancia de aptitud ocurre en zonas donde actualmente no se cultiva papa y no en las zonas donde en la actualidad se cultiva papa. Esto se debe a que realmente lo que dicen los modelos que ocurrirá es un desplazamiento de la aptitud de la papa a zonas más altas, especialmente a aquellas por encima de los 3.000 msnm donde habitualmente se cultivos las papas nativas (Cusco, Apurímac, Huancavelica). En Huancavelica (provincias de Castrovirreyna y Huaytará), surgirían nuevas zonas aptas al 2030, incrementándose hacia el 2050. En Junín, la tendencia es a ganar aptitud climática para este cultivo.

# Papa

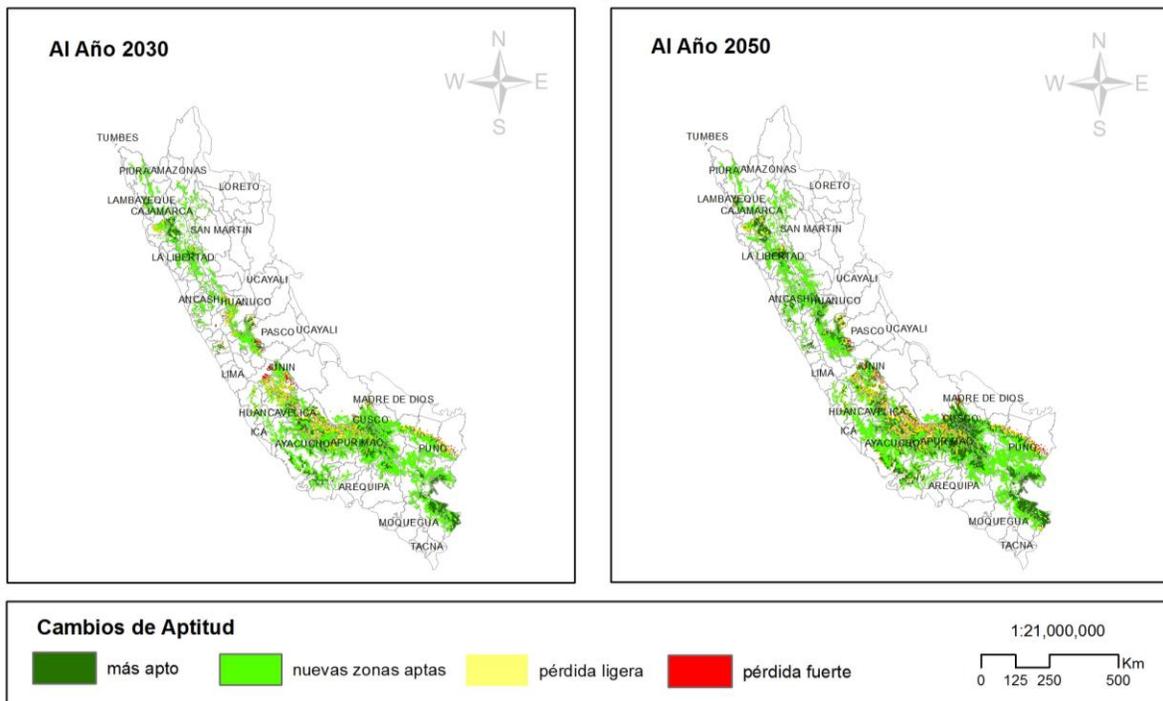


Figura 51. Cambios en aptitud climática del cultivo de la papa para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Nuevas zonas aptas aparecerían en el 2030 para la provincia de Pasco en el departamento de Pasco. Y hacia el 2050, dicha zona parece extenderse aún más, especialmente al sur de la provincia. Compensando ampliamente las zonas que pierden aptitud. Las zonas que muestran afectación negativa se concentran en el costado oriental de los departamentos de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica.

# Plátano

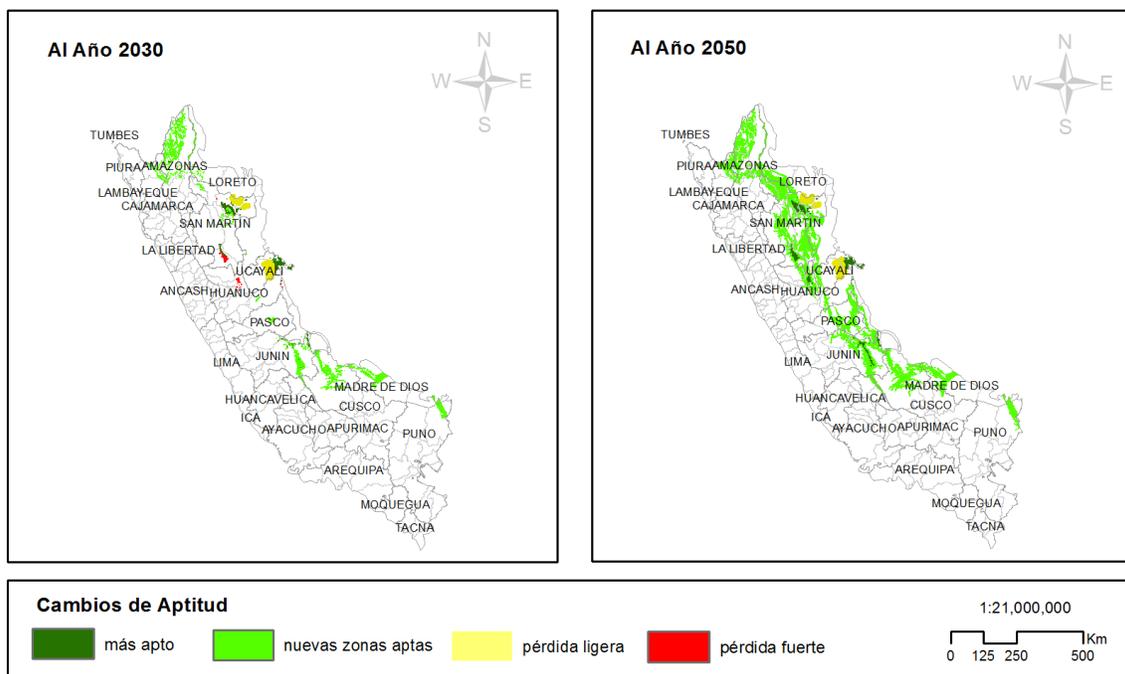


Figura 52. Cambios en aptitud climática del cultivo de la Plátano para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Para el plátano la situación general del país es positiva. Sin embargo en el 2030 se puede notar algunas zonas con pérdida fuerte en la provincia de Tocache en el departamento de San Martín; también en la provincia de Leoncio Prado, del depto. de Huánuco; al igual que zonas específicas en la provincia de Lamas y San Martín en el departamento de San Martín que presenta zonas de pérdida fuerte, pero zonas con alta aptitud en otros puntos.

Para el 2050 la situación mejora notablemente ya que no se evidencia zonas de pérdida fuerte, en cambio hay amplias zonas con aptitud mejor que la actual, de manera que se podría sembrar en zonas que actualmente las condiciones naturales de precipitación y temperatura no lo permiten.

Para el cultivo de quinua, en las Provincias de Yauyos, Huarochirí, Canta y Huaral en el Departamento de Lima, en la Provincia de Caylloma en el Departamento de Arequipa, en las Provincias de Melgar, Lampa y El Collao en el Departamento de Puno y en la Provincia de Castrovirreyna en el Departamento de Huancavelica se presenta aumento de nuevas zonas aptas para el escenario 2050 (Figura 53). Igualmente ocurre para las provincias de Bolognesi y Huaraz en Ancash, Santiago de Chuco en el Departamento de La Libertad, Provincias de Jauja, Chupaca y Concepción en el Departamento de Junín, Provincias de Cusco, Paruro y Quispicanchi en el Departamento de Cusco.

En las Provincia de Puno, Melgar, El Collao, Carabaya y Azángaro en el Departamento de Puno, En las Provincias de Chumbivilcas y Paucartambo en el Departamento de Cusco y en la Provincia de Lucanas en el Departamento de Ayacucho se aprecia un aumento de zonas más aptas para el escenario 2050

Para el caso de la quinua se observa un leve aumento de áreas con pérdida fuerte en la Provincia de Tayacaja en el Departamento de Huancavelica y en la Provincia de La Mar en Ayacucho. Ver mapa que se presenta a continuación.

# Quinua

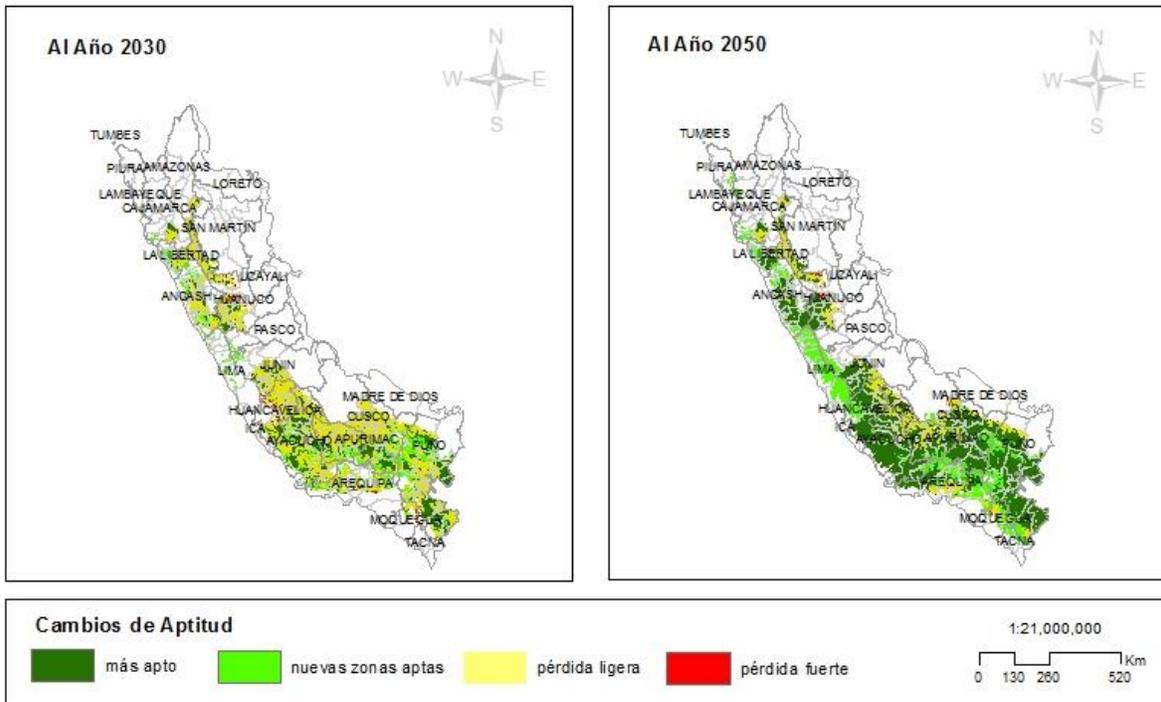


Figura 503. Cambios en aptitud climática del cultivo de quinua para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

# Yuca

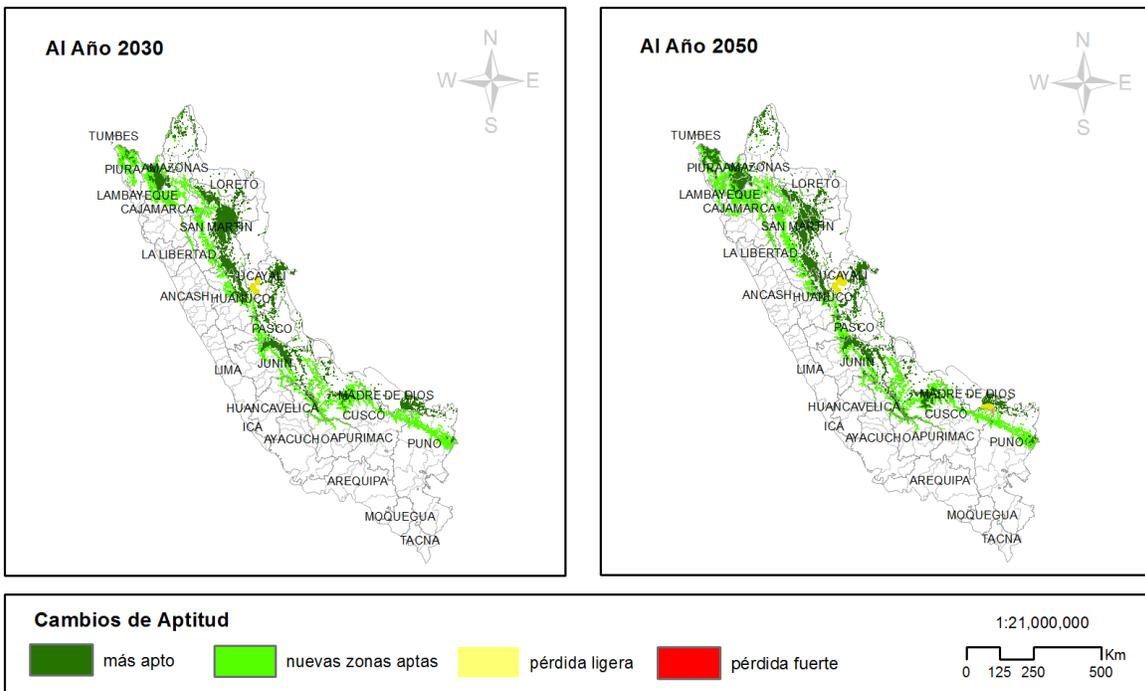


Figura 54. Cambios en aptitud climática del cultivo de la Yuca para los escenarios 2030 y 2050 en la región andina de Perú.

Se prevé que el cultivo de yuca incremente su aptitud hacia el futuro el 2030 y se mantenga constante hacia el 2050, las zonas adecuadas para el crecimiento serían amplias. Solamente se evidencia ligera pérdida de AC en la provincia de Padre Abad en el departamento del mismo nombre.

En síntesis, en el caso de Perú se observa que la aptitud climática de los cultivos tiende a desplazarse hacia zonas más altas. Por ejemplo papa, frijol, maíz, arveja y café pierden aptitud climática en las zonas donde actualmente se cultivan, y ganan en zonas contiguas más altas.

Zonas climáticas intermedias aptas para el cultivo de café, comienzan a perder aptitud de manera leve, dando paso a mejores condiciones para el cultivo de cacao, plátano y yuca. Mientras que la papa comercial ganaría gran terreno en zonas más altas donde actualmente se siembra papa nativa, frijol y maíz; cultivos de gran importancia para la seguridad alimentaria de pequeños productores, que disminuyen drásticamente su aptitud climática.

## **4 Capítulo 4. Sensibilidad del recurso hídrico**

El análisis de sensibilidad del recurso hídrico se adelantó para nueve cuencas de la región andina de los tres países. Las cuencas seleccionadas fueron: Coello, Neiva, Alto Magdalena y Taraza en Colombia; Quijos y Juval en Ecuador; Cañete, Ilo-Moquegua y Locumba en Perú. La selección de estas cuencas obedeció a criterios relacionados con la importancia de la cuenca como aportante de agua a zonas agrícolas, a cuencas de importancia estratégica para instituciones gubernamentales consultadas, o a la presencia del proyecto microfinanciamiento de medidas de adaptación basadas en ecosistemas (MEBA).

### **4.1 Metodología del análisis de la sensibilidad del recurso hídrico**

Se aplicaron dos metodologías. En algunos casos, y aprovechando que existía suficiente información y trabajo previo de modelación se decidió realizar la modelación del cambio climático con una herramienta robusta de análisis, como es el caso de la modelación hidrológica con el modelo SWAT<sup>5</sup> para las cuencas de Quijos y Juval en Ecuador y Cañete en Perú. Para las otras cuencas hidrográficas donde la información no es tan abundante o no está disponible en mayor detalle, y donde no existe un trabajo previo con un modelo robusto, se decidió trabajar con el modelo CropWat desarrollado por FAO, y ajustado a una programación que emplea ArcGIS para generar análisis espaciales. En el Anexo 3 se encuentra un mayor detalle de la metodología empleada.

Para ambos modelos se realizó una modelación hidrológica para la situación actual, y una modelación con los escenarios de cambio climático a 2050. Finalmente se realiza un análisis comparativo con el fin de determinar el impacto del cambio climático sobre el balance hídrico en la cuenca. El balance hídrico se calcula en función de las variables de precipitación, evapotranspiración, escorrentía, infiltración y percolación.

### **4.2 Resultados del análisis de la sensibilidad del recurso hídrico**

#### **Colombia**

##### **Cueca 1. Coello**

En la figura 55 se muestra la distribución espacial de los aportes realizados al caudal, siendo estos mayores a 500 mm/Km<sup>2</sup>/año en la parte alta de la cuenca. En comparación con la línea base, los aportes totales a la cuenca de las partes altas perderán entre 50 y 140 mm/Km<sup>2</sup>/año para el 2030 en la misma zona prestadora de servicios ambientales, mientras que para el 2050, esta capacidad se recuperaría y generaría aportes adicionales con relación a lo actualmente encontrado, y debido a aumentos en los niveles de precipitación. De hecho, solamente algunos sectores de la parte baja de la cuenca disminuirían sus aportes para el año 2050.

---

<sup>5</sup> Detalles de la metodología empleada por SWAT se pueden ver en el Anexo 3

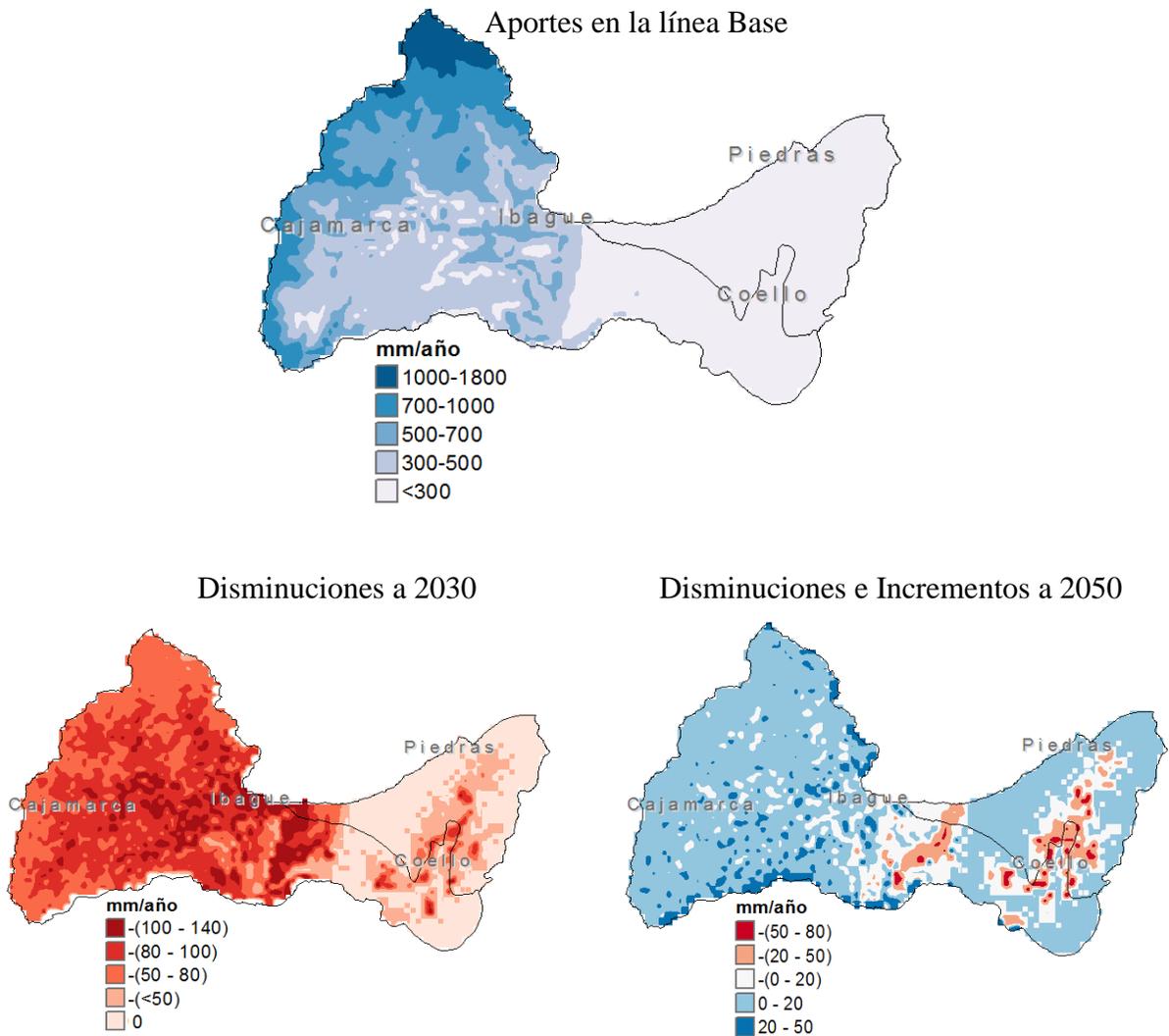


Figura 515. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Coello

En cuanto a estimación de los requerimientos hídricos, esta estimación incluyó los requerimientos de riego derivados de la demanda evaporativa de la atmosfera para cada cultivo (arroz, maíz, café, fríjol, plátano, pastos) y teniendo en cuenta el balance de humedad en el suelo. Adicionalmente, se tuvo en cuenta en el caso del cultivo de arroz bajo riego la cantidad de agua necesaria para establecer el cultivo y mantener una lámina. Finalmente, también se incluyó el factor de eficiencia del sistema de riego que fue asumido como el 50%. Dado que no se tienen escenarios de cambios de uso del suelo, se asume que para el futuro las áreas de los cultivos se mantienen en el tiempo.

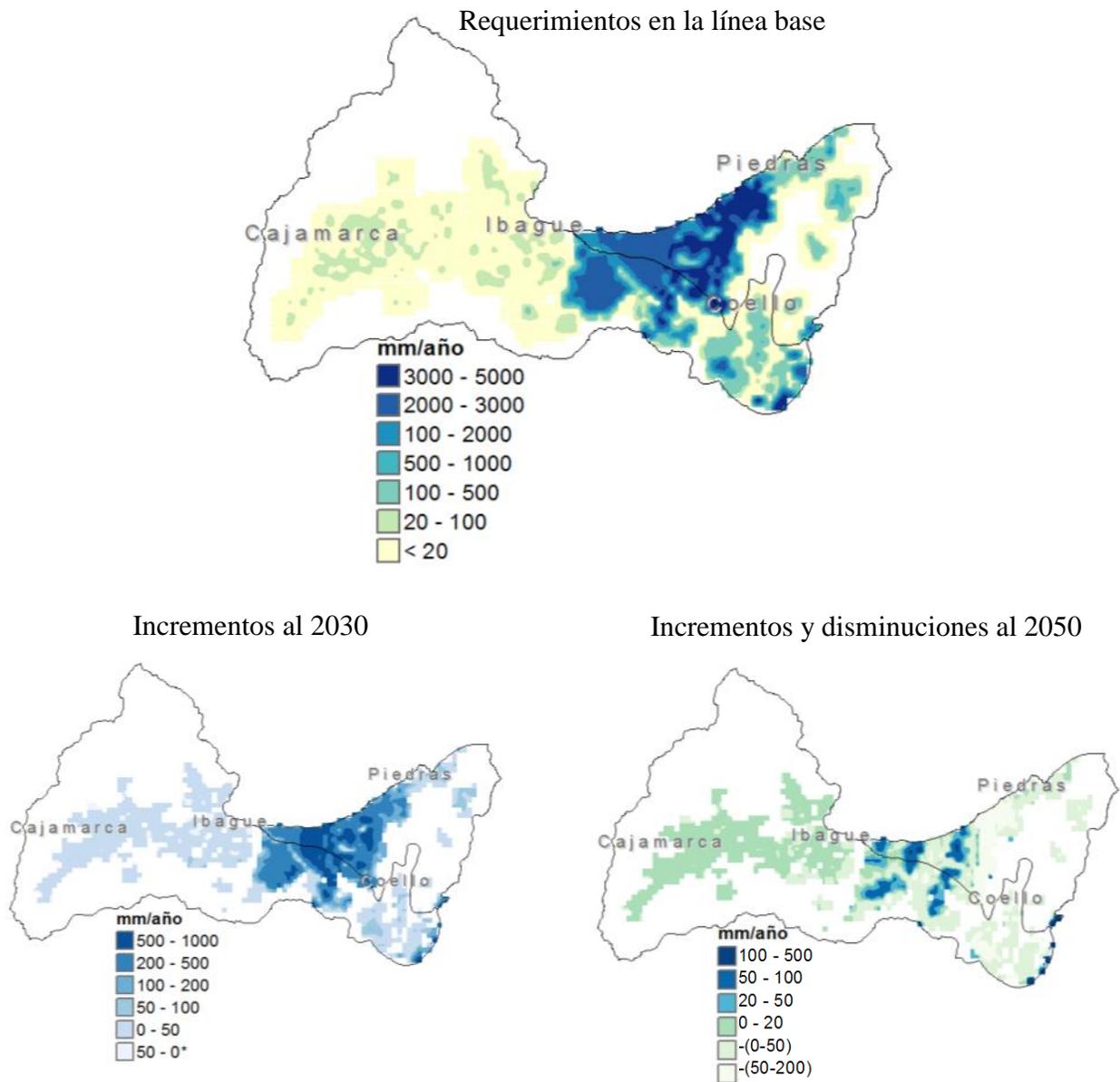


Figura 526. Mapa de los requerimientos hídricos anuales de los cultivos en la cuenca en la línea base y cambios a 2030 y 2050 en la cuenca del Río Coello

En la Figura anterior se muestra el requerimiento anual por  $\text{Km}^2$  para las condiciones de la línea base y los cambios a 2030 y 2050, en esta se puede observar como las áreas de producción de arroz (Colores azules), tienen un comportamiento muy distinto a los demás sistemas productivos en cuanto a requerimientos hídricos, variando (su requerimiento de riego) entre 2000 a 5000  $\text{mm/año/Km}^2$ , es decir entre 1000 y 2500  $\text{mm/Km}^2/\text{cosecha}$  o lo que es lo mismo entre 10 y 25 mil  $\text{m}^3/\text{Ha}/\text{Cosecha}$  de arroz, siendo estas estadísticas coherentes en relación con trabajos realizados por la Federación de cultivadores del grano en Colombia (FEDEARROZ), quienes reportan riegos por cosecha entre 12 y 32 mil  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{cosecha}$ , de acuerdo al nivel tecnológico y especialmente a la eficiencia en el riego (Pineda, 2012). Adicionalmente, en la Figura 56 se muestra como los incrementos, sin modificar la eficiencia de riego, para el 2030 pueden ser hasta de 1000  $\text{mm/Km}^2/\text{Año}$  en los sitios de producción de arroz,

mientras que para el 2050, estos incrementos en general son menores que en el 2030 y hasta para algunas zonas de arroz pueden disminuir los requerimientos, dado los aumentos de precipitación que se presentan para el escenario de clima para 2050. Esto por una parte permite confirmar que los altos niveles que usa el cultivo de arroz lo convierten en altamente vulnerable a los escenarios de cambio climático.

Finalmente, en la Figura 57 se hace una comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal generados al interior de la cuenca. En la gráfica se puede evidenciar como la producción de agua de la propia cuenca es insuficiente para satisfacer las necesidades de riego en los meses de abril, julio, agosto y septiembre, especialmente en los meses de siembra de arroz (Abril y Septiembre), cuando se tiene que preparar y establecer el cultivo con abundantes láminas de agua. Siendo esta situación más preocupante si se tiene en cuenta que no se han contabilizado otros usos y además constatando la necesidad que tienen los cultivos en esta zona de distritos de riego para mantener la producción agrícola en la zona.

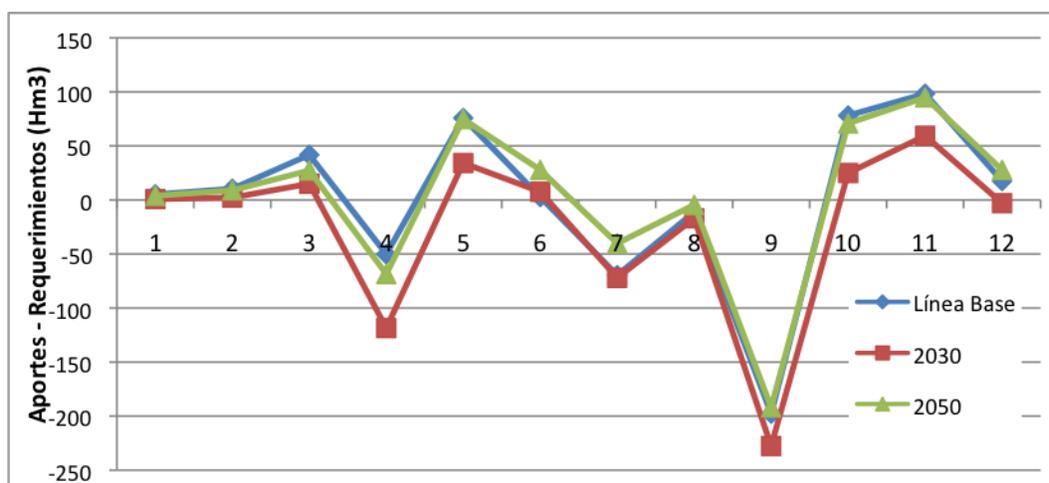


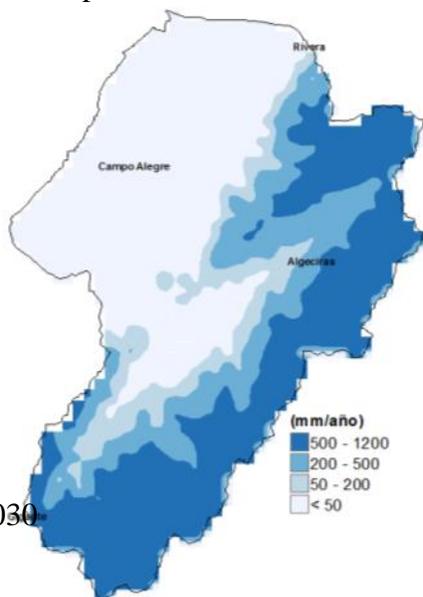
Figura 537. Comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal a nivel mensual para las condiciones de la línea base, 2030 y 2050 en la cuenca del Río Coello

## Cuenca 2. Neiva

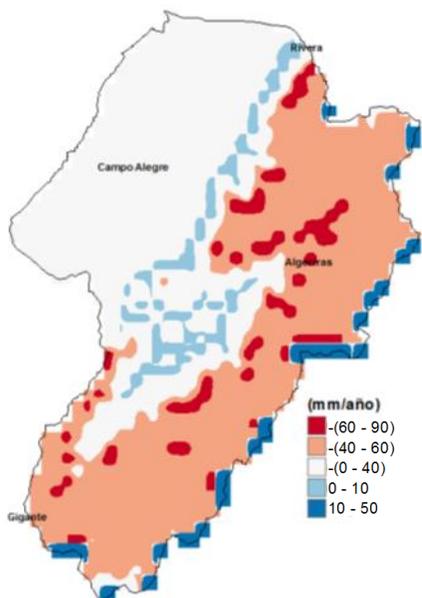
En la Figura 58 se muestra la distribución espacial anual de los aportes de agua al caudal estimados para la línea base y los cambios en dicho aporte para el 2030 y 2050. Este aporte se encuentra entre los 0 a 50 mm/Km2/año en las partes bajas de la cuenca, hasta los 500 a 1200 mm/año en las partes altas de la misma, coincidiendo estos últimos valores especialmente con los usos de bosque natural, denso y fragmentado y algunas zonas de café, lo que muestra la importancia del servicio ecosistémico prestado por estas zonas en la cuenca especialmente a las zonas de producción de arroz en la zona baja. Por otra parte, cuando fueron analizados los cambios en dicho aporte se presentan dos situaciones contrastantes, mientras al 2030 para la mayor parte de las zonas de mayor aporte actual se presentan disminuciones en el aporte de entre 40 a 90 mm/año, al 2050 para las mismas zonas se presentan incrementos con relación al aporte actual se encuentra entre 50 y 70 mm/año (Figura 58). Esta situación en la cual se están presentando hasta 100 mm/año de diferencia en aporte entre 2030 y 2050 con relación al aporte de agua al caudal se debe principalmente al cambio en la precipitación para estos

periodos. Se hace evidente que para el 2050 los incrementos en la precipitación son hasta el doble con relación a los incrementos que se presentan en el 2030, especialmente en las zonas de mayor precipitación. Por otra parte, existirá un mayor incremento en la precipitación al 2050 en los meses más secos, es decir en los meses de junio, julio y agosto en la mitad del año y diciembre y enero en el principio del año, esta situación tiene dos efectos sobre el balance hídrico del suelo, por una parte disminuye los tiempos en los cuales el suelo se encuentra en déficit en los meses de menor precipitación y por otro al reponer mayor cantidad de agua al suelo en tiempos relativamente secos, permite que mayor cantidad de agua sea aportada al caudal en los tiempos de mayor precipitación.

### Aportes en la línea Base



### Disminuciones e Incrementos a 2030



### Incrementos a 2050

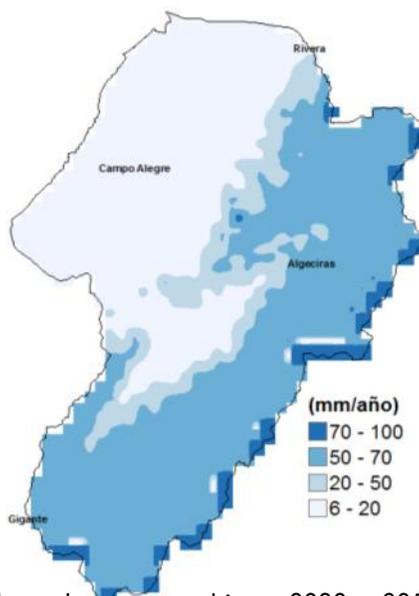


Figura 548. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Neiva

Los requerimientos de riego anuales de los cultivos presentes en la cuenca obedecen principalmente a la distribución del cultivo de arroz (Figura 59), en la zona baja en donde se estiman que se requieren

anualmente entre 1000 y 4000 mm/Km<sup>2</sup>, es decir que por cosecha pueden requerir de hasta 2000 mm/Km<sup>2</sup> o lo que es lo mismo 20 mil m<sup>3</sup>/ha, siendo similar a lo obtenido para en el caso de la producción de arroz en el Tolima. Cuando se analizó la distribución espacial en los cambios de estos requerimientos a 2030 y 2050, se presentaron incrementos de hasta 300 mm/año/Km<sup>2</sup> con relación a los requerimientos actuales, fundamentalmente en la zona productora de arroz. En los demás sitios de la cuenca, el incremento anual de los requerimientos es mucho menor, llegando en algunos casos a presentarse disminuciones de hasta 5 mm/Km<sup>2</sup>/Año en zonas agrícolas en partes de altitud intermedia a alta. Por su parte, la estimación a 2050 presenta una situación aparentemente opuesta a la que se presenta para el 2030, presentándose disminuciones en el requerimiento hídrico de los cultivos de arroz de hasta 200 mm/año e incrementos de hasta 70 mm/año en las zonas intermedias y altas de la cuenca.

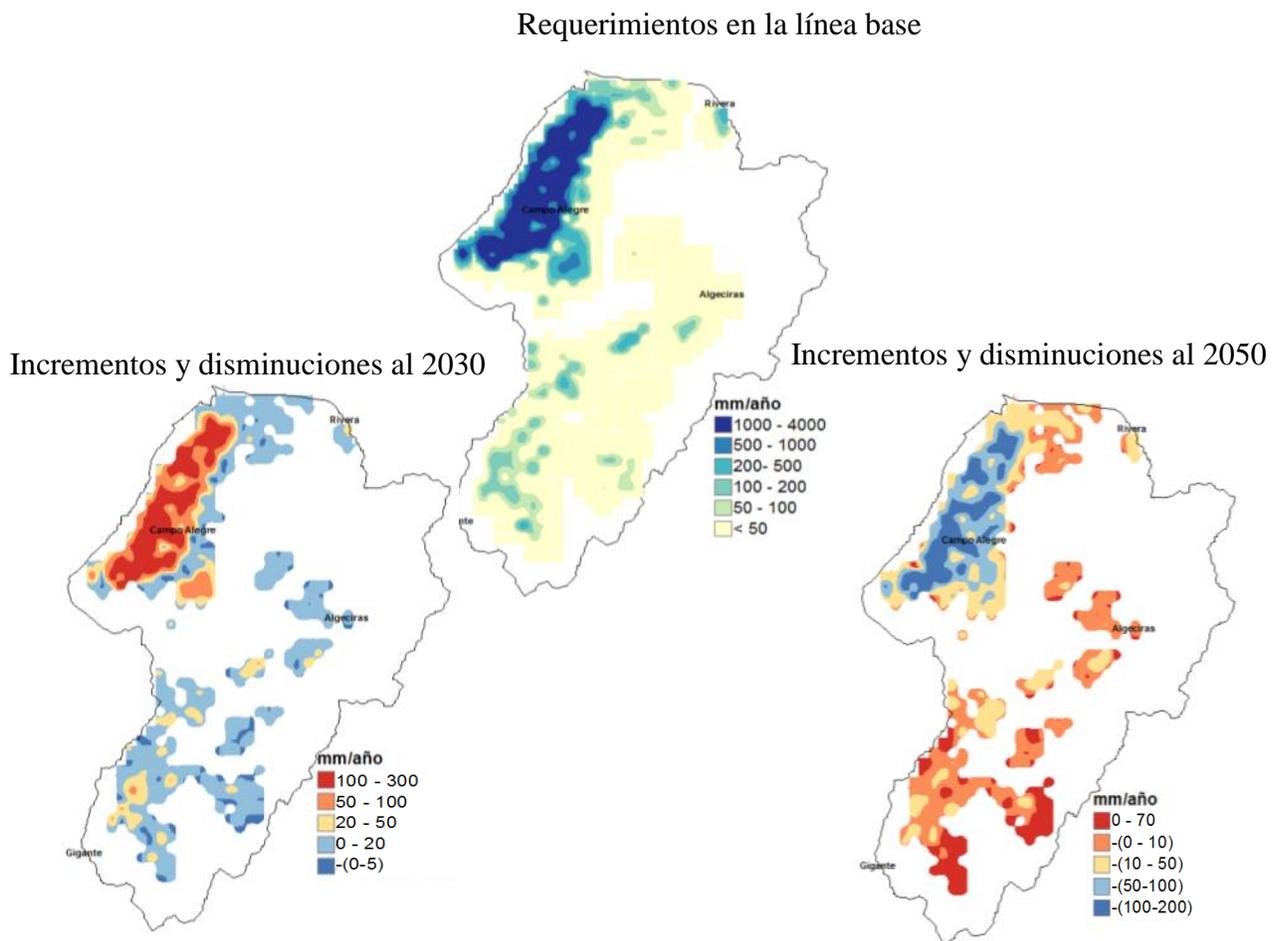


Figura 559. Mapa de los requerimientos hídricos anuales de los cultivos en la cuenca en la línea base y cambios a 2030 y 2050 en la cuenca del Río Neiva

Al comparar los aportes y el requerimiento hídrico en la cuenca (Figura 60), se evidencia la menor disponibilidad e incluso déficit en el segundo semestre del año y con déficit en el mes de septiembre. Adicionalmente, es de anotar el comportamiento a 2050 entre mayo y agosto, el cual sobresale con mayores aportes al caudal y disponibilidad con relación a los demás escenarios temporales. Otro de los comportamientos a destacar es el mayor balance positivo a lo largo del primer semestre del año, en donde además la estación lluviosa tiene una mayor duración, siendo este factor de vital importancia

para definir una mayor oferta ambiental y balance positivo en términos de los servicios hidrológicos que proporciona a la producción agrícola de la cuenca. Los cultivos que usan el agua para riego en los meses de julio y agosto podrían verse beneficiados bajo el escenario de cambio climático a 2050 dado los aumentos en los caudales del río para dichas épocas. Las inundaciones de las zonas ribereñas parecería que se mantendría constante y no se agravaría, ya que los aumentos en la precipitación parecen que no ocurrirían en las épocas lluviosas.

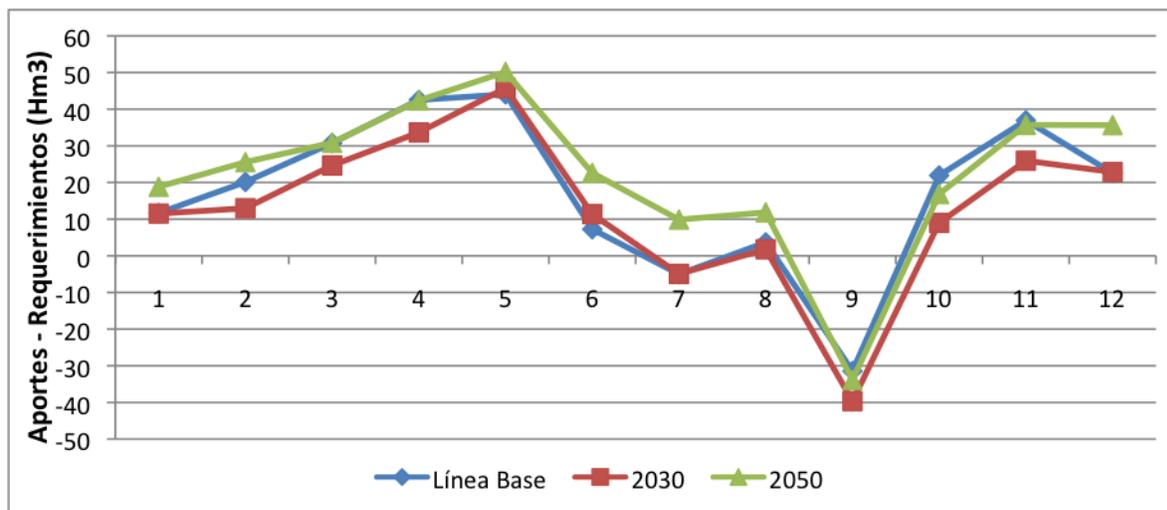


Figura 60. Comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal a nivel mensual para las condiciones de la línea base, 2030 y 2050 en la cuenca del Río Neiva

### Cuenca 3. Alto Magdalena

El aporte de agua al caudal estuvo entre menos de 100 mm/Km2/año para las partes más bajas, hasta los 1800 mm año para las zonas más altas de la cuenca (Figura 61). Estos aportes hacia el 2030 se prevén disminuyan en la mayor parte de la cuenca, especialmente en las zonas de altitud media, mientras en las partes bajas de menor aporte actual existen algunas zonas con un incremento en el aporte que puede ser hasta de 50 mm anuales. Mientras que para el año 2050, en general los aportes se mantendrán estables y en algunas zonas se incrementarán hasta en 90 mm/año. Es decir, que en el caso de esta cuenca los aportes al caudal por lo menos en cantidad tenderían a mantenerse en cantidad, sin embargo, con el incremento de las precipitaciones especialmente en las zonas en donde actualmente se encuentra en uso agrícola y ladera, esto podría generar problemas con la calidad del agua derivados de posibles incrementos en los sedimentos, agravando el problema presentado hasta el momento en la totalidad de la cuenca del Río Magdalena, la cual es el afluente de mayor tamaño en Colombia y que ya presenta este tipo de deterioro (Ángel, 2005), pudiendo de esta forma perjudicar los servicios ecosistémicos que presta el afluente.

### Aportes en la línea Base

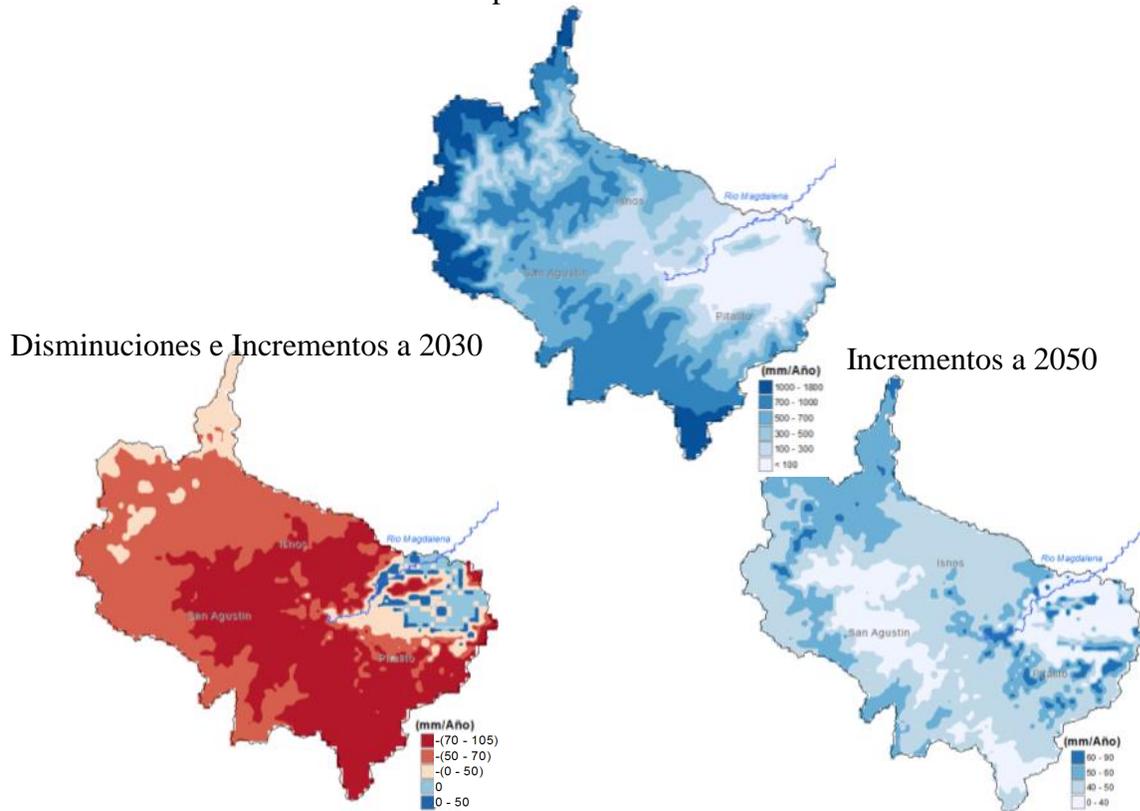


Figura 61. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anualmente y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Alto Magdalena.

Cuando fueron estimados los requerimientos de riego de los cultivos en la cuenca se confirmó el tipo de agricultura practicado debido a los bajos requerimientos de riego estimados. Para más del 80% del área sembrada con algún cultivo los requerimientos de riego anuales están por debajo de los 10 mm/Km<sup>2</sup>/año o lo que sería lo mismo 100 m<sup>3</sup>/Ha por año, es decir que la condición en términos de la disponibilidad de agua es de exceso en la cuenca, los máximos requerimientos se encuentran en zonas muy puntuales con 100 mm anuales. Adicionalmente los cambios en estas necesidades están en el orden de 60 mm anuales para algunas zonas e incluso con disminuciones de hasta 10 mm en el 2030, mientras en el 2050 estos cambios son en su mayoría de disminución de las necesidades de riego. En general, al totalizar los posibles requerimientos de riego en toda la cuenca, estos serían mayores como es de suponer en los periodos más secos de principio de año. Estos resultados hacen evidente la situación de la agricultura de la cuenca en términos de la poca necesidad de riego y más bien de la necesidad de conservar el suelo en el sitio del cultivo, especialmente en zonas de ladera.

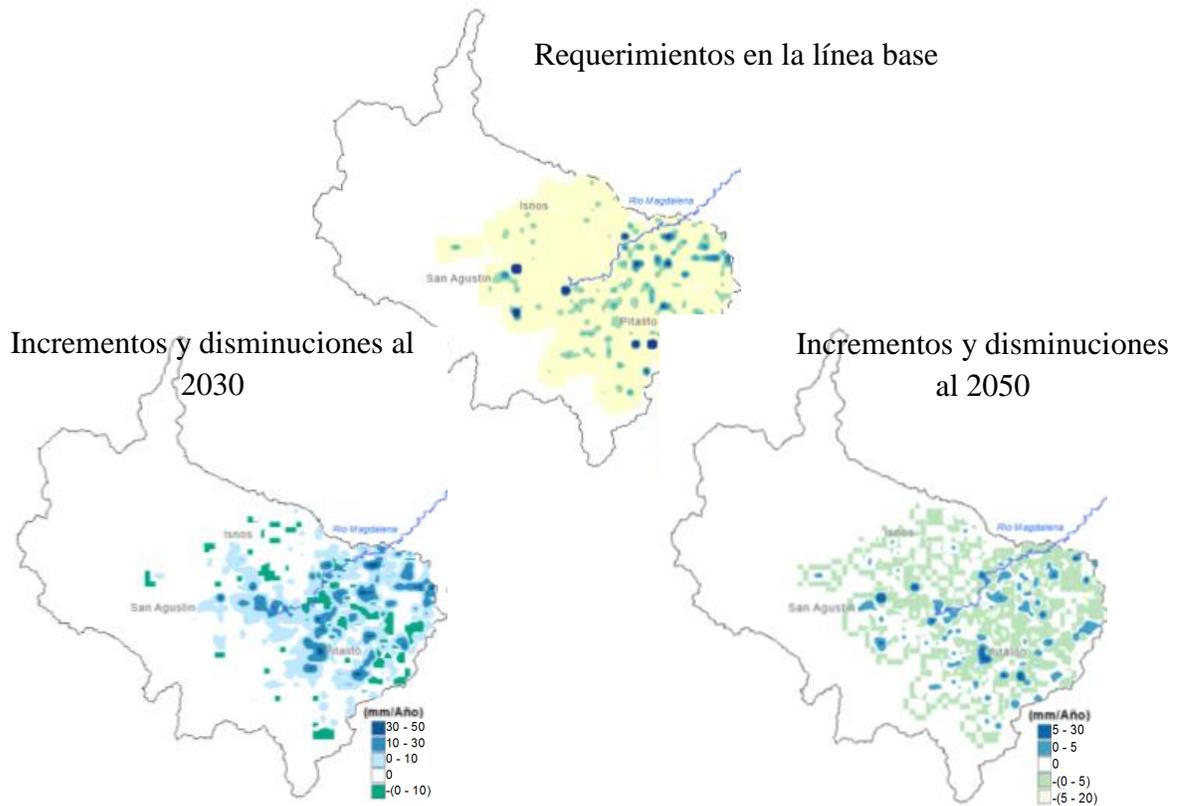


Figura 62. Mapa de los requerimientos hídricos anuales de los cultivos en la cuenca en la línea base y cambios a 2030 y 2050 en la cuenca del Alto Magdalena

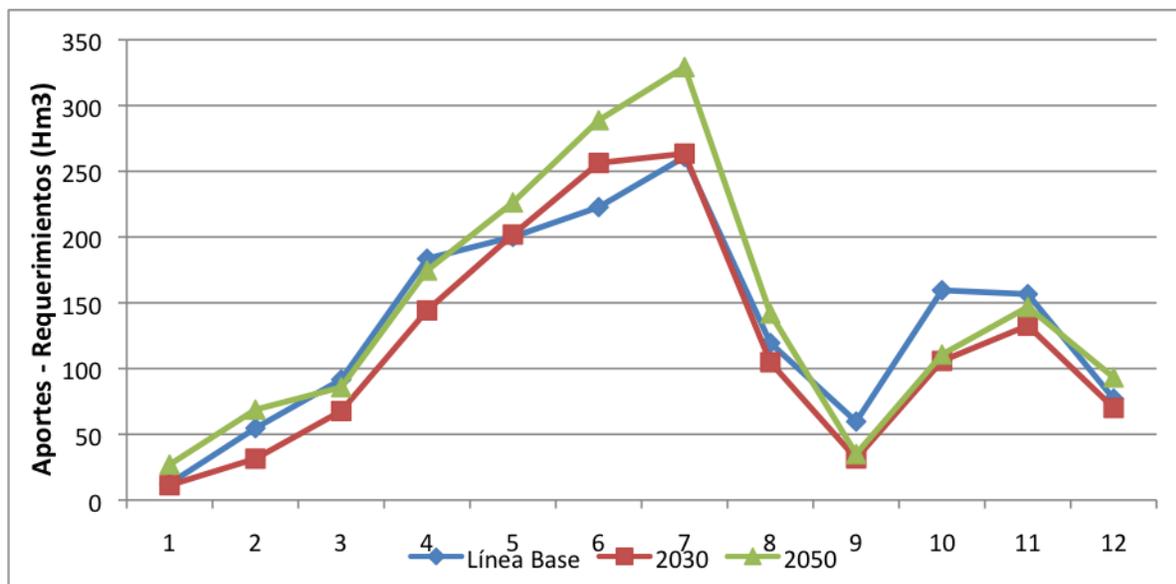


Figura 563. Comparación entre los requerimientos hídricos y los aportes de agua al caudal a nivel mensual para las condiciones de la línea base, 2030 y 2050 en la cuenca del Alto Magdalena.

La comparación entre los aportes y requerimientos de agua para la agricultura (Figura 63) verifica el exceso de agua durante todo el año en la cuenca, siendo mayor el balance en los meses de mayor precipitación, lo que es lógico debido a la gran pluviosidad de la zona, especialmente en las zonas de

altitud media a alta, en donde además se presentan las mayores concentraciones de cultivos en la cuenca, siendo mayor el balance positivo en la primera parte del año y con tendencia hacia la mitad del mismo. Sin embargo preocupa el hecho que los escenarios muestran un aumento en la precipitación para las épocas más lluviosas del año, lo que podría conllevar a que se agraven los fenómenos de inundación de las zonas ribereñas.

#### Cuenca 4. Taraza (Antioquia)

Ubicada en el nor-oeste del municipio de Cáceres, Tarazá y la parte norte de los municipios de Ituango y Valdivia en el departamento de Antioquia. El río Tarazá, el cual es subsidiario del Río Cauca, tiene aportes de agua al caudal que en el presente se estiman entre los 800 a 1000 mm/año/ Km<sup>2</sup> (8 a 10 mil m<sup>3</sup> por Km<sup>2</sup>/Año). En esta área está proyectado el proyecto hidroeléctrico más grande de Colombia (Ver: <https://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrosproyectos/Ituango.aspx>). Sin embargo hacia el año 2030, se prevé una disminución en los aportes al caudal de los ríos Ituango y Rayo. Al año 2050 se estiman disminuciones de aportes de agua hasta a 300 mm/año (ver Figura64).

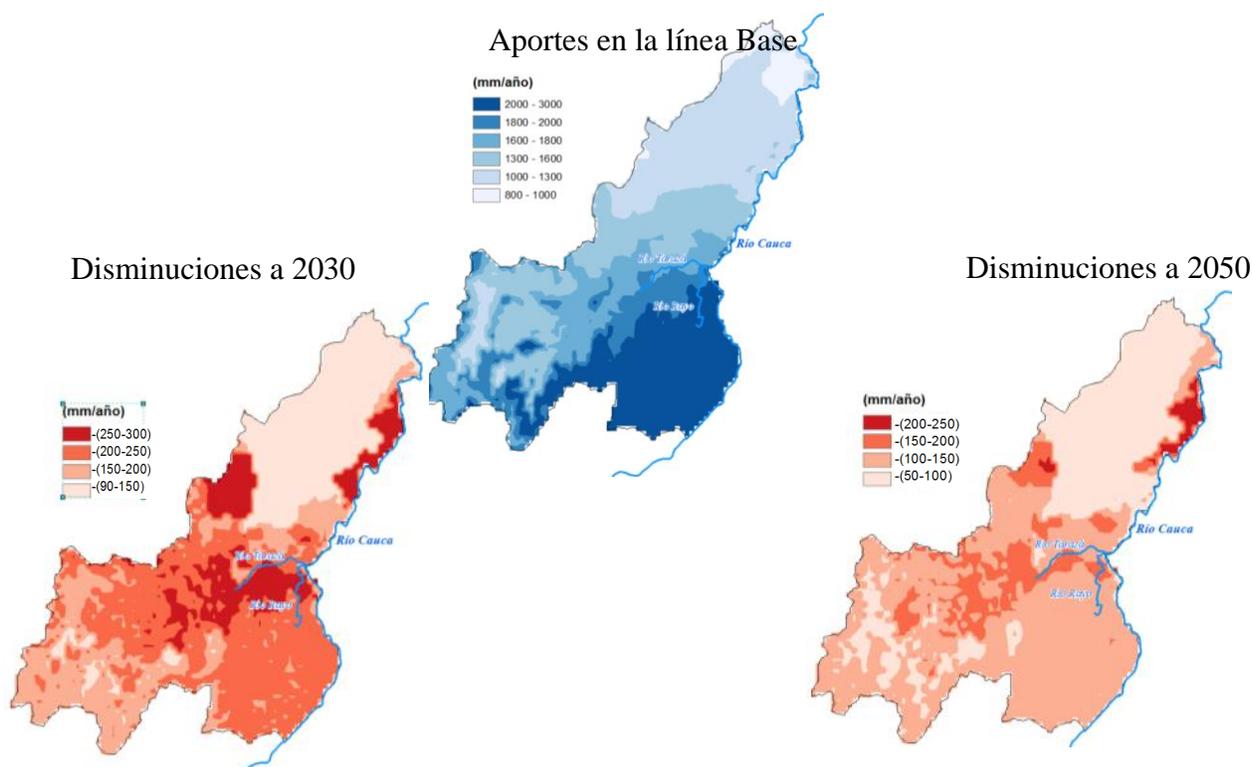


Figura 574. Mapa de los aportes de agua realizados al caudal anual y cambios a 2030 y 2050 para la cuenca del Río Tarazá.

Para esta zona no se registran requerimientos de riego dado el régimen pluviométrico con que cuenta. Las estadísticas muestran para la cuenca que se siembra caucho, cacao, yuca y ñame, entre otros. Al realizar el cálculo de la demanda evapotranspirativa de los cultivos se observa una oferta abundante frente a la demanda agrícola actual. Esto se puede confirmar en parte mediante la comparación entre la evapotranspiración de todos los cultivos en la cuenca (ETc) a nivel mensual y las precipitaciones

mensuales en la cuenca, en donde las ETc mensuales no superan los 20 Hm3 (millones de m3) en ningún mes, mientras las precipitaciones nunca están por debajo de los 200 Hm3 en ningún mes. De hecho en el periodo entre marzo a noviembre los valores registrados son mayores a los 800 Hm3 en un régimen unimodal con pico hacia la mitad del año.

Esta cuenca juega un papel importante como proveedora de la regulación del caudal del Río Cauca y el Magdalena en la zona norte del país, en especial en los meses de mitad de año cuando la mayoría de las cuencas interandinas tienen bajos aportes a dicho caudal. Esto último le otorga una ventaja comparativa al futuro proyecto hidroeléctrico que se planea construir.

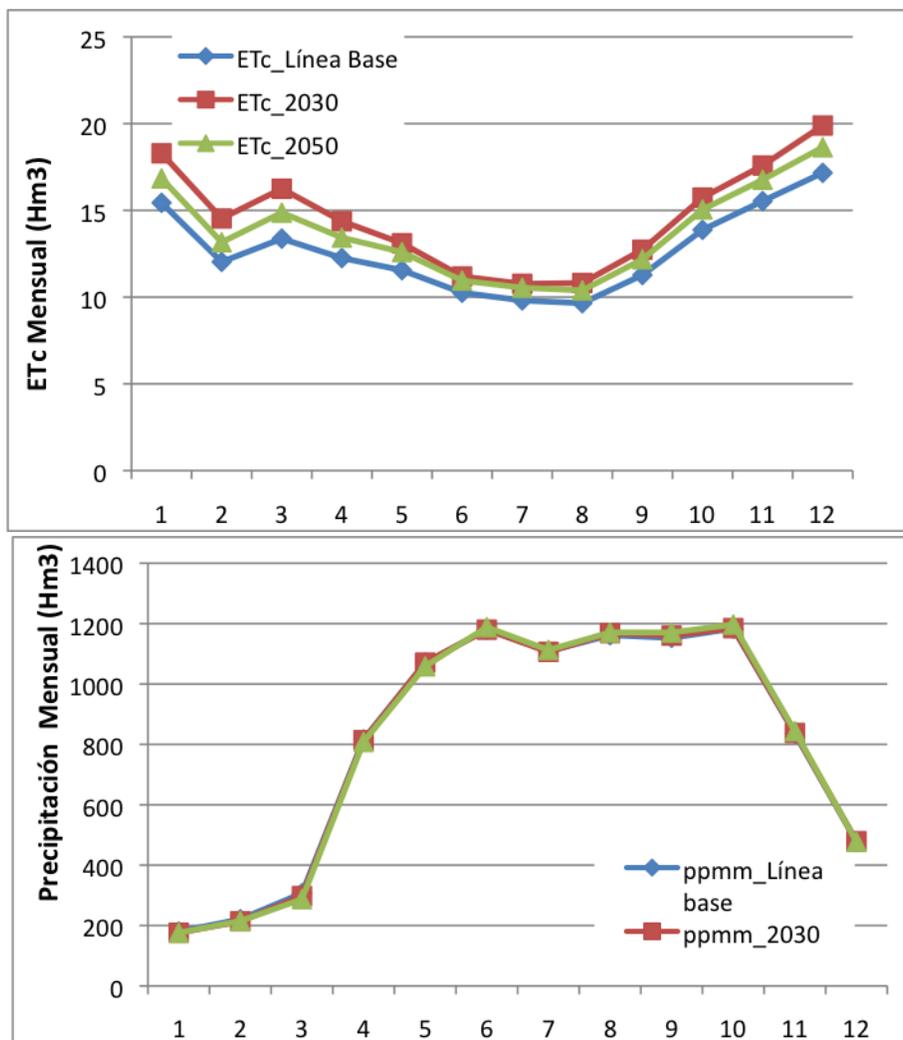


Figura 585. Comparación entre la evapotranspiración de los cultivos (ETc) y la precipitación mensual en la cuenca del río Tarazá

Al evaluar el mayor servicio ambiental proporcionado por la cuenca, es decir el aporte de agua al caudal del río Cauca y comparar los aportes en la actualidad y los cambios a 2030 y 2050, podemos comparar la magnitud del cambio climático con relación con este servicio. Al observar los aportes de agua y los cambios en dicho aporte hacia el 2030 y 2050, los aportes en la época de mayor aporte actual (Mayo-

Octubre), son los de mayor disminución en condiciones de cambio climático. Con disminuciones de hasta 180 y 120 mm/mes/Km<sup>2</sup> en el mes de mayo para el 2050 y 2030, respectivamente.

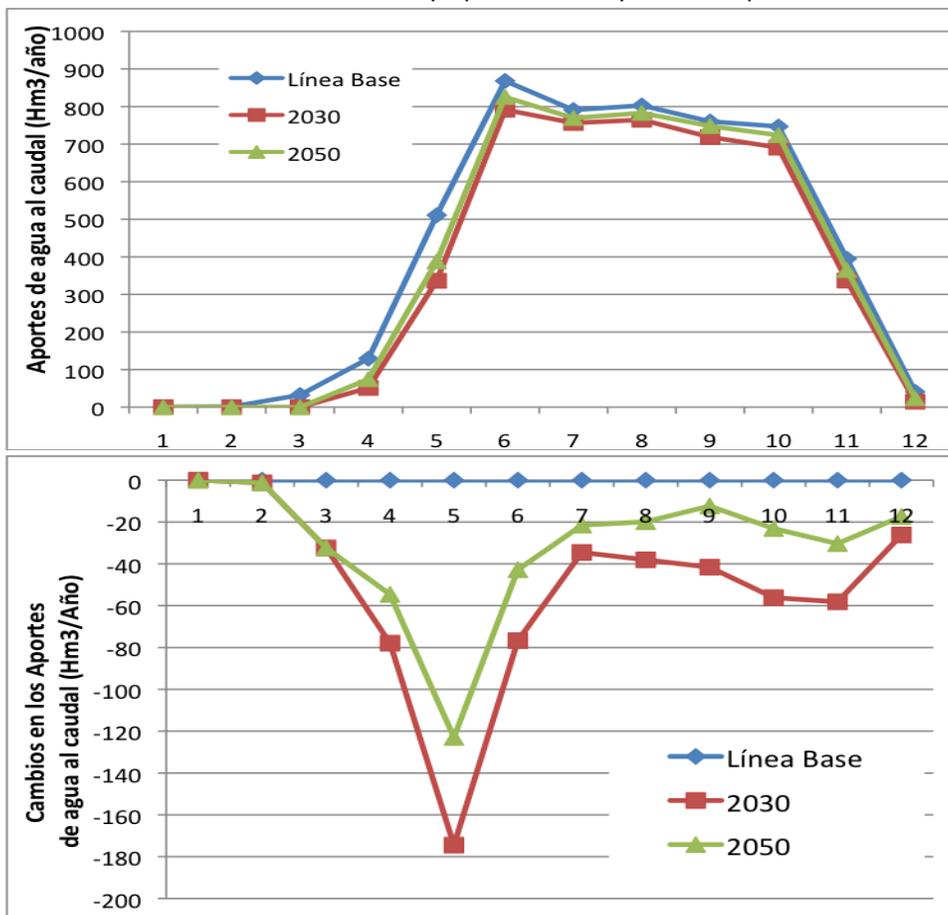


Figura 596. Comparación entre los aportes de agua al caudal y los cambios en estos aportes en 2030 y 2050 para la cuenca del Río Tarazá.

Los escenarios de cambio climático muestran que para el caso de la hidroeléctrica podría presentarse una afectación al inicio de la época de llenado del embalse, ya que al parecer el inicio de las precipitaciones se presentaría con niveles de precipitación menor. En términos de los cultivos (especialmente pastos) se podrían presentar con mayor frecuencia fenómenos de sequía (Figura 65).

## Ecuador

### Cuenca 5. Quijos

En general, se puede apreciar que en la cuenca del Río Quijos la mayor producción de agua (mm) corresponde a la parte alta de la subcuenca del río Cosanga. Es también interesante resaltar que las Unidad de Respuesta Hidrológica (URH) que contribuyen con más agua al caudal no son precisamente las de la parte alta de la cuenca del río Quijos, sino que zonas ubicadas en las partes media y baja hacen mayores aportes. Este resultado es congruente con las estadísticas que muestran mayores precipitaciones en esta zona con respecto a la parte alta. Sin embargo, esto no quiere decir que la parte

alta carezca de importancia hídrica. Por el contrario, su contribución de agua al caudal es también importante, pero menor en comparación con la de las zonas más bajas que tienen mayores registros de precipitación, propia de las regiones de transición andino-amazónicas. De hecho, a pesar de que la cuenca alta contribuye con menos agua a los caudales, su contribución es aún tan importante que sea suficiente para abastecer el 50% de la demanda de agua de la ciudad de Quito y a futuros proyectos hidroeléctricos que se tienen para la región.

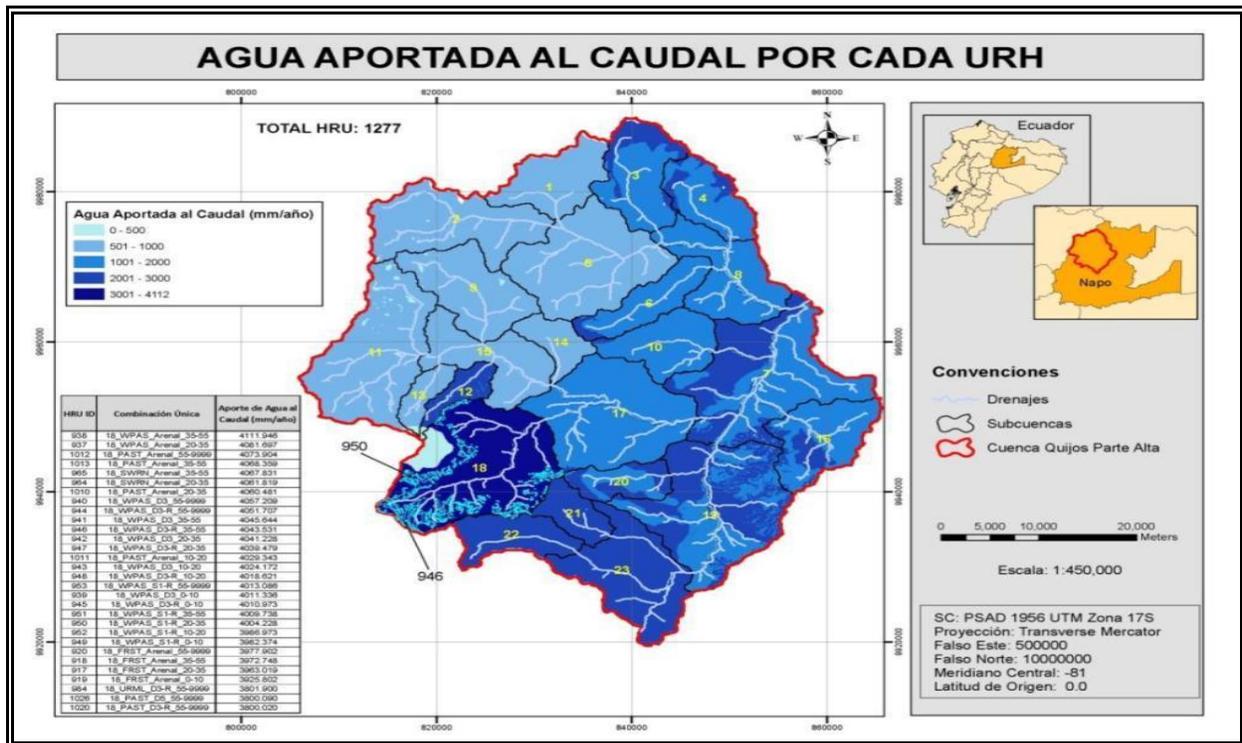


Figura 607. Producción de Agua Anual por cada URH en el escenario actual (línea base) – Cuenca Río Quijos

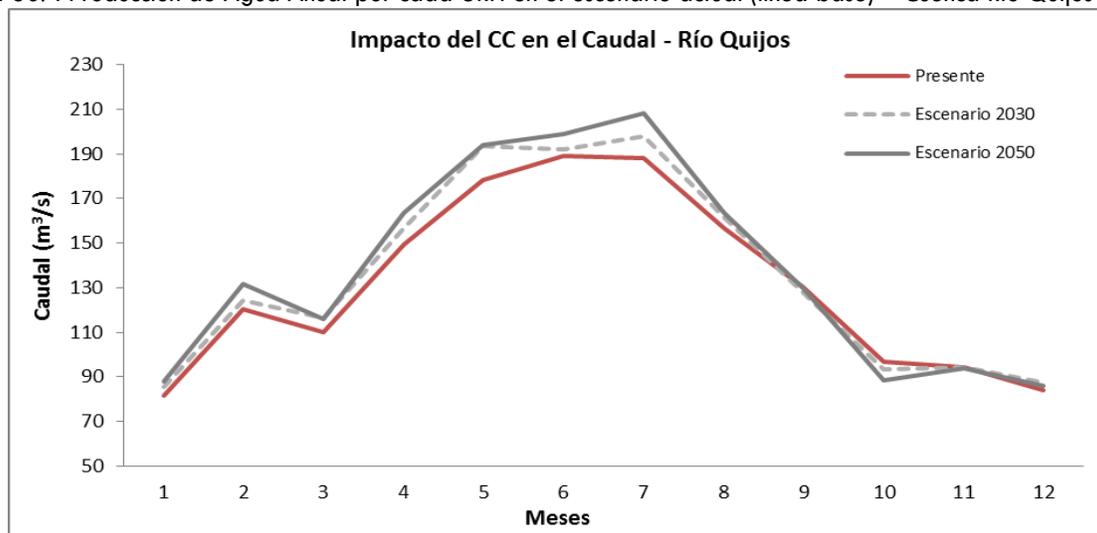


Figura 618. Caudal (m<sup>3</sup>/s) para las condiciones de línea base y posibles condiciones de clima futuro en la cuenca del Río Quijos

En la Figura 69, se puede observar que en las zonas de la parte alta de la cuenca en las provincias de Papallacta y Oyacachi son las áreas que tendrán mayor cambio en el rendimiento hídrico (en tono gris oscuro se resaltan las áreas con mayores cambios en términos de reducción), esta disminución es importante sobre todo para aquellas zonas que ya tienen un rendimiento hídrico bajo.

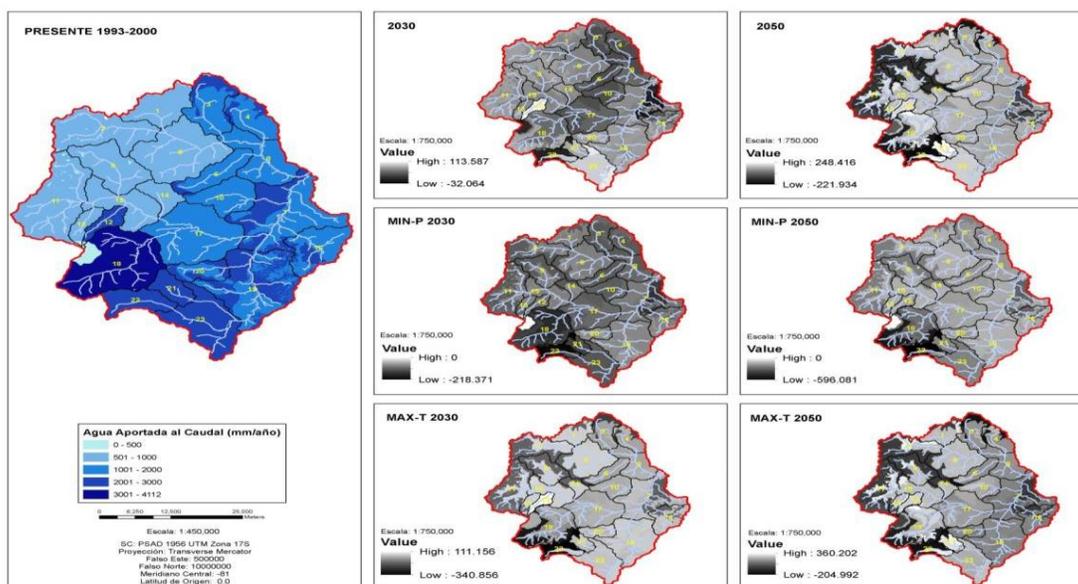


Figura 629. Impacto posible del cambio climático dentro de la cuenca del Río Quijos.

En la parte alta de la cuenca donde se encuentran las zonas de páramo el balance hídrico es favorable incluso después de suministrar gran parte de agua para la ciudad de Quito. Una característica de esta cuenca es que a medida que se desciende a lo largo de la cuenca la precipitación aumenta. Esto último se debe a que la parte baja de la cuenca alcanza a estar influenciada por la región amazónica. En la parte baja de la cuenca se encuentra en construcción una de los mayores proyectos hidroeléctricos de Ecuador. De acuerdo con los escenarios de cambio climático del balance hídrico podría ser un poco desfavorable para las partes bajas de la cuenca, y a pesar del gran potencial hídrico de la cuenca, esto podría tener algún impacto dado que el principal usuario del agua sería para esas épocas la central hidroeléctrica ubicada en la parte baja de la cuenca, la cual tiene una alta demanda del recurso. En términos de cultivo, no se prevén impactos importantes.

#### Cuenca 6. Cuenca Rio Juval

En la Figura 70 se presentan los resultados de la línea base de la modelación hidrológica de la cuenca del río Juval. Con los resultados del modelo por URH se identificó la variación en términos de contribución de agua al caudal (mm) a través de la cuenca. Entre más oscura la tonalidad del color azul significa que es una zona de la cuenca que tiene un mayor aporte de agua al caudal, y un azul con una tonalidad más clara significa que el aporte al caudal es muy bajo.

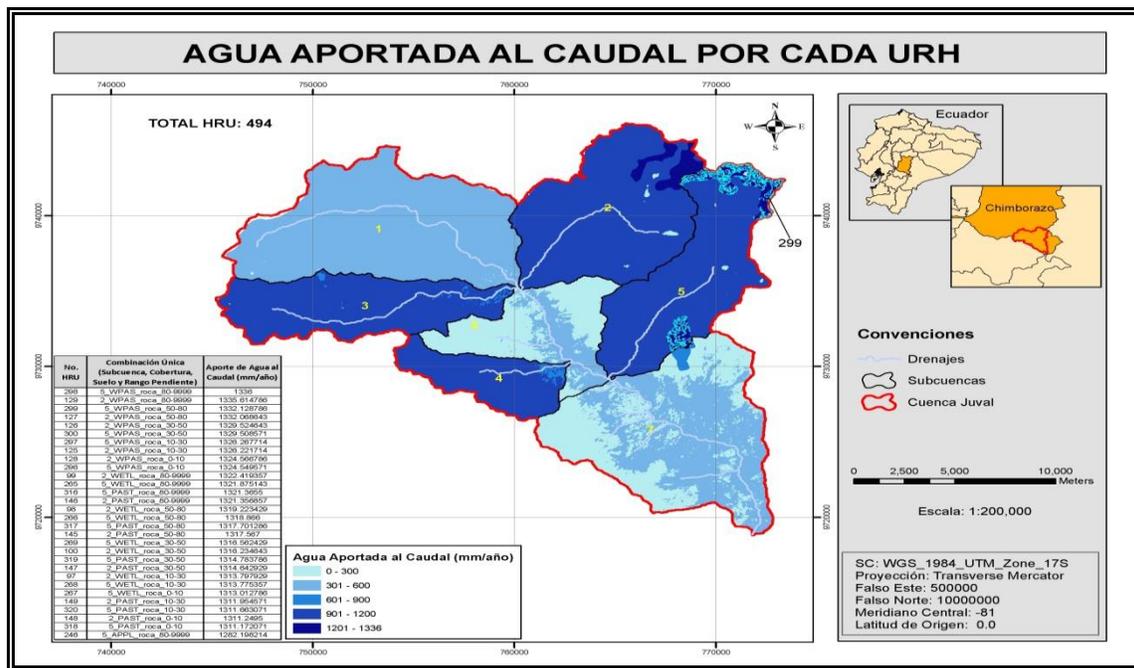


Figura 70. Producción de Agua Anual por cada URH en el escenario actual (línea base) – Cuenca Río Juval

En general para la cuenca, el modelo hidrológico combinado con las proyecciones de cambio climático de los modelos utilizados, simulan un aumento del caudal en todos los meses a excepción del mes de septiembre a diciembre. Los mayores cambios en términos absolutos se dan en la época de lluvia, en especial en el periodo comprendido entre febrero a agosto para ambos escenarios (2030 y 2050), donde se presenta un aumento del caudal; y en los meses de septiembre a diciembre (época seca) donde se presenta una disminución del caudal (Figura 71).

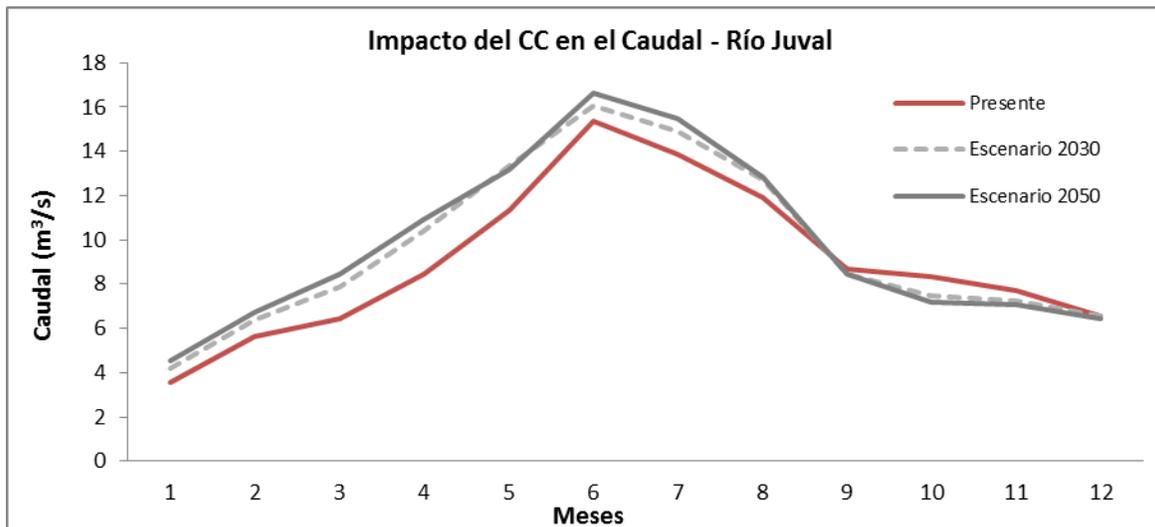


Figura 71. Caudal para las condiciones de línea base y posibles condiciones de clima futuro – cuenca Río Juval

En la Figura 72, se puede observar que en las zonas de la parte alta costado oriental de la cuenca son las áreas que tendrán mayor cambio en el rendimiento hídrico (en tono gris oscuro a negro se resaltan las áreas con mayores cambios en términos de reducción), esta disminución es importante sobre todo para

aquellas zonas que ya tienen un rendimiento hídrico bajo. No obstante, la subcuenca del costado noroccidental de la cuenca, se presenta un aumento en el rendimiento hídrico para 2030 y 2050.

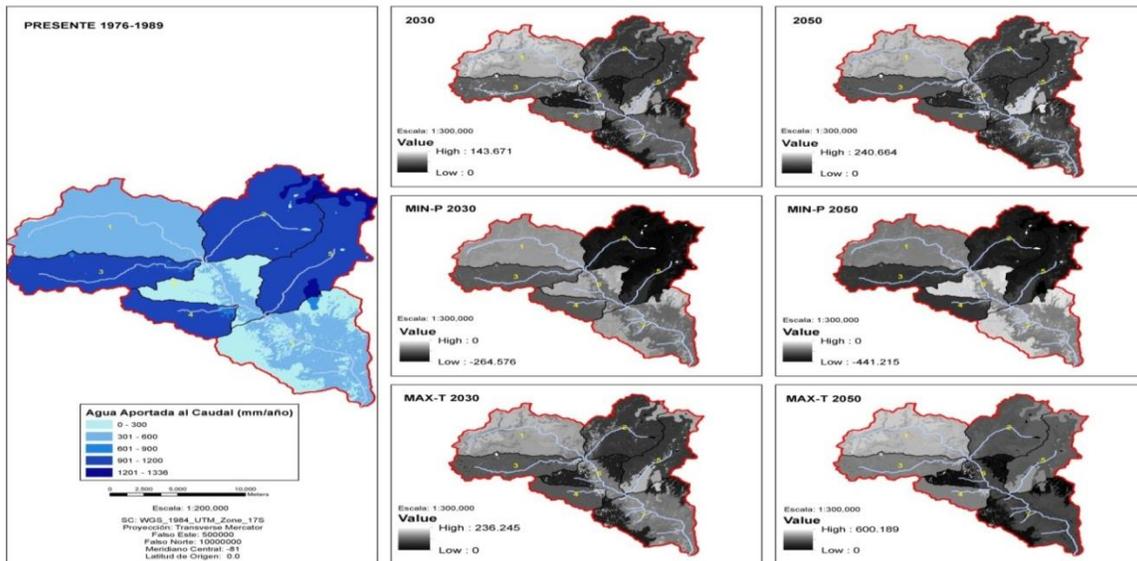


Figura 72. Impacto posible del cambio climático dentro de la cuenca del Río Juval.

## Perú

### Cuenca 7. Cañete

Se puede apreciar que en la cuenca del Río Cañete la mayor producción de agua (mm) corresponde a la parte alta de la subcuenca del río en la zona de la reserva del Yauyos. Esta producción de caudal se encuentra muy ligada a la precipitación de las zonas y a los procesos de desglaciación y el buen ajuste del modelo en términos de producción de agua permitió priorizar las áreas que tienen una contribución importante. Este primer ejercicio de priorización resultó en 52 602 ha ubicadas en los distritos de Miraflores, Alis, Laraos, Vitis, Thomas y Huancaya, con un aporte promedio anual entre 1 111-1 507 mm.

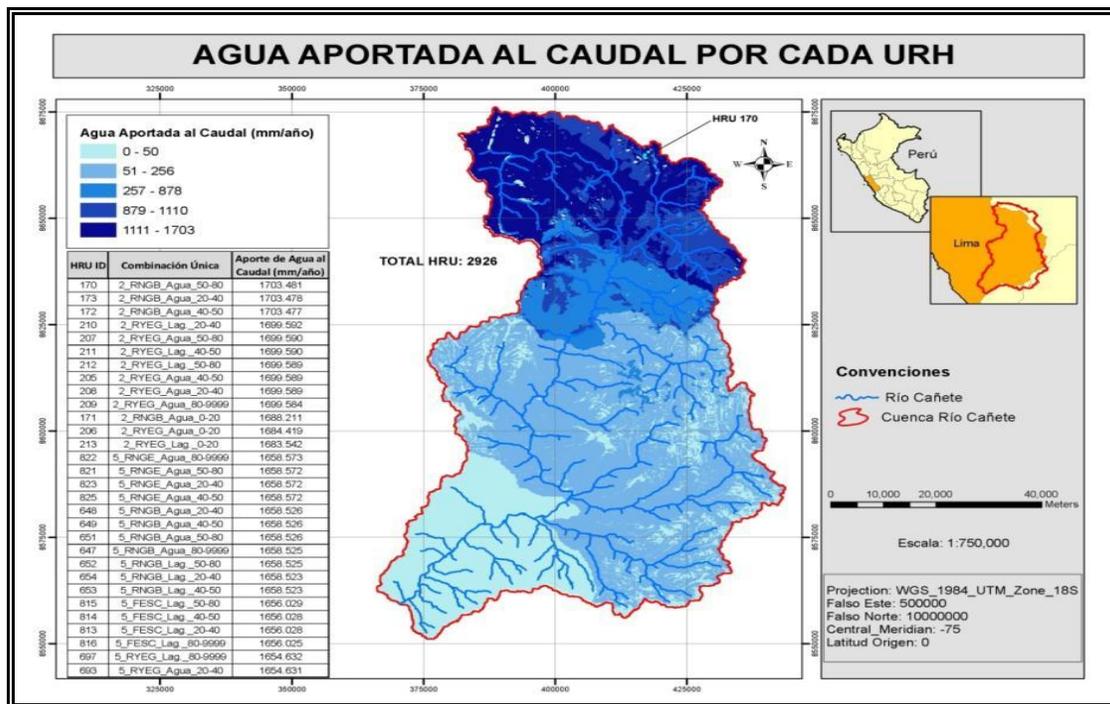


Figura 633. Aporte de agua por URH al caudal del río

En la Figura 74, se puede observar que en las zonas de la parte alta de la cuenca en los distritos de Tanta, Huancaya, Vitis, Thomas, Miraflores y Alis son las áreas que tendrán mayor cambio en el rendimiento hídrico (en tono gris oscuro se resaltan las áreas con mayores cambios en términos de reducción), esta disminución es importante sobre todo para aquellas zonas que tienen ya un rendimiento hídrico bajo.

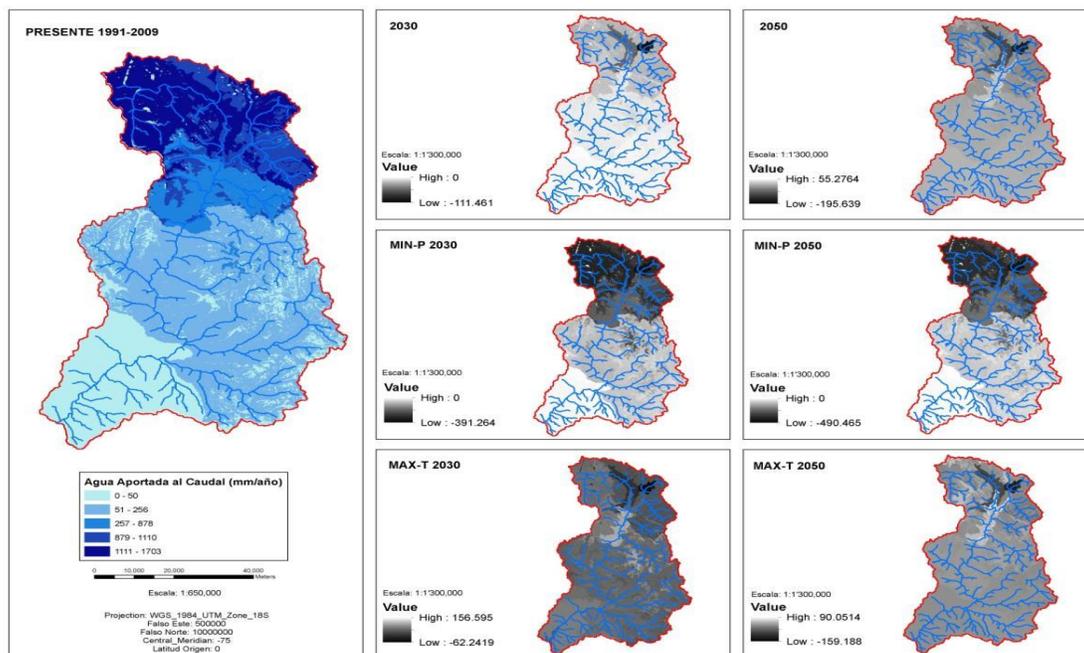


Figura 644. Impacto posible del cambio climático dentro de la cuenca del Río Cañete.

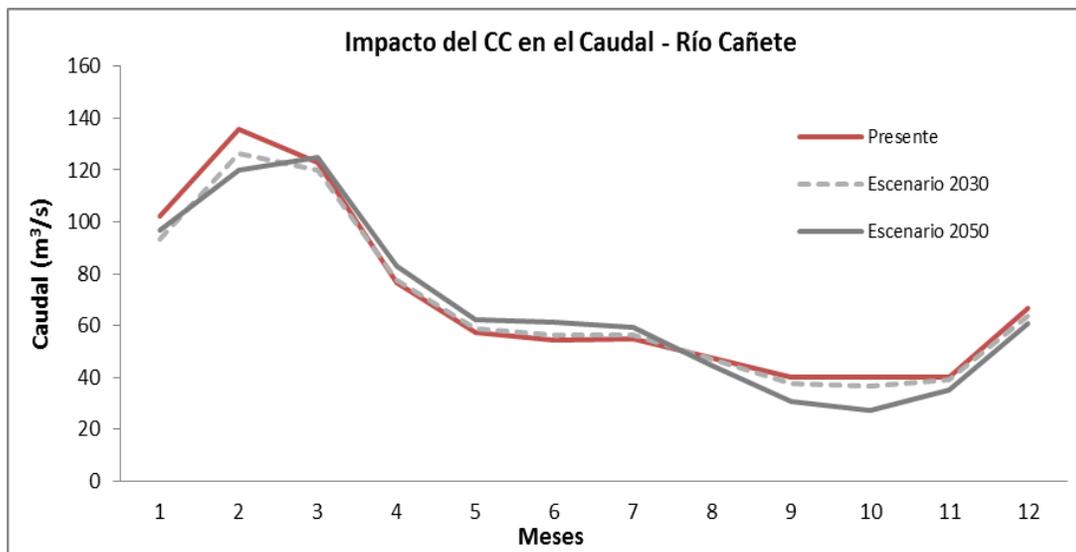


Figura 655 Caudal para las condiciones de línea base y posibles condiciones de clima futuro – cuenca Río Cañete

Los resultados muestran una posible disminución de los caudales en las épocas más críticas del año con respecto al caudal. Esto podría generar conflictos por el uso del agua en la parte media y baja de la cuenca. Actualmente existe un embalse para generación de energía en la parte media, que es complementado con un embalse de regulación en la parte alta de la cuenca. En este caso, los escenarios de cambio climático mostrarían que habría una menor generación de energía para esta época. Igualmente la agricultura de la parte baja de la cuenca, 20 mil hectáreas de cultivos, se verían afectadas dado que tienen una dependencia absoluta del agua del río para todas las épocas del año.

#### Cuenca 8. Ilo-Moquegua

Al estimar los aportes de agua de la cuenca al caudal se encontró que estos tienen un valor nulo para todos los meses y en todas las épocas. Lo anterior se explica porque la mayoría del territorio de la cuenca predomina un clima árido. Por otra parte, las precipitaciones en la parte alta no generan un caudal suficiente para proveer recurso hídrico para la agricultura y otros usos como la minería que se ha establecido en la zona y ha generado conflictos por el uso del agua (Rejas N., 2003; <http://www.larepublica.pe/05-07-2010/se-agudiza-conflicto-ilo-moquegua>). En la Figura 76 se muestra una comparación entre la precipitación promedio mensual en la cuenca y la evapotranspiración de todos los cultivos presentes en la cuenca (ETc), mostrando cómo en las partes de mayor precipitación en la cuenca, localizadas en la sierra las precipitaciones promedio actuales, no superan los 50 mm promedio mensual, lo cual permite apenas el establecimiento de zonas aisladas de cultivos que evapotranspiran menos de 20 mm al año. Mientras que en zonas de menor altitud y mayor aridez localizadas en los valles del Río Moquegua la ETc de los cultivos está entre los 10 y 800 mm/anales. Esta agua tiene que ser transvasada desde otras cuencas. Es decir, toda esta cuenca es altamente dependiente del recurso hídrico que proveen otras cuencas.

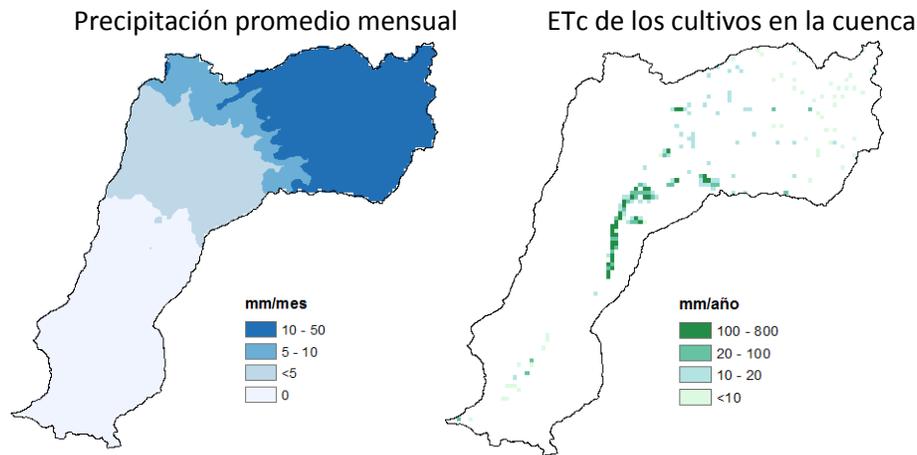


Figura 666. Valores de precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base de la cuenca

En la Figura 77, al comparar las precipitaciones promedio y las ETo mensuales (valor que se podría asumir como la demanda evaporativa de la atmósfera), se puede apreciar que durante la mayoría del año (abril a noviembre) la precipitación total, tanto en el presente como hacia los 2030 y 2050, son menores a la ETo y en los meses desde diciembre a marzo la precipitación total de la cuenca, debida principalmente a las mayores precipitaciones de la parte alta, son mayores a la ETo. Estos meses son aprovechados por los pobladores de la cuenca para las siembras de cultivos, especialmente cerca a al valle del río. No obstante el caudal remanente de las lluvias en las partes altas sigue siendo muy bajo respecto a la demanda.

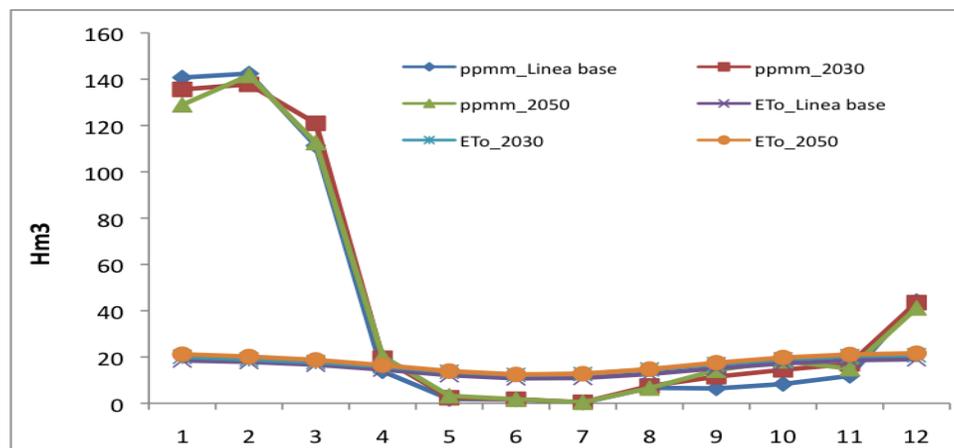


Figura 677 Valores de precipitación y demanda evapotranspirativa de la línea base y los escenarios 2030 y 2050

Los requerimientos de agua agrícola se presentan en la Figura 78. Dado que la demanda de agua es mayor que la oferta, el déficit hídrico se debe cubrir con suministro de riego alimentado por agua transvasada de otras cuencas. Los requerimientos actuales están entre menos de 20 mm/año, especialmente en las partes altas de la cuenca, hasta los 500 mm/año en la zona cercana a los valles del río Moquegua. Los cultivos cercanos al valle del río tienen la oportunidad de irrigar sus cultivos con el caudal del río. Hacia el 2030, los requerimientos se incrementarán hasta los 100 mm/año en las zonas de mayor actividad agrícola, mientras en el 2050 el incremento será mayor con aumentos que van hasta los 500 mm/año. En esta cuenca, la agricultura que existe puede verse seriamente afectada debido al

cambio climático, ya que el poco caudal disponible que existe en la actualidad podría reducirse drásticamente, y fuentes alternativas como el agua subterránea está siendo explotada para uso minero.

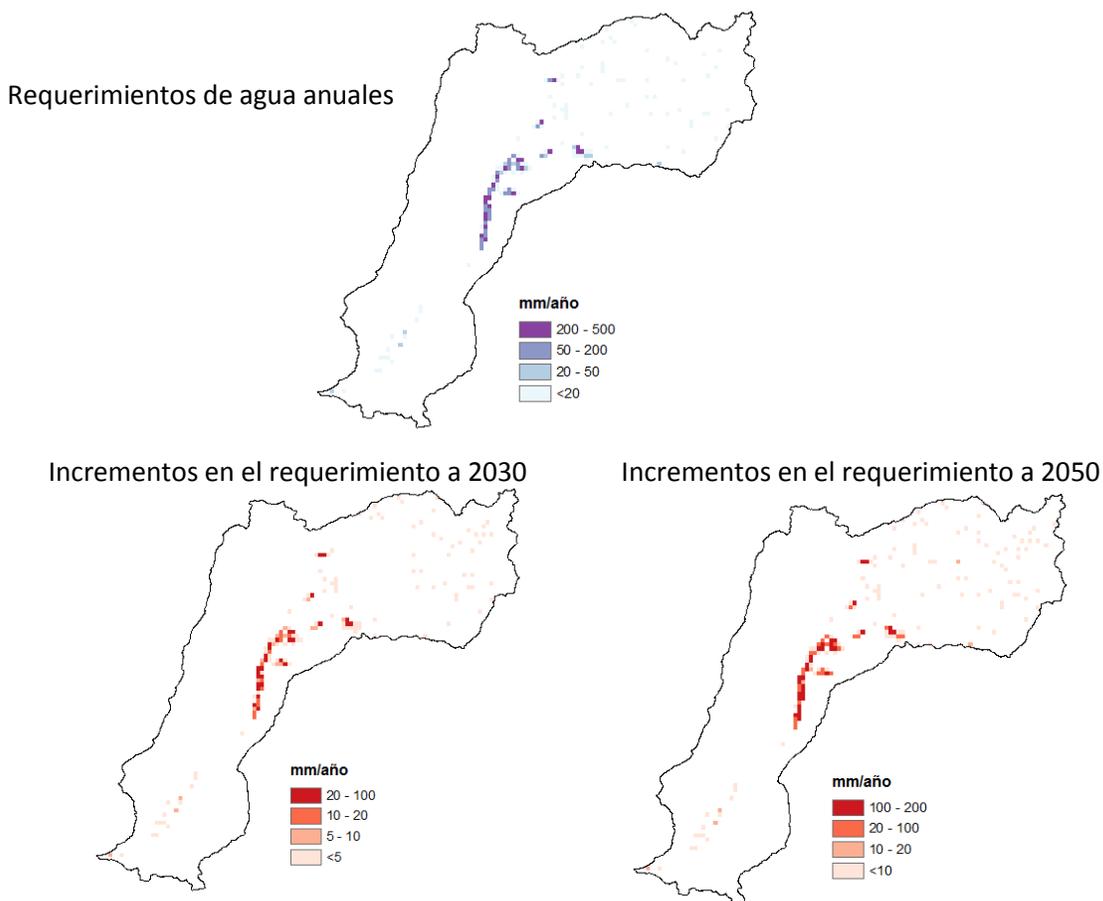


Figura 688 Cambios en los requerimientos hídricos de los cultivos para los escenarios 2030 y 2050

Finalmente, en la Figura 79 se muestra cómo estos requerimientos tendrán una mayor demanda en el futuro, especialmente en el 2050 y durante todos los meses del año especialmente en los meses de enero a junio y de agosto a diciembre.

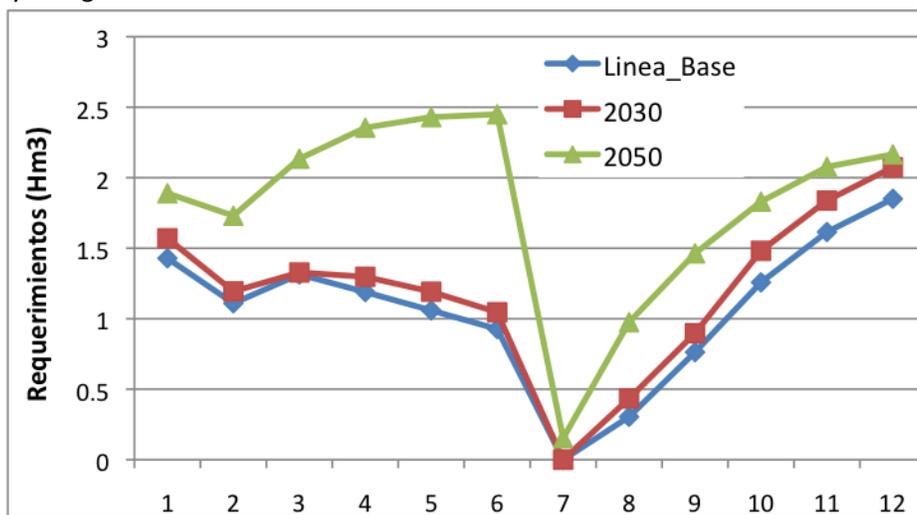


Figura 699. Comparación de los Requerimientos de riego a nivel mensual para la cuenca de Ilo-Moquegua

## Cuenca 9. Locumba

Los aportes de agua al caudal resultaron ser nulos en todos los meses en toda la cuenca. Como se puede ver en la Figura 80, las precipitaciones no superan los 50 mm/mes en las partes más altas y húmedas de la cuenca. Mientras que la ETc supera los 500 mm/año en varias partes de la cuenca, en especial en el valle del río Locumba y en las zonas altas de la cuenca, en donde el clima es menos árido, sin embargo aún los requerimientos en estas zonas son de importancia, por lo que se hace necesario evaluar la magnitud del servicio ambiental requerido para suplir las necesidades de agua de los cultivos presentes en la cuenca y por otro ver los cambios de acuerdo al cambio climático.

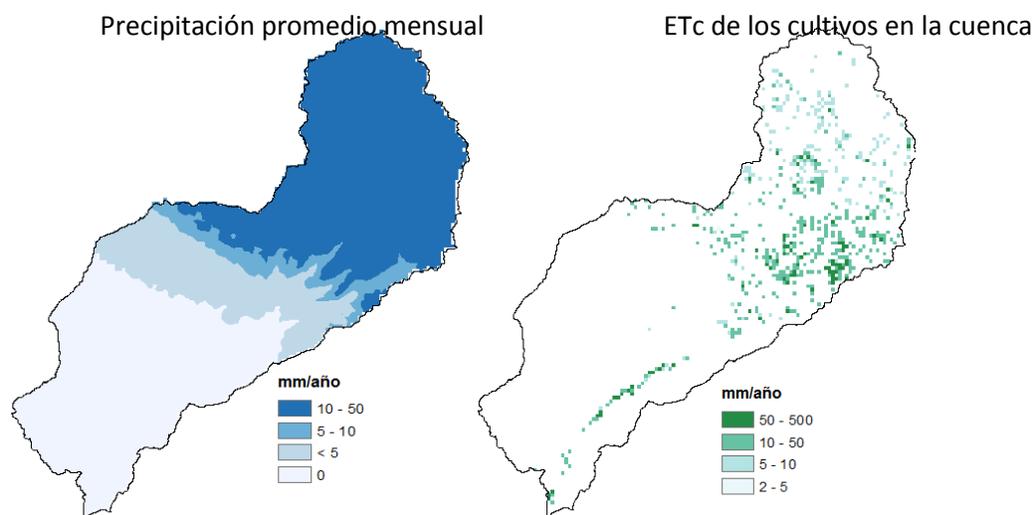


Figura 80 Niveles de precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base de la cuenca

En la Figura 81, se compara la demanda evaporativa de la atmósfera (ETo) con la precipitación total en la cuenca. Se puede apreciar cómo durante la mayoría del año (abril a noviembre) la precipitación total tanto en el presente como hacia los 2030 y 2050, tiene comportamientos muy similares a la ETo, por lo que para la gran parte de la cuenca se presentan constantes balances de humedad negativos en el suelo y en general en la atmósfera.

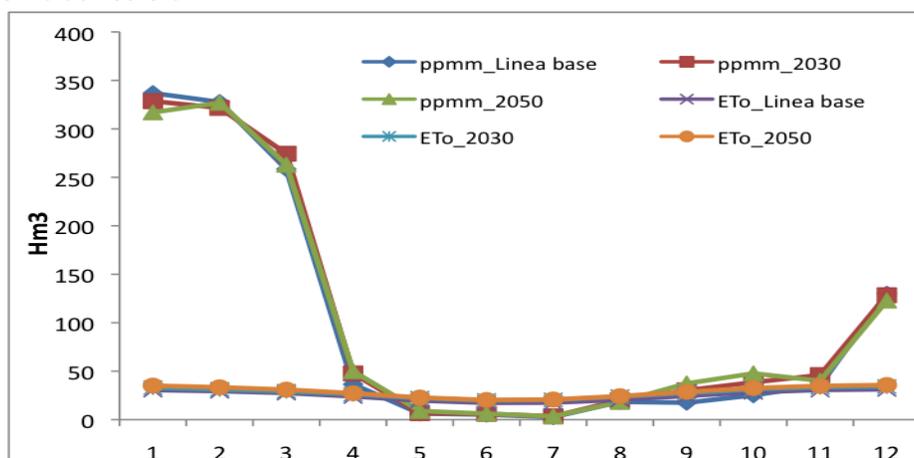


Figura 8170 Precipitación y demanda evapotranspirativa para la línea base y para los escenarios 2030 y 2050

El déficit hídrico dentro de la cuenca debe suplirse con agua proveniente de otras cuencas a través de transvases. La demanda hídrica en la cuenca varía, con requerimientos actuales menores a 10 mm año en las partes altas de la cuenca, hasta los 300 mm año en la zona cercana a los valles del río Locumba. La agricultura en la cuenca se concentra en los valles del río, dada las posibilidades de irrigación del caudal proveniente del remanente de lluvias de las parte alta. Hacia el año 2030, los requerimientos se incrementarán en las zonas de mayor cantidad de siembra hasta los 20 mm/año, mientras en el 2050 el incremento será mayor con aumentos que van hasta los 50 mm/año.

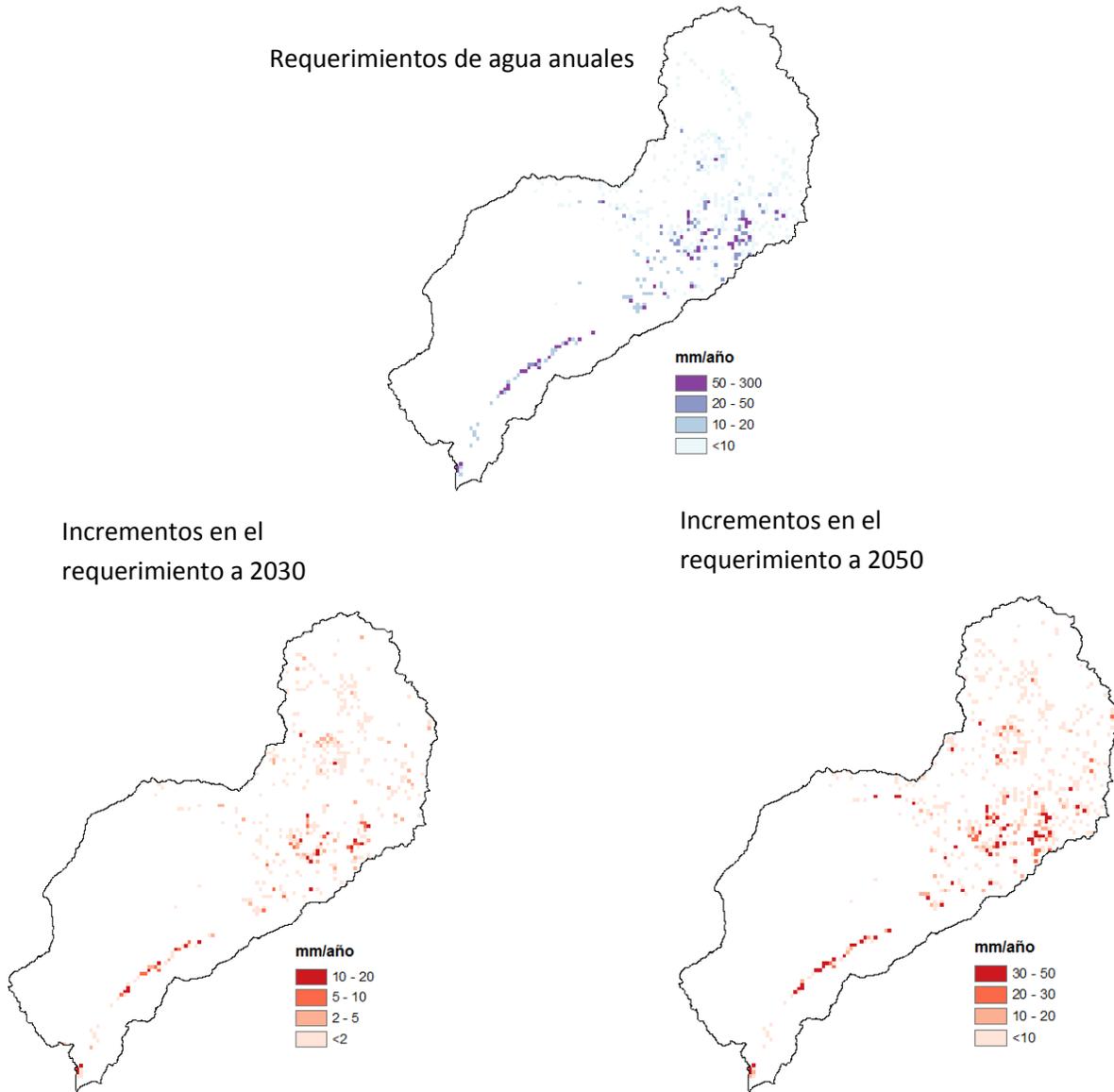


Figura 82 Cambio en el requerimiento de agua anual para los escenarios 2030 y 2050

Finalmente la Figura 83 muestra cómo la demanda de agua aumentará a través de todos los meses, especialmente para los años 2050.

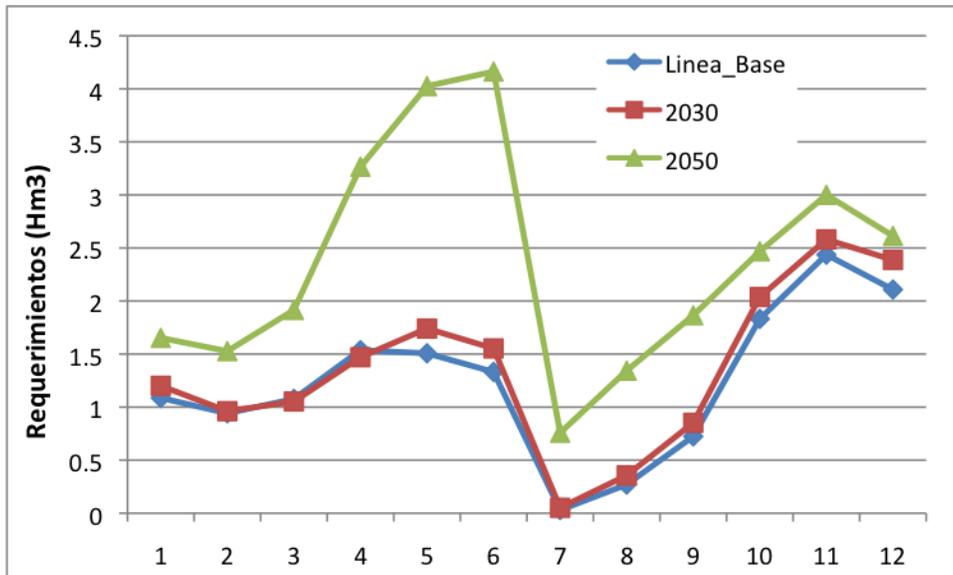


Figura 713 Requerimientos de agua dentro de la cuenca para la línea base, escenario 2030 y escenario 2050

## 5 Capítulo 5. Sensibilidad Social

Una vez establecido el impacto biofísico en la región andina de los tres países, se estableció el impacto social. Para esto se identificaron los sitios con mayores niveles de pobreza rural, y posteriormente se elaboró una lista de cultivos que generalmente son de importancia económica para productores pobres o de gran importancia en términos de seguridad alimentaria (autoconsumo). Posteriormente en estos sitios se realizó un análisis de pérdida de aptitud climática de los cultivos priorizados con el fin de conocer el posible impacto del cambio climático sobre este sector de la población.

En el caso de Colombia, se tomó como indicador de pobreza el índice de pobreza multidimensional<sup>6</sup> para la zona rural. Los cultivos considerados de importancia en términos de seguridad alimentaria (autoconsumo) para productores pobres fueron: Maíz tradicional, Frijol, Plátano y Yuca. Mientras que los cultivos considerados de importancia económica (o ingresos) para productores pobres en la región Andina son: Cacao, Arveja, Café, Caña panelera.

Para Ecuador, se tomó como referencia de pobreza los lugares con altos valores en el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas Total (NBI). Para estas personas en situación de pobreza se tuvo en cuenta por un lado los cultivos de importancia en seguridad alimentaria: Frijol, Haba, Maíz, Plátano y Yuca. Por otro lado los cultivos de importancia en la generación de ingresos: Cacao, Cebada, Papa y Trigo.

En el caso de Perú, se tomó como referencia el índice de incidencia de pobreza. Los cultivos de referencia para la seguridad alimentaria de productores pobres fueron: Cañihua, Frijol, Maíz, Papa y Quinua. Mientras que los cultivos de referencia para la generación de ingresos de productores pobres fueron: Arveja, Café y Papa.

### Resultados

#### Colombia

Los resultados del análisis muestran que para la región Andina de Colombia los cultivos de maíz tradicional y frijol se verían altamente afectados por el cambio climático, con el agravante de que son dos productos básicos asociados a la seguridad alimentaria (autoconsumo) de los productores de bajos ingresos económicos. Los efectos negativos se ven a lo largo de la región andina, pero se concentran especialmente en los departamentos de Antioquia, Cauca, Huila y Nariño; así como los Santanderes y el Eje cafetero; que son algunos de los departamentos y zonas con mayor grado de afectación. En el caso de cultivos relacionados con los ingresos de los productores de bajos ingresos económicos sólo algunas regiones de Huila y Santander muestran algún grado de afectación a gran escala. Los casos de Topaipí en Cundinamarca e Ituango en Antioquia son los más críticos dado los altos niveles de pobreza y la gran superficie que sería afectada en cultivos de autoconsumo por cambio climático (Ver Figura 84).

---

<sup>6</sup> Este índice contempla: condiciones educativas del hogar, condiciones de niñez y juventud, trabajo, salud, servicios públicos domiciliarios y condiciones de vivienda

En la Figura 84 aparecen referenciados únicamente los municipios que sufrirían alguna pérdida fuerte en algunos de los cuatro cultivos de autoconsumo, representados en áreas de color negro. La intensidad del color rojo representa el nivel de pobreza rural de dichos municipios. Por lo tanto, los municipios que aparecen en blanco son municipios donde los cuatro cultivos de autoconsumo no presentan pérdidas fuertes y los niveles de pobreza están por debajo del 50%

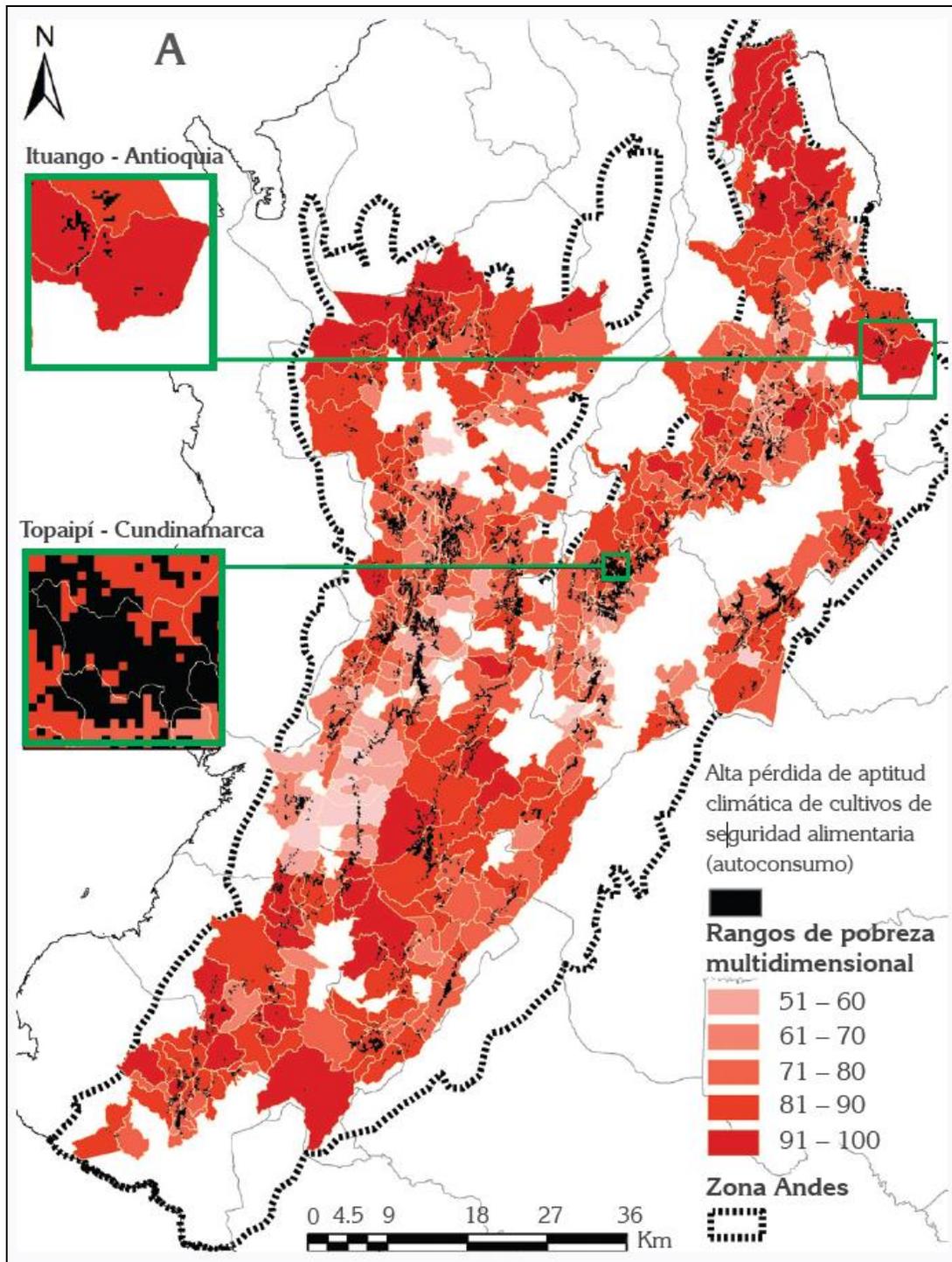


Figura 724. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de seguridad alimentaria (autoconsumo) en las regiones más pobres de la región Andina de Colombia.

En el caso de cultivos que son importantes en la generación de ingresos para productores de agricultura familiar, se observa un impacto negativo considerable el cultivo de arveja, y para zonas muy específicas en el caso de café (por ejemplo Tolima y Huila). Los departamentos más afectados son: Boyacá, Tolima y Huila, además de la zona de los Santanderes. Un caso crítico es el municipio de Toribio (Cauca), ya que los niveles de pobreza son altos y al mismo tiempo muestra un área considerable de cultivos de importancia en la generación de ingresos en la agricultura familiar que perderían aptitud climática. En el caso de Calarcá (Quindío), los niveles de pobreza no son muy altos pero es muy grande el área afectada en cultivos que generan ingresos a productores de agricultura familiar (Figura 85).

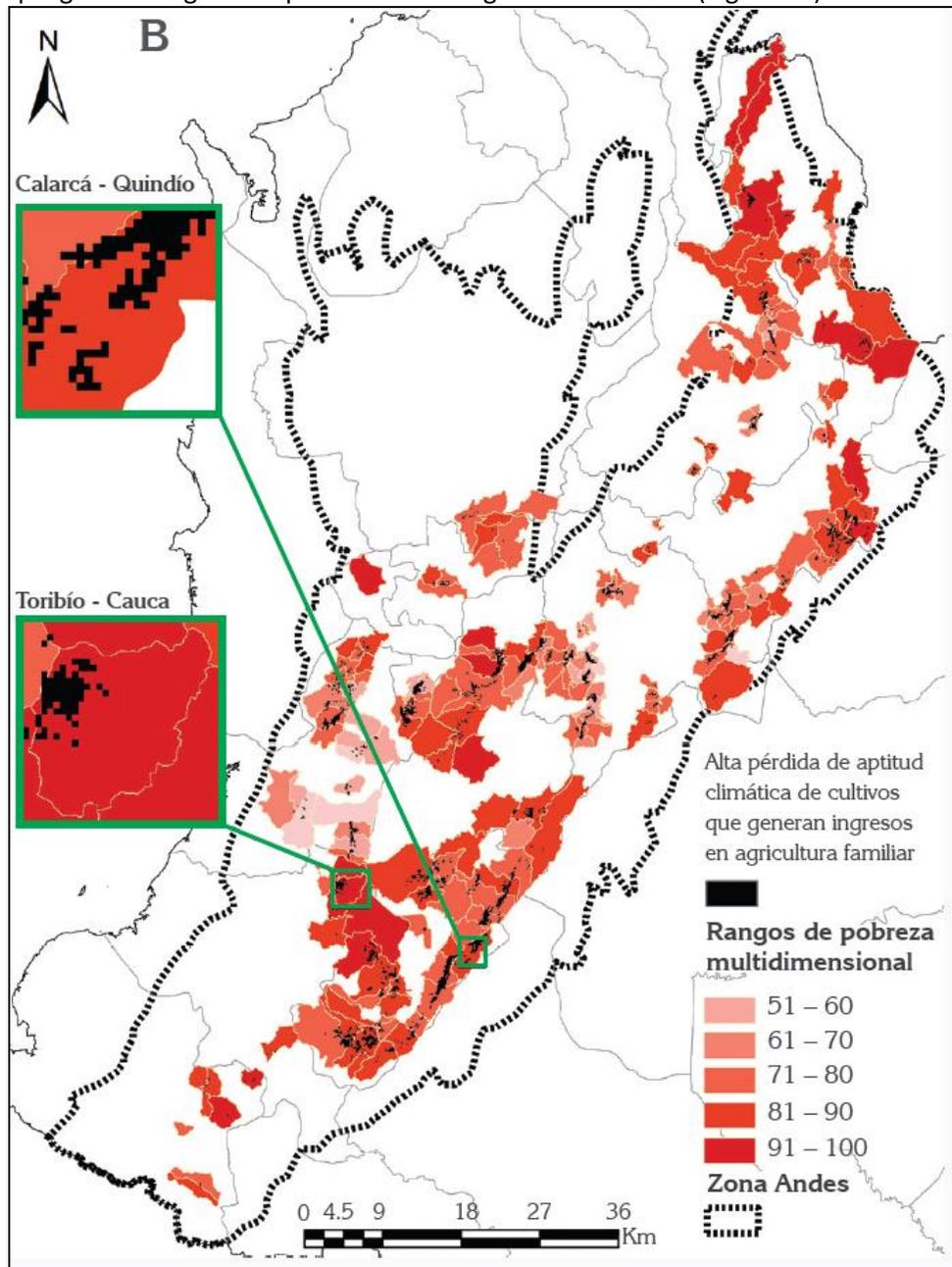


Figura 735. Impacto del cambio climático sobre los cultivos que generan ingresos a productores de agricultura familiar en las regiones más pobres de la región Andina de Colombia.

## Ecuador

En relación a la pérdida de viabilidad de cultivos para autoconsumo, se observa una preocupante pérdida de aptitud para los cantones de Celica y Puyango en Loja donde al mismo tiempo se tienen niveles de pobreza relativamente altos (Figura 86).

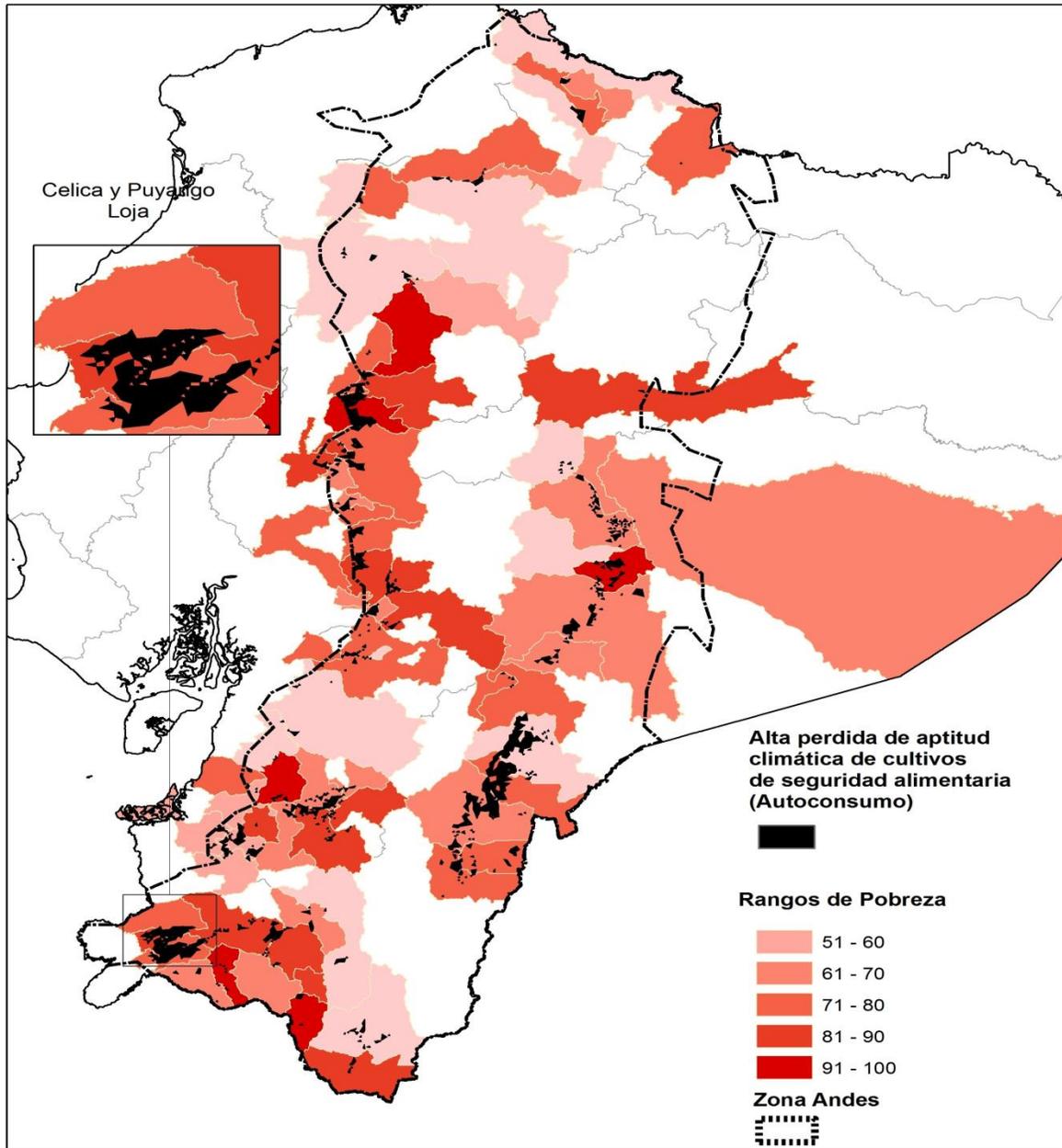


Figura 746. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de importancia en seguridad alimentaria para la agricultura familiar en las regiones más pobres de la región Andina de Ecuador

En términos de impacto del cambio climático sobre los cultivos que generan ingresos para los productores más pobres se observa con preocupación el caso del cantón Pangua en Cotopaxi dado que el área municipal afectada de estos cultivos es considerable y el nivel de pobreza en el municipio es muy alto (Figura 87).

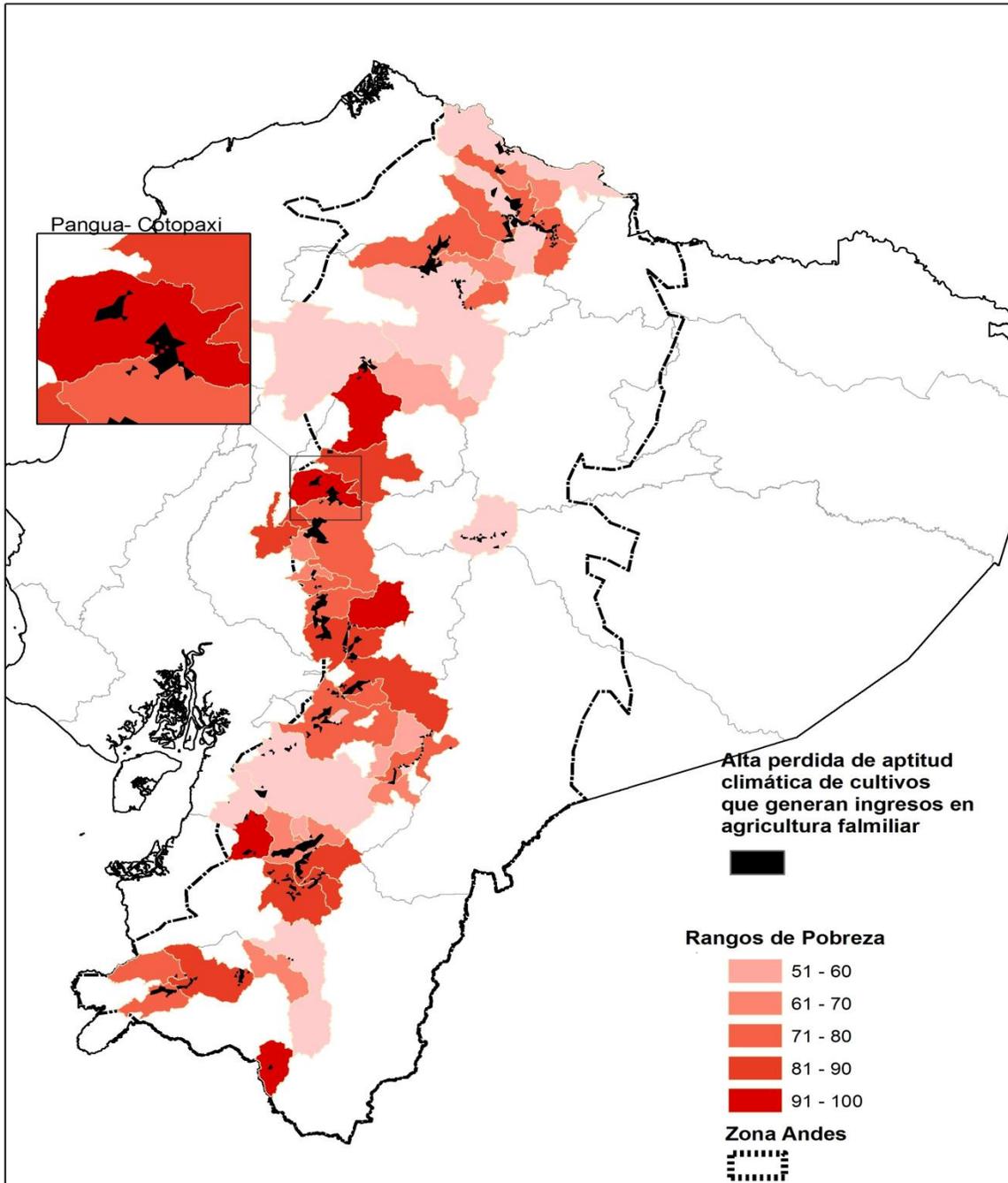


Figura 757. Impacto del CC., sobre los cultivos de importancia económica para los productores de bajos ingresos en las regiones más pobres de la región Andina de Ecuador

## Perú

En el caso de la región andina de Perú, la tendencia se mantiene, se prevé una pérdida grande en la aptitud climática de los cultivos tradicionalmente sembrados para autoconsumo, especialmente en el costado oriental de la cordillera, y parte de la zona norte de la región andina de Perú. Se recomienda revisar el caso de los distritos de San José de Sisa, Santa Rosa y Agua Blanca en el Dorado dada las pérdidas que los modelos muestran para estos cultivos y los niveles de pobreza que al mismo tiempo presentan estos distritos (Figura 88).

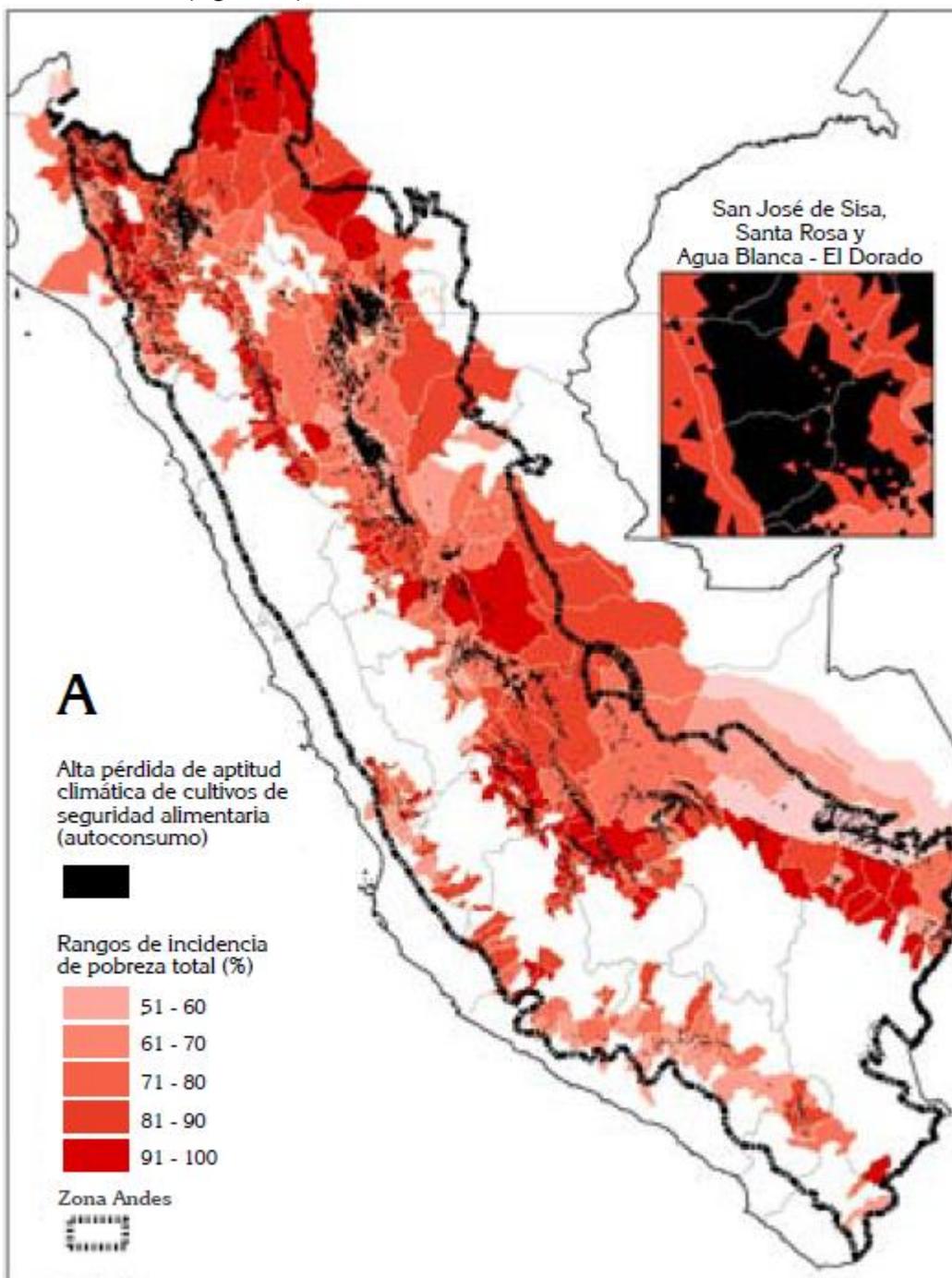


Figura 768. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de autoconsumo de la población pobre en las regiones más pobres de la región Andina de Perú.

En el caso de cultivos de importancia en la generación de ingresos para pobladores de bajos ingresos económicos se observa una pérdida considerable de aptitud de estos cultivos en la zona Norte de la región andina de Perú. Huarmaca (Huancabamba) es uno de los distritos donde más área es afectada (Figura 89).

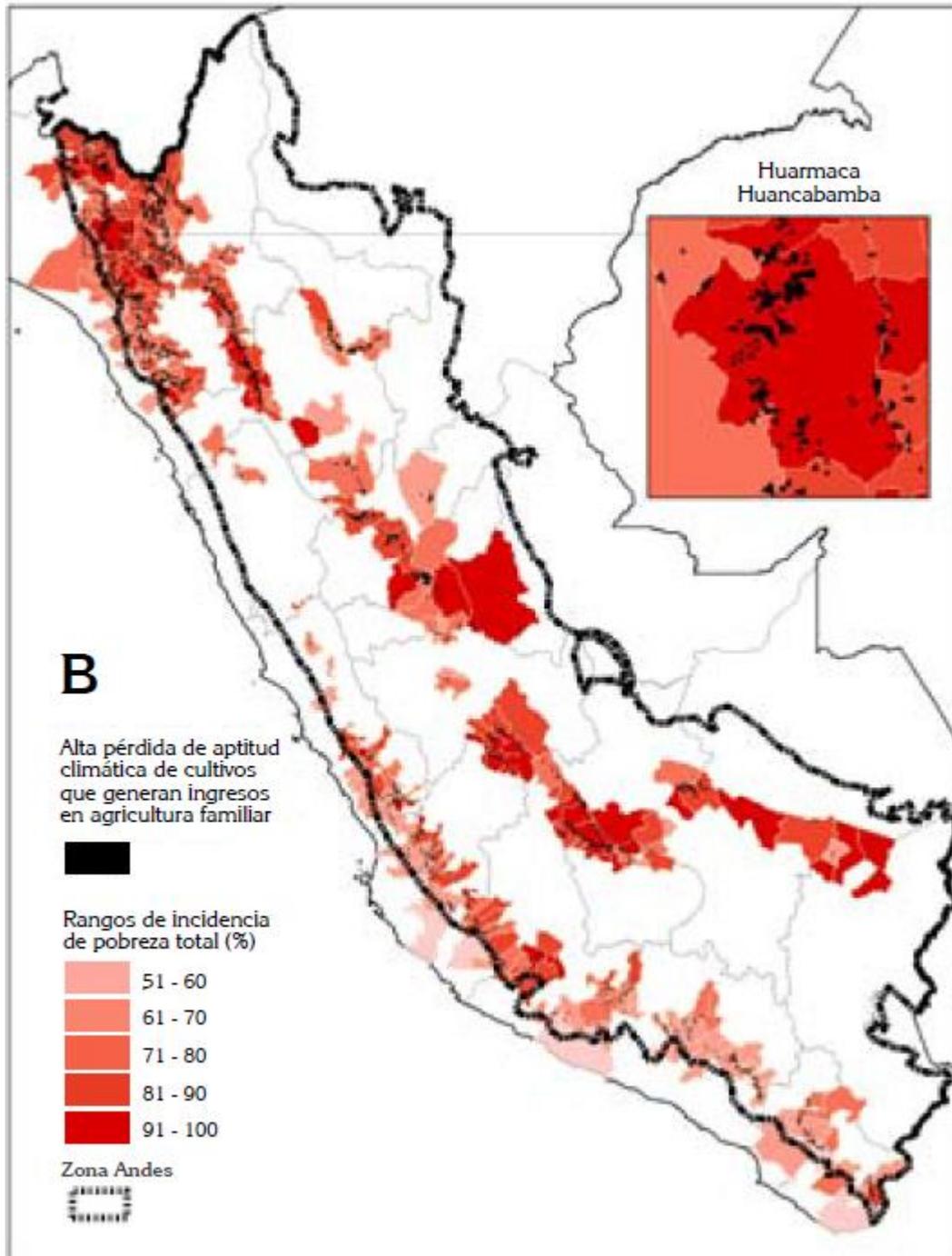


Figura 779. Impacto del cambio climático sobre los cultivos de importancia económica para los productores de bajos ingresos económicos en las regiones más pobres de la región Andina de Perú

## 6 Capítulo 6. Capacidad de adaptación

El procedimiento que se siguió para los indicadores de capacidad de adaptación consistió inicialmente en buscar información que esté disponible a nivel de municipio (Colombia), Cantón (Ecuador) y Distrito (Perú). Posteriormente se clasificaron los indicadores encontrados de acuerdo a la influencia que ejercen sobre cinco tipos de capital: Financiero/Económico, Humano, Social, Natural y Físico. El color rojo en las tablas indica que a medida que el valor del indicador es mayor el efecto sobre el capital es negativo, mientras que el color verde indica que si el valor del indicador es mayor entonces el efecto sobre el tipo de capital es positivo.

El capital Financiero/Económico se refiere a las condiciones económicas actuales de los hogares del municipio o de la institucionalidad local. Este indicador nos dice qué grupo de personas son las más afectadas (pobres o no pobres), y por lo tanto nos da una idea del impacto del cambio climático sobre los diferentes grupos de pobladores. Igualmente nos dice la capacidad de respuesta financiera que pueden tener los grupos afectados ante un evento climático.

El capital humano se refiere al grado de capacitación y formación que puedan tener las personas en una localidad en particular, y asumimos que entre mayor grado de educación tengan las personas, la capacidad de adaptarse a ciertos fenómenos es mayor. Una persona con mayor grado de formación posiblemente tenga la capacidad de consultar y entender más fácilmente soluciones a fenómenos particulares que lo estén afectando, o puede acceder a información sobre amenazas, riesgos y pronósticos en materia de clima.

El capital social es la capacidad que tienen las personas de asociarse o responder en conjunto a ciertas amenazas. En este sentido, grupos de productores que comparten información y que buscan soluciones en forma coordinada pueden tener una mayor probabilidad de éxito que otros productores actuando de forma individual. Este capital social también está relacionado con la capacidad institucional local, ya que se consideró que esta capacidad está directamente relacionada con el grado de cooperación, coordinación y comunicación entre los pobladores.

El capital natural hace referencia al estado de los recursos naturales, y a la presión que ejerce el hombre sobre ellos. Se partió del supuesto que una localidad con mejor calidad en los recursos naturales tiene una mejor capacidad de respuesta a un evento climático. Suelos en mejores condiciones seguramente tendrán mayor capacidad de regulación hídrica. Otro indicador de capital natural es el estado de los bosques y la presión que se ejerce sobre ellos. No obstante no es del todo clara la relación entre superficie en bosques y la capacidad de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario.

El capital físico se refiere a la infraestructura construida con que cuentan los hogares y las localidades. La existencia de vías y su estado puede permitir encontrar con mayor facilidad alternativas tecnológicas o productivas ante fenómenos climáticos. En el caso de Perú donde no se cuenta con un indicador a nivel distrital del estado de las vías se utiliza como variable proxy las Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI).

- Colombia

Los indicadores que se encontraron en Colombia y que se consideraron tiene algún tipo de relación con los cinco tipos de capitales son:

*Pobreza multidimensional (PMD):* Indicador que refleja el grado de privación de los hogares a un conjunto de dimensiones (educación familiar, condiciones de niñez y juventud, trabajo, salud, servicios públicos y condiciones de vivienda). Un hogar es pobre si está privado al menos en un 33% de los indicadores de las dimensiones anteriormente señaladas. Por lo tanto, el porcentaje de PMD refleja el número de hogares que están privados del al menos un 33% de diferentes variables socioeconómicas esenciales para una vida adecuada.

*Índice de condición de vida:* Es un indicador de bienestar a nivel de hogar construido a partir de la calidad de la vivienda, el nivel de educación y el acceso a servicios públicos.

*Educación y capital humano rural:* Refleja el nivel de educación del núcleo familiar rural

*Índice del estado de las vías:* Es un índice construido a partir de los datos obtenidos de ministerio del transporte, en donde se tiene una matriz por municipio donde se encuentran los valores en kilómetros de vías a nivel municipal, calificado por tipo de vía (pavimentada o destapada), y por su estado (malo o bueno).

*Capacidad de ahorro:* Es un índice tomado del Departamento nacional de planeación y se calcula dividiendo el ahorro corriente por el ingreso corriente en cada municipio. Se estimó de 0 a 100, siendo 0 el municipio con menor capacidad de ahorro y 100% el municipio con mayor capacidad de ahorro.

*Acceso a crédito:* Es el valor en créditos al sector agropecuario que otorgó el estado a través del Banco Agrario para el año 2011 en cada municipio.

*Índice de desarrollo endógeno (IENDO):* Es un indicador que califica la gestión pública de un municipio determinado por variables como: pobreza poblacional, ingreso per cápita, alfabetismo, densidad poblacional y económica, cobertura de educación, inversión pública, trabajo y capacidad institucional. Este indicador esta generado en una escala de 0 a 100% donde un mayor valor representa un mejor grado de gestión municipal y capacidad institucional.

*Conflicto por el uso de la tierra:* Es un indicador construido a partir de la información sobre conflicto por uso del suelo tomado del Instituto Agustín Codazzi (IGAC) que describe a nivel municipal si el territorio está sobre explotado o subutilizado. Este indicador se construyó tomando 0% como terreno sobreexplotado, 50% como uso adecuado y 100% como terreno subutilizado.

*Necesidades Básicas Insatisfechas:* es un indicador que considera aspectos del estado de la vivienda, del nivel de educación, servicios que posee el hogar y el grado de dependencia económica.

*Superficie en bosques:* Superficie municipal en bosques naturales.

*Títulos mineros:* Número de concesiones mineras otorgadas en cada municipio, dado el impacto regional sobre los recursos naturales, y en especial sobre el recurso hídrico.

En la Tabla 3 se presenta un resumen de los indicadores con información sobre la fuente y el año en el cual se generó la información, y su relación con los diferentes tipos de capital.

Tabla 3. Indicadores disponibles de capacidad de adaptación a escala municipal para Colombia

Indicador	Fuente	año	Tipo de capital				
			Financiero/ Económico	Humano	Social	Natural	Físico
Pobreza multidimensional (PMD)	DNP	2005					
Índice de condición de vida (ICV)	DANE	2005					
Educación y capital humano rural	DANE	2005					
Red vial primaria	SIGOT	2006					
Capacidad de ahorro	SIGOT	2011					
Crédito agropecuario	FINAGRO	2011					
IENDOG	DNP	2010					
Conflicto de Uso de suelo	IGAC	2003					
Necesidades básicas insatisfechas (NBI)	DANE	2005					
Superficie en bosques	MADS	2006					
Títulos mineros	SIGOT	2012					

A continuación se presentan mapas con la clasificación de los indicadores en rangos de muy bajo, bajo, medio y alto, y de color verde cuando es una incidencia positiva y rojo cuando es negativa. En general, se observa para Colombia que en las áreas más aisladas los indicadores sociales y de calidad de vida son generalmente malos, pero son las zonas con mayor área en bosques naturales y menor presión agrícola. Donde existen mejores condiciones económicas y de calidad de vida se observa igualmente mejor estado de las vías. La relación entre estado de las vías y deterioro ambiental para la región andina de Colombia no es del todo clara, ya que en algunos sitios estas condiciones coinciden mientras que en otras zonas no.

Por su parte, la concesión de títulos mineros abarca un gran territorio y está distribuido a lo largo de la región andina. La capacidad de ahorro en los municipios parece ser relativamente baja, y el crédito agropecuario, con contadas excepciones, es muy bajo para todos los municipios de la zona andina. La

capacidad de respuesta de los municipios (IENDOG) de los andes de Colombia en general parece ser muy baja, a excepción de las principales ciudades como Bogotá, Cali y Medellín que poseen altas capacidades de respuesta debido a la buena gestión administrativa, institucionalidad, inversión pública y el mejoramiento de la infraestructura vial. Caso contrario con lo que sucede en los demás municipios, dado a la poca inversión pública, baja presencia institucional, altos índices de pobreza, y vías con baja accesibilidad para fortalecer el talento humano para la contribución municipal.

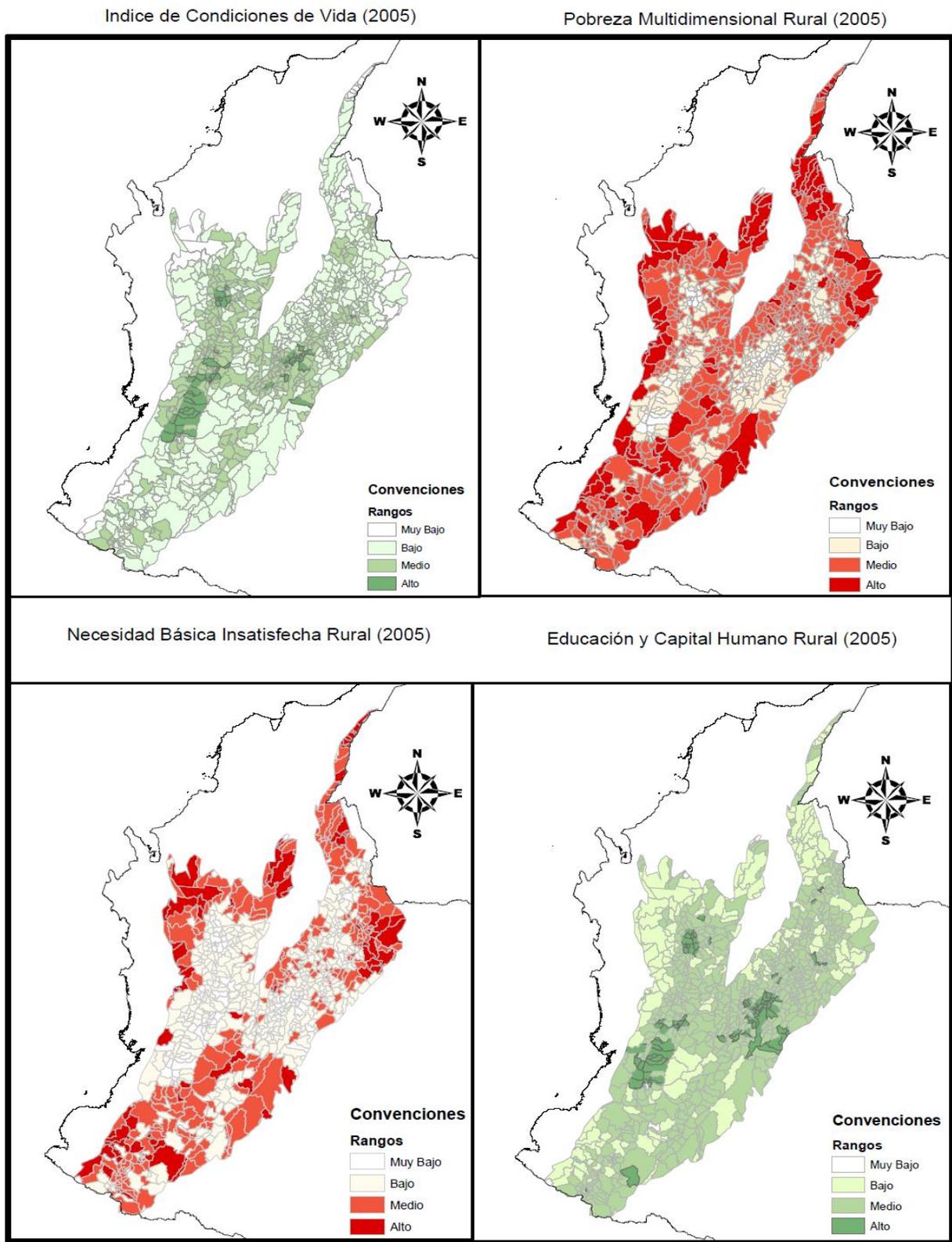


Figura 90 Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Colombia: ICV, PMD, NBI Rural, y Educación y capital humano.

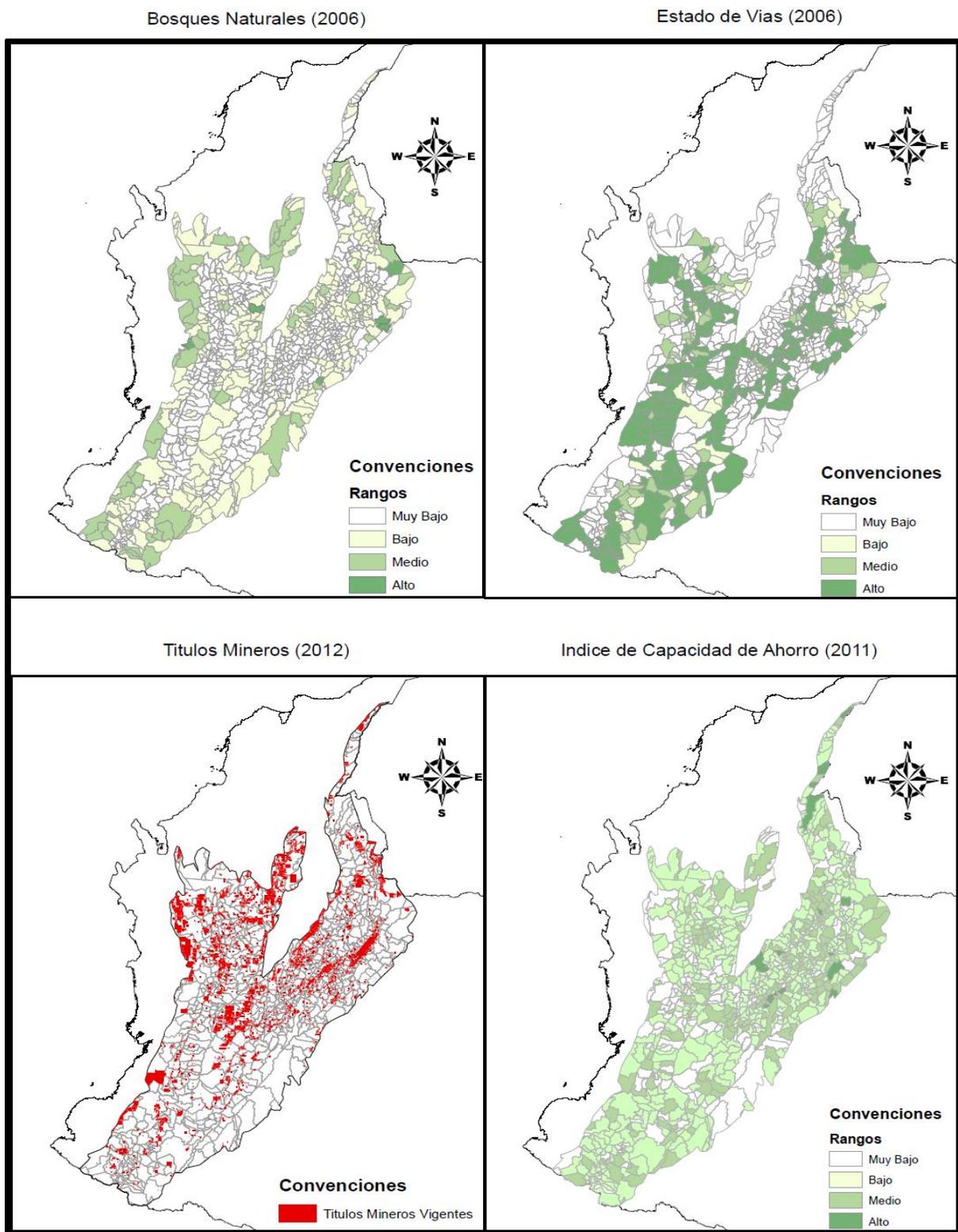


Figura 91. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Colombia: Superficie en bosque natural, estados de las vías, títulos mineros otorgados y capacidad de ahorro.

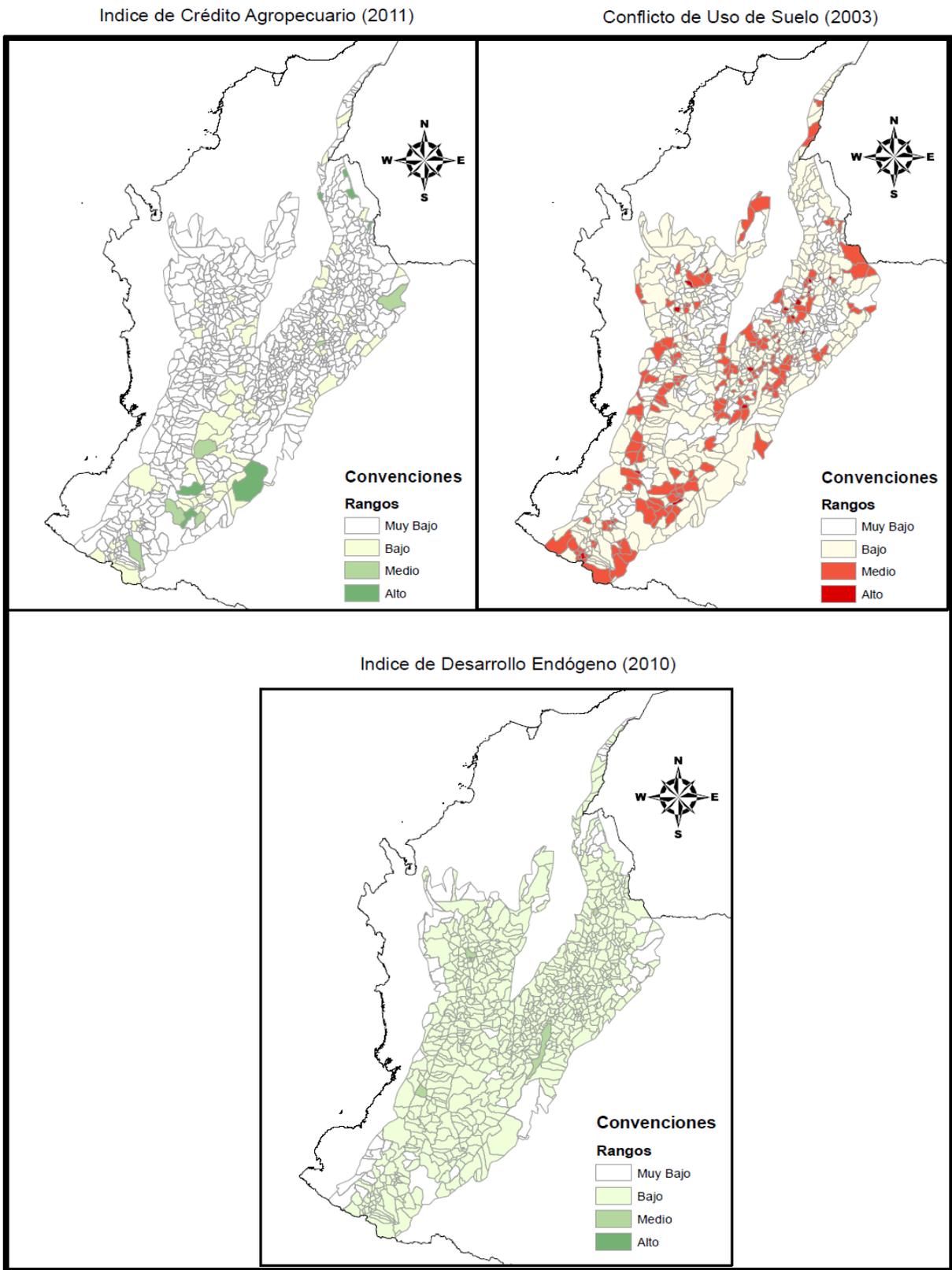


Figura 92. Mapas de indicadores de capacidad de adaptacion para Colombia: credito agropecuario, conflicto por uso del suelo e IENDOG

- Ecuador

Los indicadores que se encontraron en Ecuador a nivel cantonal y que se consideraron tiene algún tipo de relación con los cinco tipos de capitales que son:

Tasa de analfabetismo rural: Porcentaje de personas que no saben leer y escribir con respecto a la población total. Este indicador se relacionó con el capital humano. A mayor grado de analfabetismo menor capital humano.

Área sembrada de cultivos: Porcentaje del área del municipio sembrada en cultivos a nivel cantonal. Este valor indica la intensidad en el uso del suelo y es complementaria al área en bosques. Por lo tanto, lo tomamos como un indicador de capital natural. A mayor porcentaje en cultivos menor capital natural.

Escolaridad y asistencia académica: Promedio de escolaridad de la población censada por hombre y mujer y estado actual de asistencia académica a un instituto/universidad. Este indicador hace alusión al promedio del nivel de estudios alcanzados representado en número de años. Es un indicador relacionado con el capital humano.

Migración: Cantidad de población que migra por cada mil habitantes. Se asume para este indicador que localidades con valores altos de inmigración o emigración afectan negativamente el capital social. Se mide a través de la resta de la tasa de inmigración menos la tasa de emigración. Por lo tanto, un valor negativo indica una tasa neta a favor de la emigración y una tasa neta positiva indica un balance a favor de la tasa de inmigración.

Necesidades básicas insatisfechas en el área rural: indicador de bienestar de los hogares de acuerdo con el estado de la vivienda, el nivel de educación, la disponibilidad de servicios públicos y su dependencia económica.

Densidad poblacional: Promedio del número de personas por cada km<sup>2</sup> de superficie. Este indicador se emplea como una variable proxy de la presión sobre los recursos naturales, asumiendo que a mayor densidad poblacional mayor será la presión sobre los recursos y por ende menor será la capacidad de adaptación.

Estado de las vías: Es un índice construido a partir de los datos obtenidos del ministerio del transporte, en donde se tiene una matriz por municipio donde se encuentran los valores en kilómetros de vías a nivel municipal, calificado por tipo de vía (pavimentada o destapada), y por su estado (malo o bueno). Entre más cercano al valor 1 (uno) indica que existe mejor red vial y en mejores condiciones, y cercano a cero lo opuesto.

Población asalariada por actividad agrícola total: Porcentaje de la población que se encuentra laborando directamente en actividades agrícolas.

Población rural ocupada: es el número de personas que viven en la zona rural y que se encuentran empleadas.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los indicadores con información sobre la fuente y el año en el cual se generó la información, y su relación con los diferentes tipos de capital.

Tabla 4. Indicadores disponibles de capacidad de adaptación a nivel cantonal en Ecuador

Indicador	Fuente	año	Financiero/ Económico	Humano	Social	Natural	Físico
Tasa de analfabetismo rural	INEC	2010		■			
Área sembrada de cultivos	MAGAP	2000				■	
Escolaridad y asistencia académica	INEC	2010		■			
Migración	SENPLADES	2010			■		
NBI rural	INEC	2010		■			
Población rural ocupada	INEC	2010	■				
Densidad poblacional	INEC	2010				■	
Población asalariada por actividad agrícola total	SENPLADES	2010	■				
Estado de vías	Obras Públicas						■

Los indicadores relacionados con educación parecen ser bajos, pero los que tienen que ver con empleo y condiciones de vida parecen ser muy buenos para los municipios de los andes de Ecuador. En cuanto a capital natural, parece ser que la región andina de Ecuador ejerce baja presión sobre los ecosistemas naturales a través de la superficie sembrada en cultivos, ya que un gran número de municipios presentan menos del 30% de su territorio sembrado en cultivos. No obstante, la erosión de la región andina es muy alta y preocupante, así que la explicación seguramente se deba a que ciertos municipios usan una parte de su territorio para la producción agrícola pero de una forma muy intensiva, especialmente la provincia de Bolívar. Igualmente se observa que existe una alta densidad poblacional especialmente hacia el norte de la región andina de Ecuador.

En términos generales, el estado de las vías en la región andina de Ecuador es bueno, pero se observa más favorabilidad de los cantones ubicados hacia el costado del pacífico que los cantones ubicados en el costado amazónico.

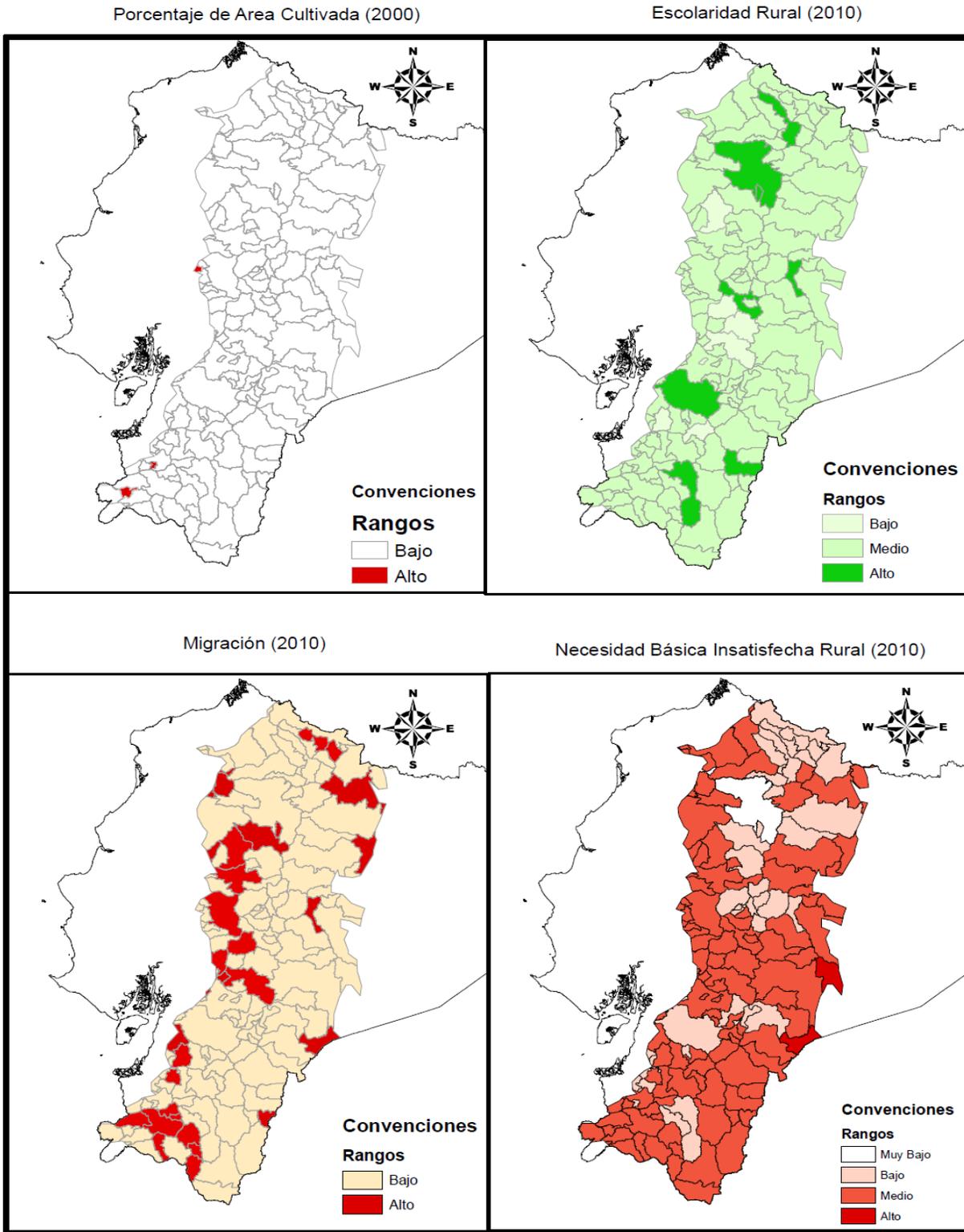


Figura 93. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Porcentaje de área cultivada, Escolaridad rural, Migración, NBI

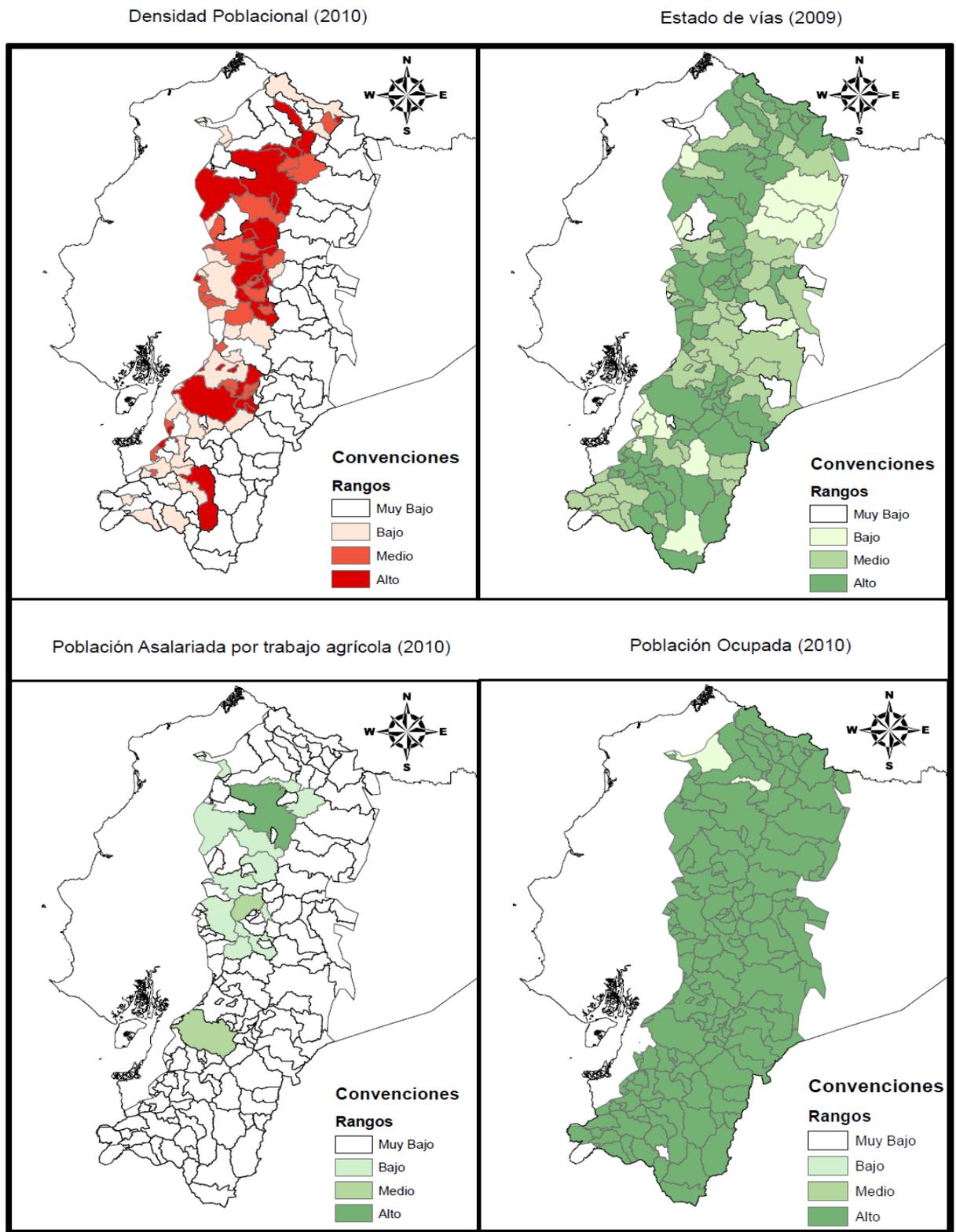


Figura 94. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Densidad poblacional, estado de las vías, población asalariada por trabajo agrícola y población ocupada

### Tasa de Analfabetismo Rural

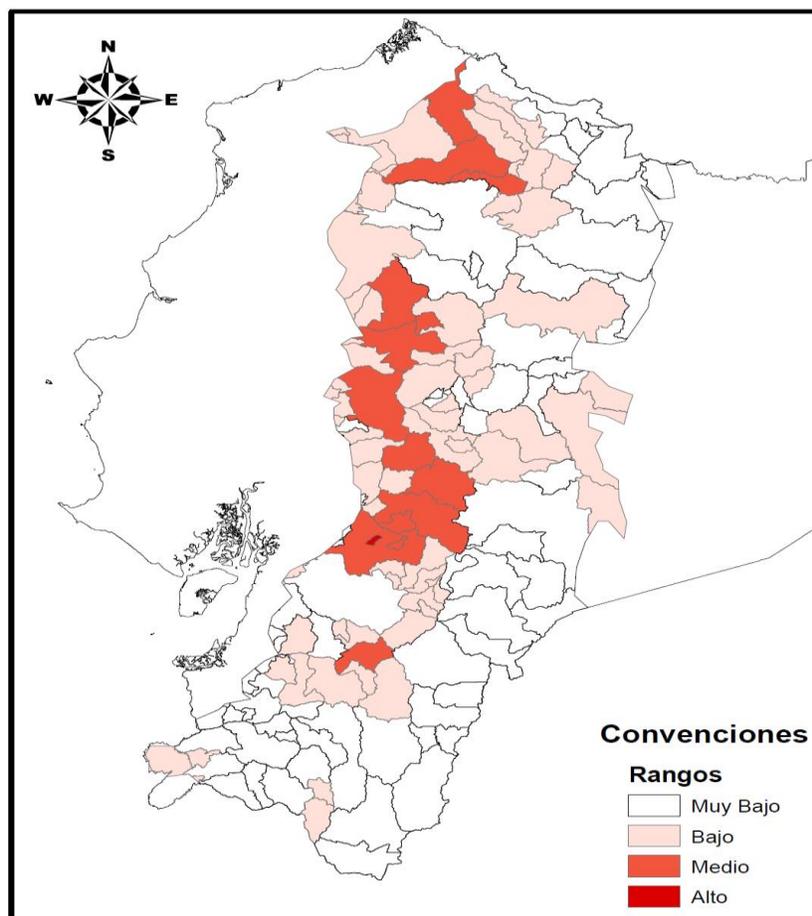


Figura 95. Mapa de indicadores de capacidad de adaptación para Ecuador: Tasa de analfabetismo rural

### Perú

En el caso de Perú, los indicadores seleccionados para analizar la capacidad de adaptación, y que tienen algún tipo de relación son:

*Índice de desarrollo humano:* El IDH es un indicador resumen del desarrollo humano, mide el progreso medio de un país en diferentes aspectos básicos del desarrollo humano (esperanza de vida al nacer, alfabetismo, logro educativo, escolaridad, e ingreso familiar per cápita).

*Incidencia pobreza:* Es el porcentaje de la población en estado de pobreza. Es empleado como un indicador relacionado con el capital económico.

*Alfabetismo:* Indicador que mide el porcentaje de la población adulta a nivel distrital con capacidad de leer y escribir. Este indicador se relaciona con el capital humano.

Total pobres por distritos: es el número de personas en estado de pobreza en cada distrito. Es empleado como indicador del capital económico.

Ingreso familiar per cápita: Indicador de sostenibilidad económica del núcleo familiar a través de los ingresos promedio por persona.

Área sembrada de cultivos: Porcentaje del área del municipio que está sembrada en cultivos. Es empleado como indicador de presión de los recursos naturales, y por lo tanto afecta directamente el capital natural.

Escolaridad: Porcentaje de la población entre 5 a 18 años que asiste a un centro educativo. Este indicador también es relacionado con el capital humano.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los indicadores con información sobre la fuente y el año en el cual se generó la información, y su relación con los diferentes tipos de capital.

Tabla 5. Indicadores disponibles de capacidad de adaptación a distrital para Perú

Indicador	Fuente	año	Capital				
			Financiero/ Económico	Humano	Social	Natural	Físico
Índice de desarrollo humano	PNUD	2005					
Incidencia de pobreza	INEI	2007					
Alfabetismo	INEI	2005					
Total de personas pobres	INEI	2007					
Ingreso familiar per cápita	PNUD	2005					
Área sembrada de cultivos	MINAG	2010- 2011					
Escolaridad	INEI	2005					

A nivel general de la región andina peruana se observa niveles de pobreza altos, pero especialmente en las partes más altas, y acentuándose hacia el sur. En cuanto a educación, el nivel parece ser igualmente bajo. No obstante, se observa que la presión sobre los recursos parece no ser demasiado alta. A pesar de los niveles de pobreza y el bajo ingreso familiar, el Índice de Desarrollo Humano muestra un desempeño no tan bajo, lo que se podría explicar por los buenos indicadores que se observan a nivel distrital. En términos generales, la región andina del Perú parece tener una buena capacidad de adaptación, ya que, y a pesar que los indicadores financieros y económicos parecen no ser tan buenos, la verdad es que los indicadores relacionados con los demás capitales favorecerían la capacidad de adaptación, con la precaución de considerar las diferencia que se presentan entre las diferentes zonas.

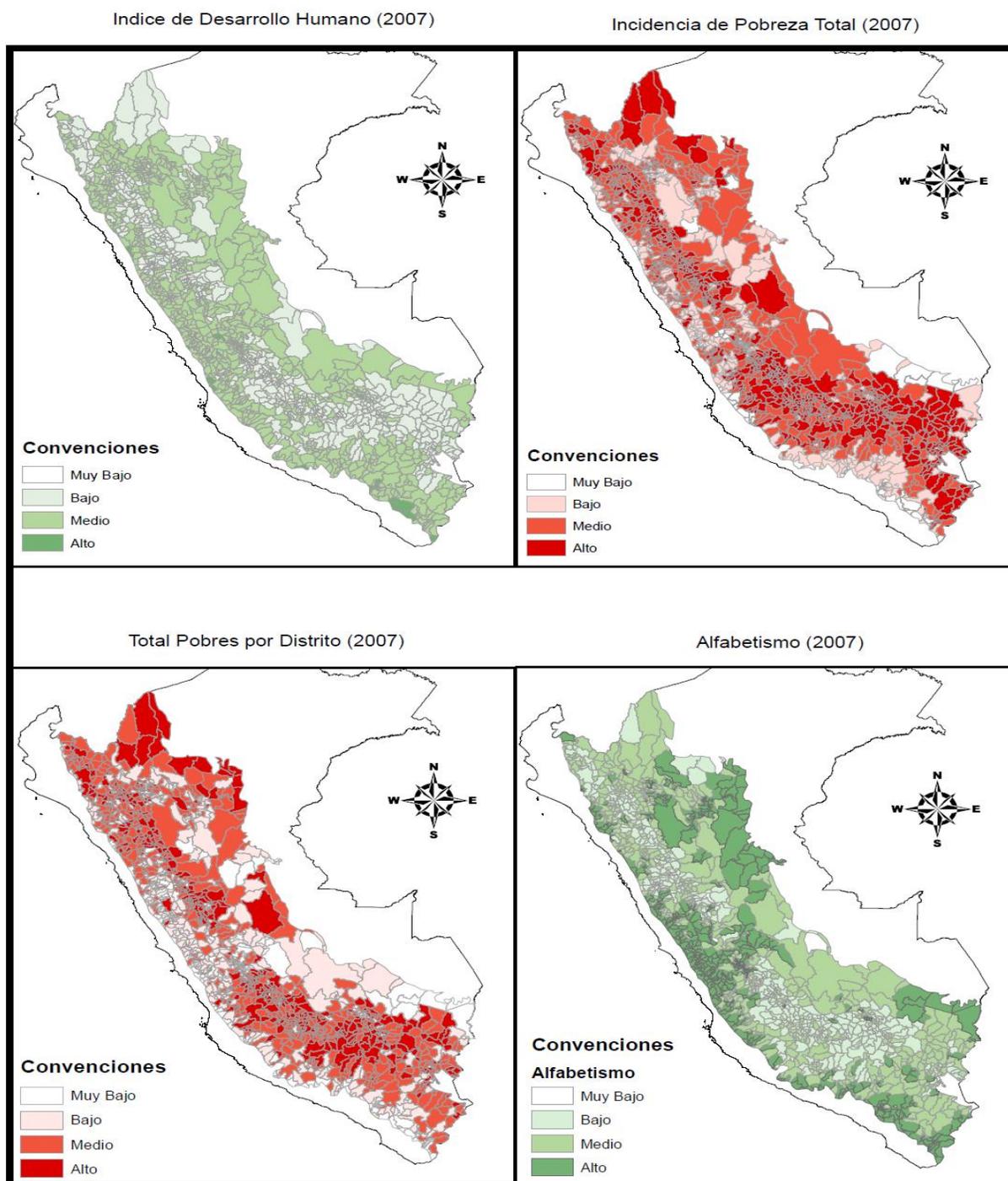


Figura 96. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Perú: IDH, Pobreza total, Número de pobres, Tasa de Alfabetismo

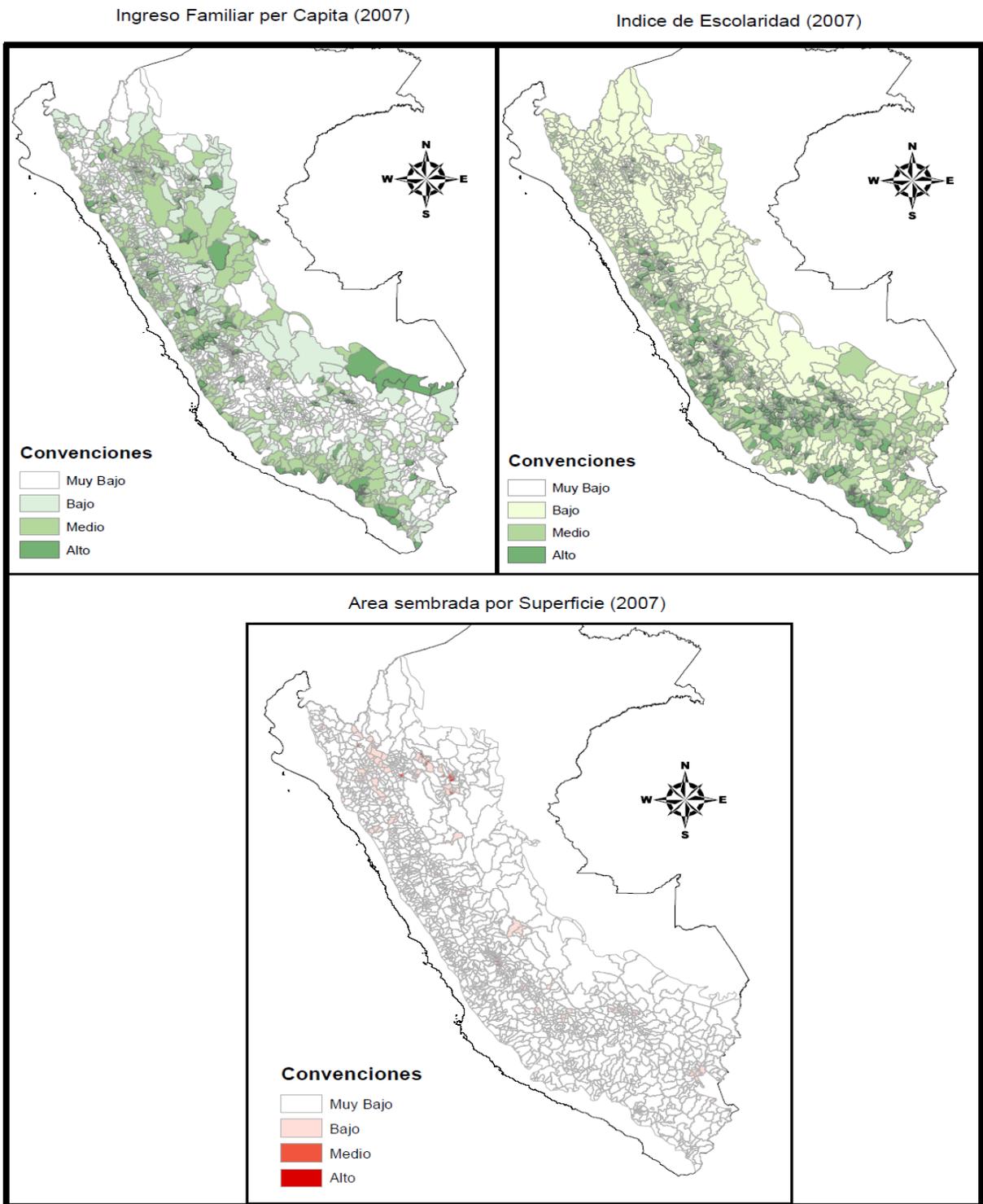


Figura 97. Mapas de indicadores de capacidad de adaptación para Perú: Ingreso familiar per capita, Índice de escolaridad, Área sembrada por superficie.

## 7 Capítulo 8. Servicios ecosistémicos

El recurso hídrico es uno de los principales servicios ecosistémicos que presta las partes altas de la región andina de Colombia, Ecuador y Perú. Hidroeléctricas, distritos de riego, consumo doméstico y turismo son algunos de los sectores que más se benefician de dicho recurso. No obstante, la presión sobre las cuencas hidrográficas y sobre los ecosistemas de páramo y alta montaña han conducido a un deterioro de la capacidad de regulación hídrica. El cambio climático se suma ahora como un nuevo factor de riesgo a la ya preocupante situación de la gestión del recurso hídrico. Aumento de la temperatura y cambios en la precipitación sin duda incidirán en los balances hídricos de las cuencas. Las zonas de páramo y de alta montaña tendrán mayor presión para la siembra de algunos cultivos que ganarán aptitud en estas zonas y que perderán en las zonas actuales de siembra. En el caso de Perú, las cuencas de la vertiente occidental de los Andes drenan sus aguas hacia el Pacífico donde se desarrolla una buena parte de la agricultura del Perú, la cual es totalmente dependiente del agua de los cauces los ríos que nacen en los Andes. En el caso de Colombia y Ecuador, la superficie de agricultura con riego es escasa pero son áreas que desde el punto de vista económico son importantes a nivel nacional como el caso del cultivo de arroz. La zona más productora de arroz en Colombia se encuentra ubicada en un valle interandino, y el riego proviene de cuencas de los Andes. La preocupación que existe en estos distritos de riego es la poca disponibilidad del recurso hídrico en la época seca del año, y la pérdida de la calidad del agua por los aumentos de la sedimentación. Otro fenómeno recurrente en la región Andina es la desecación de lagunas. Las lagunas contribuyen a la regulación hídrica dentro de la cuenca y sirven como reservorios de agua para las épocas secas. No obstante, su pérdida ha sido progresiva, en algunos casos por el cambio en el balance hídrico a nivel de las cuencas, la sobreexplotación o su desecamiento para lograr tierras cultivables. Se cree también que el cambio climático incidirá en la aceleración de los procesos de eutrofización, disminución del oxígeno, y el incremento de la salinidad de los lagos.

Es un hecho la pérdida de superficie de los glaciares a lo largo de la región Andina, y se prevé que este fenómeno continuará, lo que puede ser un asunto de preocupación para las zonas agrícolas del Perú que tienen una absoluta dependencia del recurso hídrico que proviene de las partes altas de las cuencas de los andes.

La erosión del suelo y la sedimentación de las fuentes de agua también pueden verse afectados de forma indirecta por el cambio climático. Si para algunos cultivos las áreas aptas se reducen entonces la intensificación de la tierra seguramente tomara lugar, lo que a su vez puede conducir a mayores niveles de pérdida de suelo y de sedimentación de los cauces. Algunos cultivos empleados para autoconsumo generalmente son manejados con prácticas tradicionales, donde los niveles de erosión del suelo son bajos. No obstante, la pérdida de aptitud de los cultivos de autoconsumo se prevé serán altos y por lo tanto los productores pobres tendrán una gran presión para la producción de sus alimentos. Esto último puede conducir a la pérdida de uso de prácticas tradicionales y ancestrales en la producción de la pequeña agricultura y un vuelco hacia el uso de técnicas más comerciales que tienen un mayor impacto sobre el suelo. Un sector grandemente afectado por la sedimentación es el hidroeléctrico, ya que la erosión del suelo genera costos adicionales a su operación y mantenimiento y a la vida útil de la infraestructura. En Perú por ejemplo, la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato recibe una tarifa diferencial debido a los altos niveles de sedimentación del río. La región Andina de los tres países concentra gran parte de la producción agrícola, pero su topografía y precipitación hacen que los suelos sean altamente vulnerables a procesos erosivos. En el caso de Ecuador por ejemplo, las provincias de mayor incidencia y grados de erosión están concentradas en la región de la sierra, Azuay, Loja y

Chimborazo, que representan porcentajes de 6%, 8%, y 4% respectivamente. Por su parte Bolívar (Ecuador) tiene 28% de su territorio erosionado.

En cuanto a biodiversidad, la región andina ha sido una de las regiones más intervenida, especialmente por la agricultura. Las pérdidas en biodiversidad han sido enormes, sólo quedan fragmentos de bosques en mosaicos de agricultura, y algunas áreas de reserva en los lugares más inhóspitos. Algunos de los servicios de la biodiversidad tienen que ver con madera, alimentos, medicina, entre otros. No obstante, su uso cada vez es menor y especialmente en zonas de más difícil acceso. El impacto del cambio climático sobre la biodiversidad es todavía incierto, no obstante se espera que la distribución y abundancia de especies varíe con los cambios en la temperatura y la precipitación. Sin embargo, especies de ecosistemas de alta montaña no tienen áreas más altas hacia donde migrar. Las áreas protegidas representativas de ciertos ecosistemas posiblemente verán variar la composición de las especies. Pero el mayor reto estará en preservar las pocas áreas que todavía existe y las especies que contienen, ya que la presión de la agricultura sobre esas áreas seguramente aumentara con el tiempo, y en especial con el cambio climático. Algunos cultivos como el maracuyá y el cacao son altamente dependientes de polinizadores que se hospedan en fragmentos naturales, y por lo tanto, la pérdida de hábitat puede conducir a la no viabilidad de dichos cultivos o a aumentos en los costos de producción.

Se prevé que habrá una pérdida considerable de las áreas en páramos, lo que puede ser preocupante para ciudades que dependen en gran medida de suministro de agua de estos ecosistemas (por ejemplo Bogotá y Quito). Por otro lado, un análisis de Cuesta Camacho (2007) estima que 35% de las especies de aves y 60% de las plantas de los páramos en la región andina podrían extinguirse o llegar a estar en peligro crítico de extinción. La colonización de especies de bajas latitudes es otro asunto que preocupa a los investigadores, ya que parece ser que la tendencia de aumento en las temperaturas será un factor favorable para que este fenómeno ocurra a través de toda la región andina. Los aumentos de temperatura son otro factor de preocupación en cuanto a nivel de ocurrencia de incendios forestales, factor que es de enorme preocupación para las instituciones que velan por las áreas protegidas.

En resumen, la conservación de los recursos naturales es un asunto que está cobrando mayor importancia con el cambio climático. Los impactos del cambio climático serán más o menos graves de acuerdo a las condiciones medio ambientales de las regiones. La región Andina en general recibirá gran parte de los impactos del cambio climático, y la capacidad de adaptación dependerá en gran medida de la capacidad actual de conservar los ecosistemas de alta montaña. Páramos, lagunas y bosques altoandinos protegidos y bien conservados seguramente harán que el impacto del cambio climático se sienta con menor intensidad entre los pobladores de toda la región andina.

## 8 Capítulo 7. Análisis de vulnerabilidad

### Colombia

En cuanto a vulnerabilidad, se tomaron como indicadores la pérdida relativa de aptitud para el 2050 en cada cultivo. Esto quiere decir el área del cultivo que sufrirá una pérdida fuerte de aptitud con respecto al área sembrada actual del cultivo. Este es un indicador del grado de afectación que un municipio tendrá del área total sembrada de este cultivo en dicho municipio. En los casos donde el modelo dice que más del 75% del cultivo en cada municipio sufrirá una pérdida muy fuerte de aptitud, se clasificó como “Alto”. Esto quiere decir que gran parte de la superficie que actualmente se siembra de dicho cultivo ya no será apta para ese cultivo en el futuro (escenario 2050). Cuando la pérdida de aptitud afecta entre el 50% y el 75% de la superficie sembrada entonces se clasificó como “medio”. Por lo tanto, los mapas muestran con los rojos más intensos las pérdidas altas y un rojo un poco menos intenso que el primero las pérdidas medias.

Los casos más preocupantes son los cultivos de frijol, maíz y papa, dado que son cultivos de gran importancia para el sector agrícola colombiano, tanto por el área sembrada como por su papel en la seguridad alimentaria en el país. Otros cultivos que muestran un gran número de municipios altamente afectados son aguacate, arveja, tomate de árbol y mango. No obstante, el área sembrada de estos cultivos en Colombia es mucho menor, al igual que su importancia en la seguridad alimentaria.

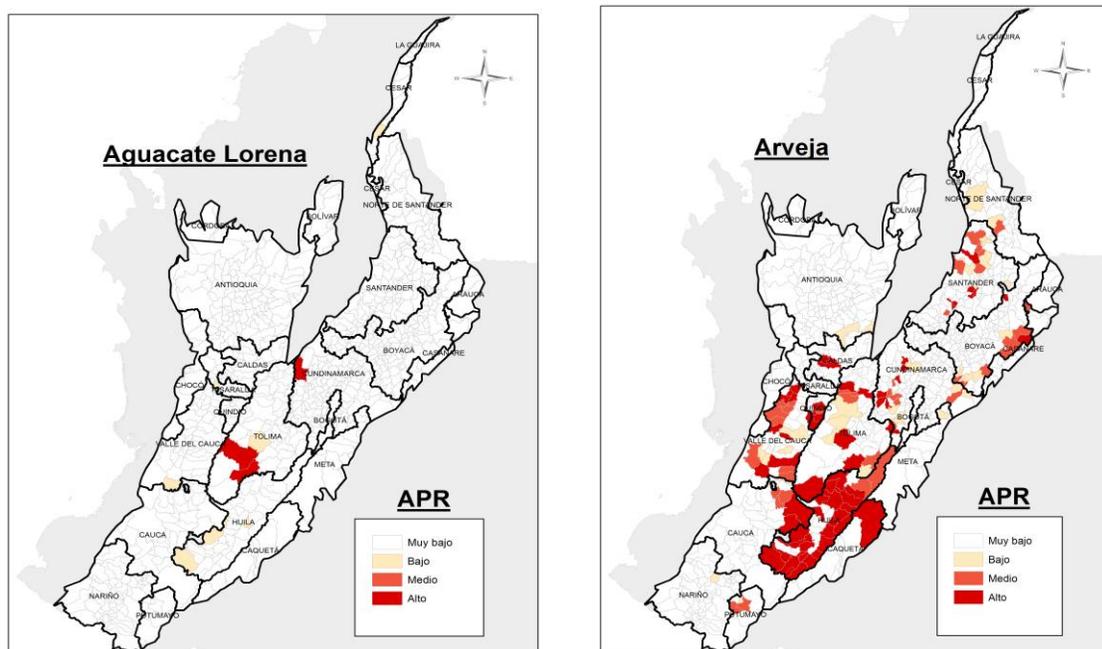


Figura 98. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de Aguacate y arveja.

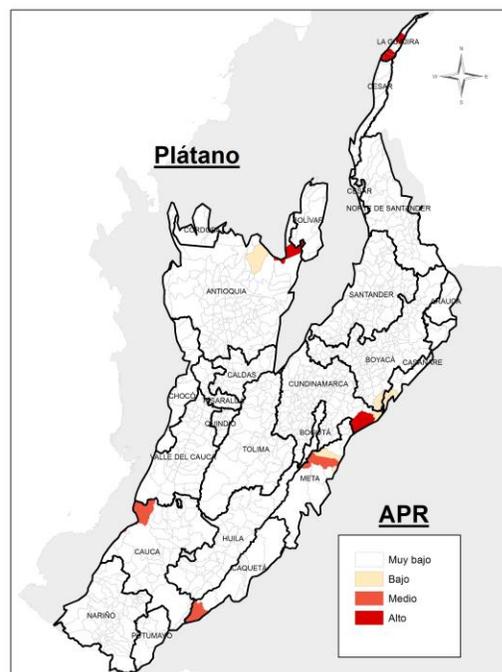
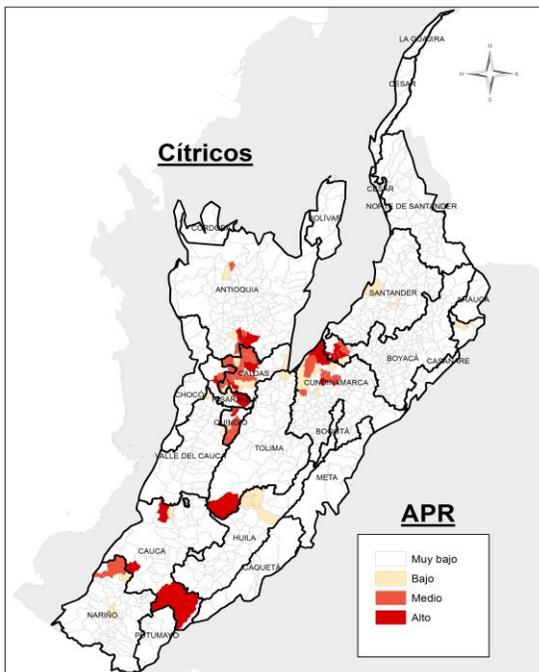
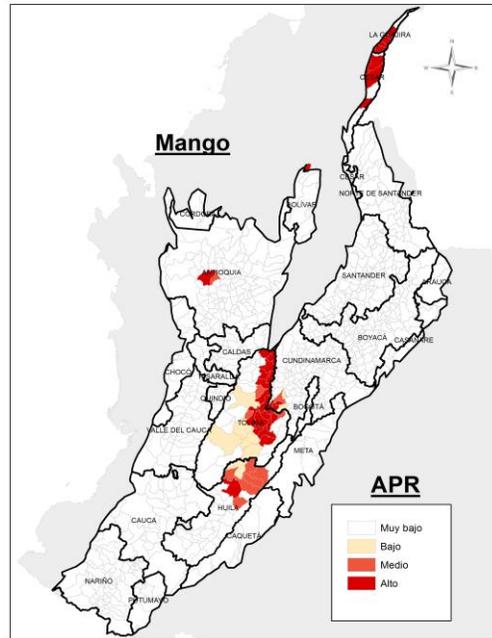
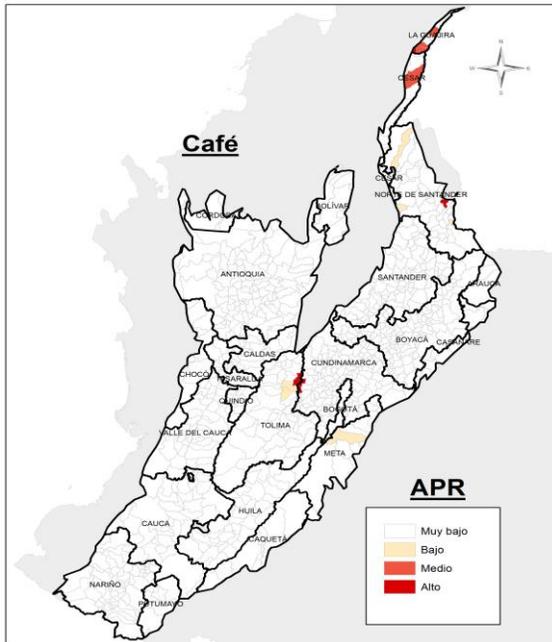


Figura 99. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de café, mango, cítricos y Plátano.

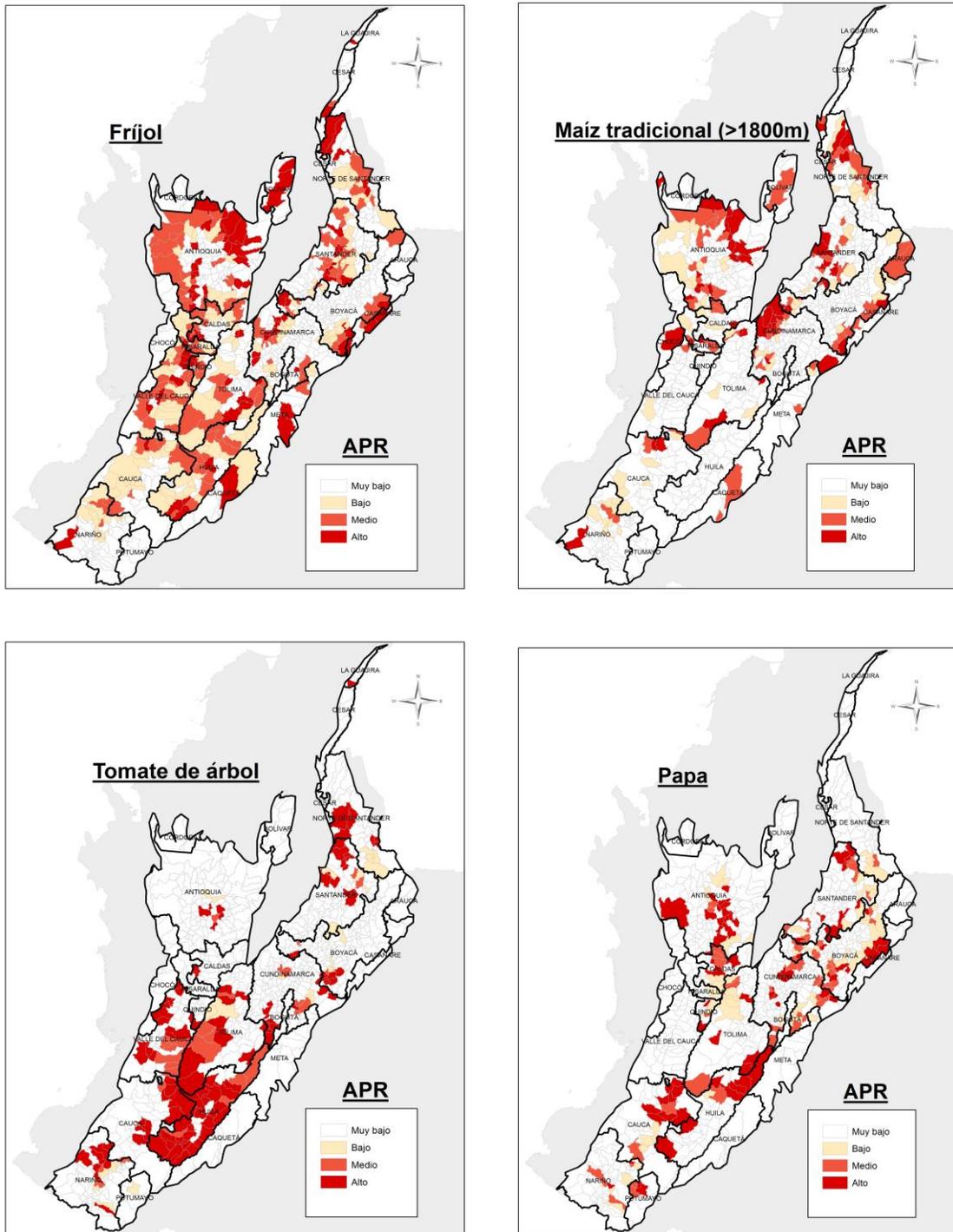


Figura 100. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel municipal para Colombia para los cultivos de frijol, maíz tradicional, tomate de árbol y papa.

Fríjol y maíz son los casos más preocupantes, una gran parte de la región andina se afectaría por cambio climático a lo largo de todo el territorio y en casi todos los departamentos. En el caso del cultivo de aguacate la zona más afectada es el centro del Cauca, mientras que para el cultivo de arveja se muestra

a la región del Huila como la más afectada. Para el cultivo del mango la zona que se muestra como la más afectada es el Tolima, y para el caso del cultivo de papa cierta parte de Antioquia y del altiplano cundiboyanense serían afectados.

ASP\_TACM: Es el porcentaje de área agrícola municipal de todos los cultivos analizados que se perdería por cambio climático. Se dividió en dos casos: i) cuando el área afectada es superior a 750 ha a nivel municipal, y ii) cuando es menor a 750 ha. En el primer caso el porcentaje es más crítico dado la superficie que es afectada. En este primer caso, los municipios que serían los más afectados son: Villanueva y Urumita (Guajira), San Vicente (Antioquia), Fresno (Tolima), Villanueva, Barichara y Carcasí (Santander), Jerusalén (Cundinamarca), Espinal y Guamo (Tolima), Totoró (Cauca).

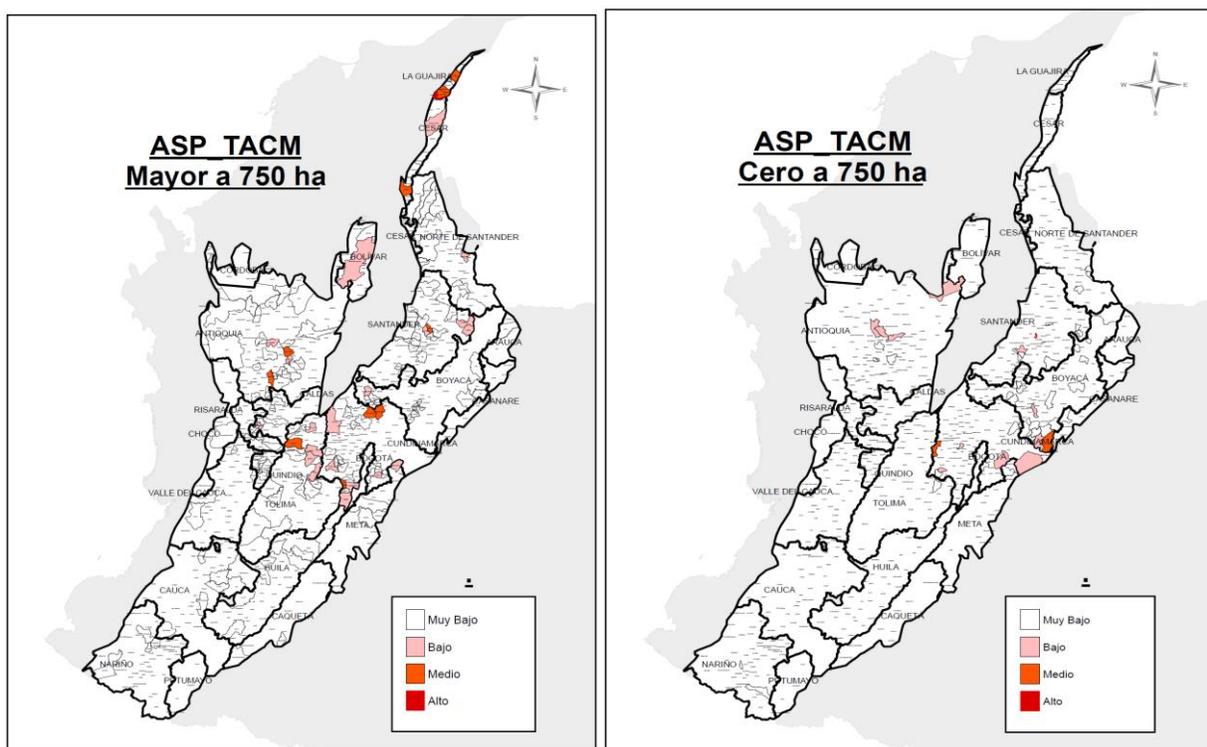


Figura 101. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel municipal.

En el caso de vulnerabilidad se consideró improcedente combinar indicadores de diferente índole y naturaleza, por lo tanto, se eligió un par de indicadores que se consideraron como los más pertinentes en cada país como representativo de la capacidad de adaptación al fenómeno de la pérdida de aptitud de los cultivos. Adicionalmente se dejó una tabla con los demás indicadores de capacidad de adaptación para tener una idea del panorama de la localidad respecto a los diferentes tipos de capital que posee.

Tabla 6. Vulnerabilidad municipal de acuerdo al porcentaje de área de pérdida de aptitud climática de los cultivos y los indicadores de pobreza (PMD) y respuesta institucional (IENDOG).

Departamento	Municipio	ASP_TACM	PMD_Rural	IENDOG
La Guajira	La Jagua Del Pilar	62%	92%	16.2%
La Guajira	Villanueva	48%	98%	18.1%
La Guajira	Urumita	47%	97%	15.9%
Cundinamarca	Pandi	45%	77%	26.3%
Cundinamarca	Carmen De Carupa	44%	73%	26.7%
Antioquia	San Vicente	41%	83%	28.3%
Santander	Villanueva	33%	63%	16.9%
Cundinamarca	San Cayetano	32%	72%	26.9%
Cesar	Pailitas	32%	95%	20.9%
Tolima	Murillo	31%	92%	24.0%
Antioquia	Santa Bárbara	30%	77%	28.2%
La Guajira	Fonseca	30%	92%	23.2%
Tolima	Falan	30%	80%	27.0%
Tolima	Coello	28%	84%	22.7%
Meta	San Juanito	27%	76%	28.4%
Cundinamarca	San Bernardo	26%	71%	21.6%
Santander	Concepción	25%	77%	24.8%
Antioquia	San Pedro	25%	69%	31.3%
Tolima	Alvarado	23%	78%	24.5%
Cundinamarca	Guaduas	21%	80%	24.7%

La Tabla 6 muestra como los casos más críticos los municipios de la Jagua del Pilar, Villanueva y Urumita (Guajira) y Pandi (Cundinamarca), dado el alto grado de pérdida que sufriría el municipio en el sector agrícola, y los altos niveles de pobreza sumados a la baja capacidad de respuesta institucional. Otros casos preocupantes son los municipios de Carmen de Carupa (Cundinamarca) y San Vicente (Antioquia), dado que gran parte de su área agrícola dejaría de ser apta para los cultivos actuales y sus niveles de pobreza son relativamente altos. Igualmente tiene una respuesta institucional media. Los demás municipios de la región andina de Colombia no se presentan en la tabla dado que los valores del indicador ASP\_TACM están por debajo de 20%.

Tabla 7 Indicadores de capacidad de adaptación para los municipios más afectados para el cambio climático\*

Departamento	Municipio	ASP_TAC M (%)	PMD Rural (%)	IENDOG (%)	Vías (%)	Crédito (%)	Ahorro (%)	Educación y capital humano Rural (%)	Uso de suelo (%)	ICV rural (%)	PMD rural (%)	NBI (%)	minería (# de concesiones)
LA GUAJIRA	LA JAGUA DEL PILAR	62	92	16,2	20	2,5	89,7	17	49,5	35,9	92,2	89,7	2
LA GUAJIRA	VILLANUEVA	48	98	18,1	20	2	96,9	14	34,9	26,2	98,2	96,9	1
LA GUAJIRA	URUMITA	47	97	15,9	20	3	96,5	16	16,4	30	97,1	96,5	0
CUNDINAMARCA	PANDI	45	77	26,3	20	6,6	38,7	23	20,3	55,5	77	38,7	3
CUNDINAMARCA	CARMEN DE CARUPA	44	73	26,7	20	29,7	42,3	22	33,9	54,9	73,2	42,3	14
ANTIOQUIA	SAN VICENTE	41	83	28,3	20	26,3	35,2	22	16,2	54	83,3	35,2	7
SANTANDER	VILLANUEVA	33	63	16,9	100	11,4	49,8	22	77,1	51,2	62,7	49,8	1
CUNDINAMARCA	SAN CAYETANO	32	72	26,9	20	11,8	40	22	57,4	51,3	71,8	40	6
CESAR	PAILITAS	32	95	20,9	20	0,01	71,9	19	22,7	44,2	95,4	72	2
TOLIMA	MURILLO	31	92	24	20	1,4	42,4	20	26,8	45,7	92,1	42,4	3
ANTIOQUIA	SANTA BÁRBARA	30	77	28,2	50	7,6	36,5	22	34	60,9	76,8	36,5	17
LA GUAJIRA	FONSECA	30	92	23,2	20	3,4	80,9	18	48,9	39,8	92,5	80,9	13
TOLIMA	FALAN	30	80	27	20	14,23	38,9	22	46,6	54,1	80,4	38,9	18
TOLIMA	COELLO	28	84	22,7	100	3,5	47,5	22	21,4	59,1	83,6	47,5	60
META	SAN JUANITO	27	76	28,4	20	4,32	30,1	24	36,6	54	75,7	30,1	0
CUNDINAMARCA	SAN BERNARDO	26	71	21,6	20	12,04	30,9	22	42,6	51,4	70,5	30,9	3
SANTANDER	CONCEPCIÓN	25	77	24,8	75	14,8	53,1	21	45,1	48,3	76,6	53,1	8
ANTIOQUIA	SAN PEDRO	25	69	31,3	20	4,82	24,5	25	80,6	65,1	69,2	24,5	7
TOLIMA	ALVARADO	23	78	24,5	100	9,11	52,8	21	27,7	53,9	77,7	52,9	13
CUNDINAMARCA	GUADUAS	21	80	24,7	100	12,12	31,6	23	32,3	60,1	79,6	31,6	20

\* Como se mencionó anteriormente, los colores verdes representan favorabilidad en la capacidad de adaptación, mientras que los rojos representan desfavorabilidad. Un color más intenso indica que será más favorable para el color verde, y más desfavorable para el color rojo.

## Ecuador

En cuanto a pérdida relativa de cultivos en la región andina de Ecuador, se observa que muy pocos cantones verían afectada más del 50% de su área debido al cambio climático, excepto para el caso del cultivo de maíz donde se observan algunos cantones con pérdida alta y media como por ejemplo Santa Isabel (Azuay), La Maná (Cotopaxi), Cumandá (Chimborazo), Catamayo, Macará y Quilanga (Loja).

En el caso de Catamayo en Loja, las zonas altas (altura >1 700m), tienen buenas condiciones climáticas para el crecimiento de arveja y frijol, sin embargo hay restricción por el problema de fuertes pendientes. Las zonas con mejores condiciones son muy pocas, y se prevé que pierdan de manera radical su aptitud en años futuros.

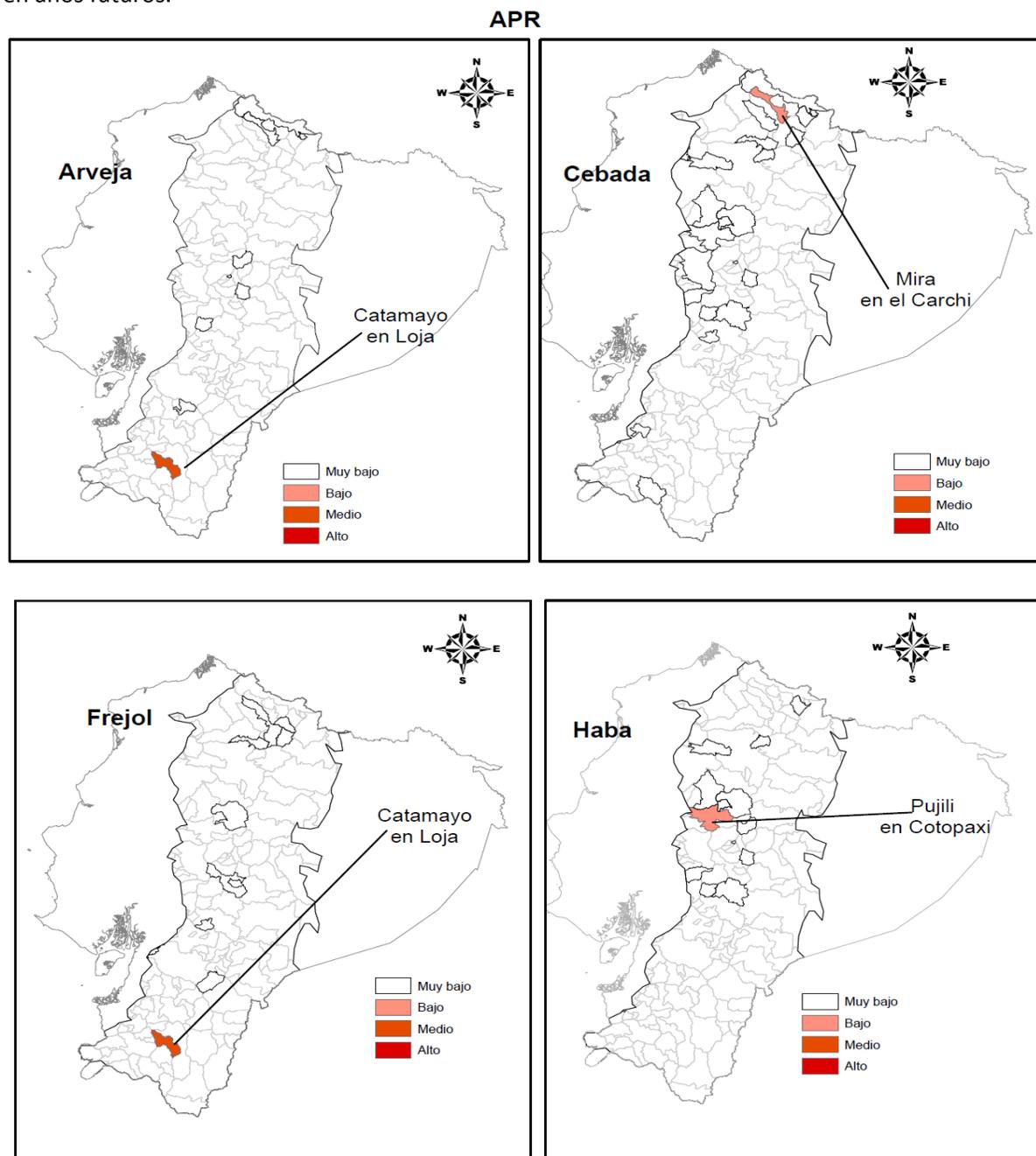


Figura 102. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel cantonal para Ecuador para los cultivos de arveja, cebada, frejol (frijol) y haba.

Para el caso del trigo, estadísticas oficiales del año 2 000 dan cuenta de que en Catamayo la superficie cultivada era de 46 ha. Sin embargo los datos de clima a futuro (2030 y 2050) indican que las condiciones favorables para dicho cultivo irían disminuyendo progresivamente hasta llegar a aptitud cero. Este factor unido a las condiciones poco favorables del terreno, indican que podrían haber pocas opciones de cultivos alternativos a los tradicionalmente sembrados la parte valle (maíz y la caña de azúcar).

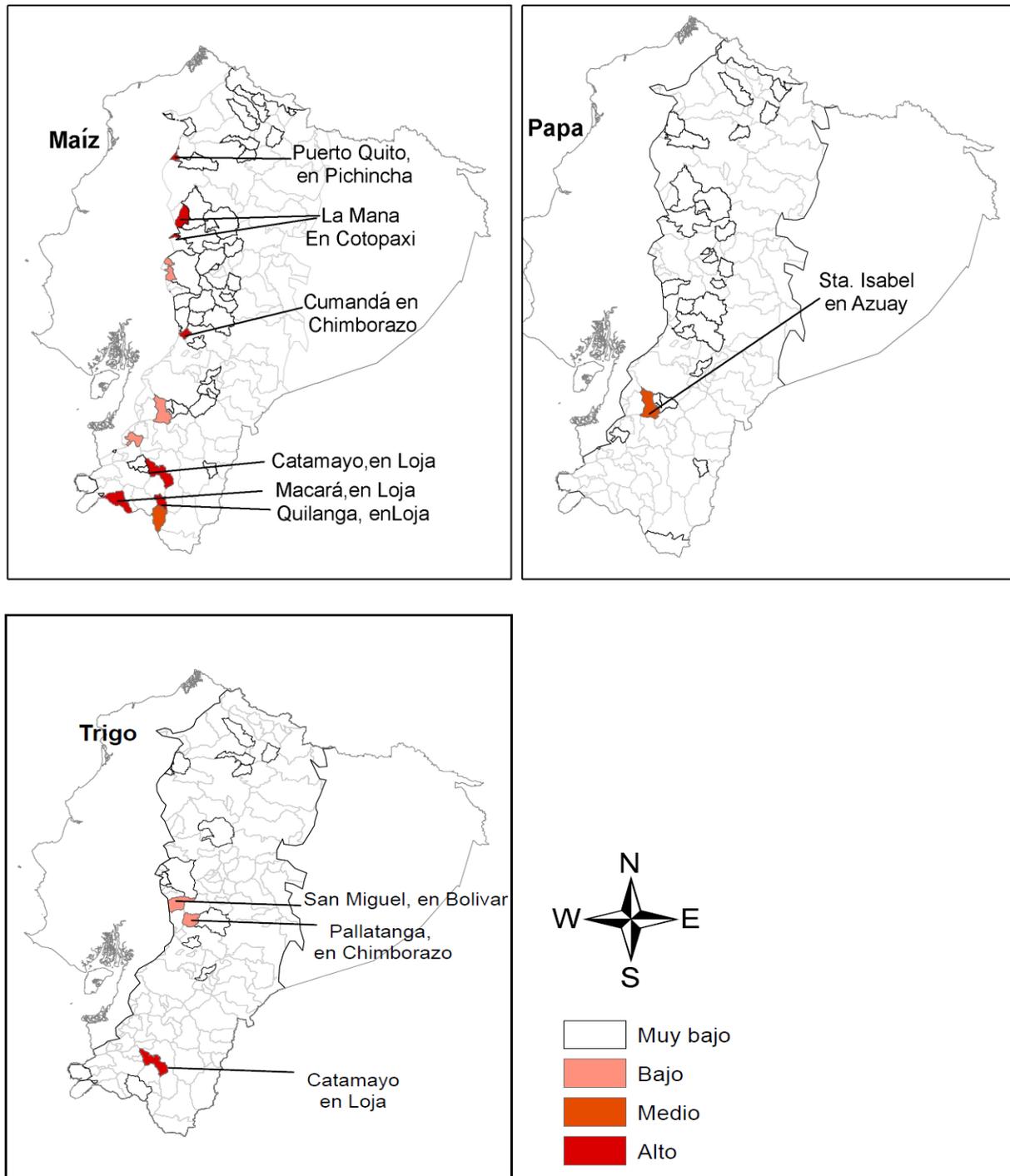


Figura 103. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel cantonal para Ecuador para los cultivos de maíz, papa y trigo.

Tabla 8. Vulnerabilidad municipal de acuerdo al porcentaje de área de pérdida de aptitud climática de los cultivos y el indicador de NBI Rural.

PROVINCIA	CANTÓN	Pérdida Relativa	NBI rural
Loja	Pindal	78%	61.3%
Loja	Sozoranga	67%	56.0%
Loja	Celica	43%	56.3%
Loja	Catamayo	40%	48.2%
Loja	Gonzanamá	33%	53.8%
Tungurahua	Baños De Agua Santa	33%	44.6%
Azuay	Santa Isabel	27%	54.5%
Loja	Calvas	18%	57.5%
Loja	Macara	18%	55.5%
Chimborazo	Pallatanga	12%	61.9%
Chimborazo	Alausí	8%	59.6%
Bolívar	Guaranda	8%	60.6%
Imbabura	Ibarra	8%	41.2%
Cotopaxi	Pujili	6%	61.1%

La Tabla 8 muestra una situación muy preocupante para los cantones de Pindal y Sozoranga (Loja), ya que habría alta pérdida de aptitud de los cultivos que actualmente se siembran y al mismo tiempo son cantones con altos índices de pobreza. En los casos de los cantones Alausí (Chimborazo), Guaranda (Bolívar) y Pujili (Cotopaxi), aunque el indicador ASP\_TACM no es muy alto, es necesario considerarlos como vulnerables dado que los niveles de pobreza en estos cantones son muy altos y las pérdidas pueden estar localizadas en ciertos cultivos y zonas del Cantón.

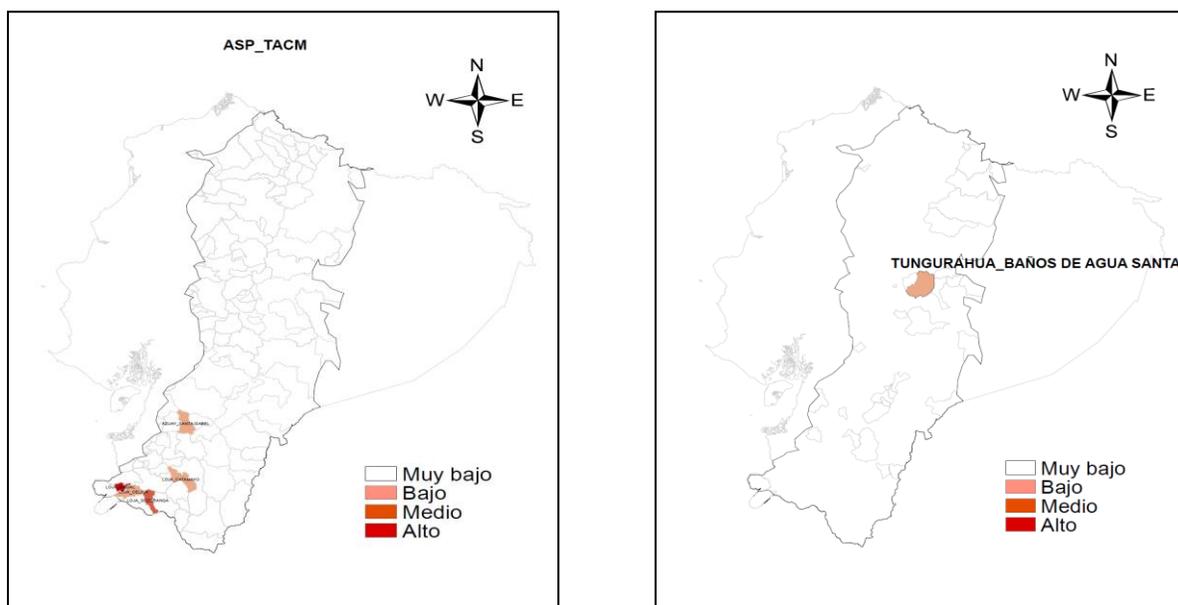


Figura 104. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel cantonal para Ecuador. Al lado izquierdo están los cantones con pérdidas mayores a 750 hectáreas y al lado derecho están los cantones con áreas pérdidas menores a 750 ha.

**Tabla 9. Indicadores de capacidad de adaptación para los cantones más afectados por el cambio climático**

PROVINCIA	CANTÓN	Pérdida Relativa (%)	Población asalariada Agrícola (%)	Vías (%)	Años promedio de escolaridad	Población ocupada rural	Analfabetismo Rural (%)	NBI rural (%)	Tasa neta de Migración interna	Densidad Poblacional Hab/Km2
Loja	Pindal	78%	25.50%	62%	7.5	2.136	10%	61.30%	-2	42.80
Loja	Sozoranga	67%	19.50%	72%	7.4	1.990	8.40%	56%	-11.2	18.10
Loja	Celica	43%	16.50%	60%	7.8	3.042	9.30%	56.30%	-2.4	27.70
Loja	Catamayo	40%	12%	83.10%	8.6	2.871	6.80%	48.20%	0.1	47.00
Loja	Gonzanamá	33%	13.70%	82%	7.15	3.883	9.80%	53.80%	-17.31	18.21
Tungurahua	Baños De Agua Santa	33%	3.90%	66.25%	9.91	3.304	5.80%	44.67%	1.32	18.78
Azuay	Santa Isabel	27%	14%	46.80%	7.1	5.133	9.40%	54.50%	-2.1	30.40
Loja	Calvas	18%	9.71%	100%	8.59	4.822	9.60%	57.50%	-9.59	33.51
Loja	Macara	18%	13.32%	58.18%	8.53	2180	8.20%	55.50%	-5.17	33.03
Chimborazo	Pallatanga	12%	18.49%	100%	6.19	2.902	19.20%	61.90%	-9.24	30.46
Bolívar	San Miguel	11%	14.30%	86.10%	8.4	7.008	11.40%	54.90%	-9.9	47.50
Chimborazo	Alausí	8%	7.40%	59.10%	4.8	14.444	28.10%	59.60%	-11.8	26.60
Bolívar	Guaranda	8%	10.40%	88.50%	7.2	25.926	23.60%	60.70%	-10.8	48.50
Imbabura	Ibarra	8%	6.40%	88.70%	10	18.858	12.30%	41.30%	0.5	165.70
Cotopaxi	Pujili	6%	9.20%	66.80%	5.7	22.955	28.00%	61.10%	-10.5	53.00

El color más intenso indica que para el color verde existen mejores condiciones para adaptarse al cambio climático, mientras que el rojo más intenso indica que las condiciones para la adaptación son más desfavorables. Por ejemplo, en el caso de la densidad poblacional, se espera que a un mayor valor la capacidad de adaptación sea menor; en el caso de analfabetismo rural, mayor nivel de analfabetismo se interpreta como una menor capacidad de adaptación. Por lo tanto, en la tabla 9 se observa en la tercera columna el nivel de pérdida del sector agrícola para los 15 cantones más afectados, y en las siguientes columnas se presentan información de indicadores socioeconómicos de dichos cantones para tener una idea de la capacidad de adaptación que tienen frente a los potenciales impactos del cambio climático.

Perú

En el caso de Perú, el cultivo de maíz es el caso más crítico para el indicador de pérdida relativa. Los más afectados serían un gran número de distritos del costado oriental (hacia la vertiente amazónica) de la zona centro y norte (ver Figura 103).

Tabla 10. Vulnerabilidad municipal de acuerdo al porcentaje de área de pérdida de aptitud climática de los cultivos y la incidencia de pobreza.

<b>Distrito</b>	<b>Provincia</b>	<b>Departamento</b>	<b>ASP_TACM</b>	<b>Incidencia pobreza</b>
Matapalo	Zarumilla	Tumbes	0.92	22.56
Huallaga	Bellavista	San Martín	0.70	57.86
Pampas De Hospital	Tumbes	Tumbes	0.66	15.17
Tingo De Ponasa	Picota	San Martín	0.54	44.08
Chipurana	San Martín	San Martín	0.48	16.00
San Pablo	Bellavista	San Martín	0.46	46.49
Pucacaca	Picota	San Martín	0.46	32.11
Pilluana	Picota	San Martín	0.46	33.18
Shamboycu	Picota	San Martín	0.44	46.17
Shatoja	El Dorado	San Martín	0.42	74.23
Agua Blanca	El Dorado	San Martín	0.41	68.63
Bajo Biavo	Bellavista	San Martín	0.37	52.02
Santa Rosa	El Dorado	San Martín	0.37	66.90
Buenos Aires	Picota	San Martín	0.36	56.20
Caynarachi	Lamas	San Martín	0.34	64.44
San Jose De Sisa	El Dorado	San Martín	0.33	75.88
Honoría	Puerto Inca	Huánuco	0.33	55.52
Alto Biavo	Bellavista	San Martín	0.30	51.94
Bellavista	Bellavista	San Martín	0.30	40.79

APR

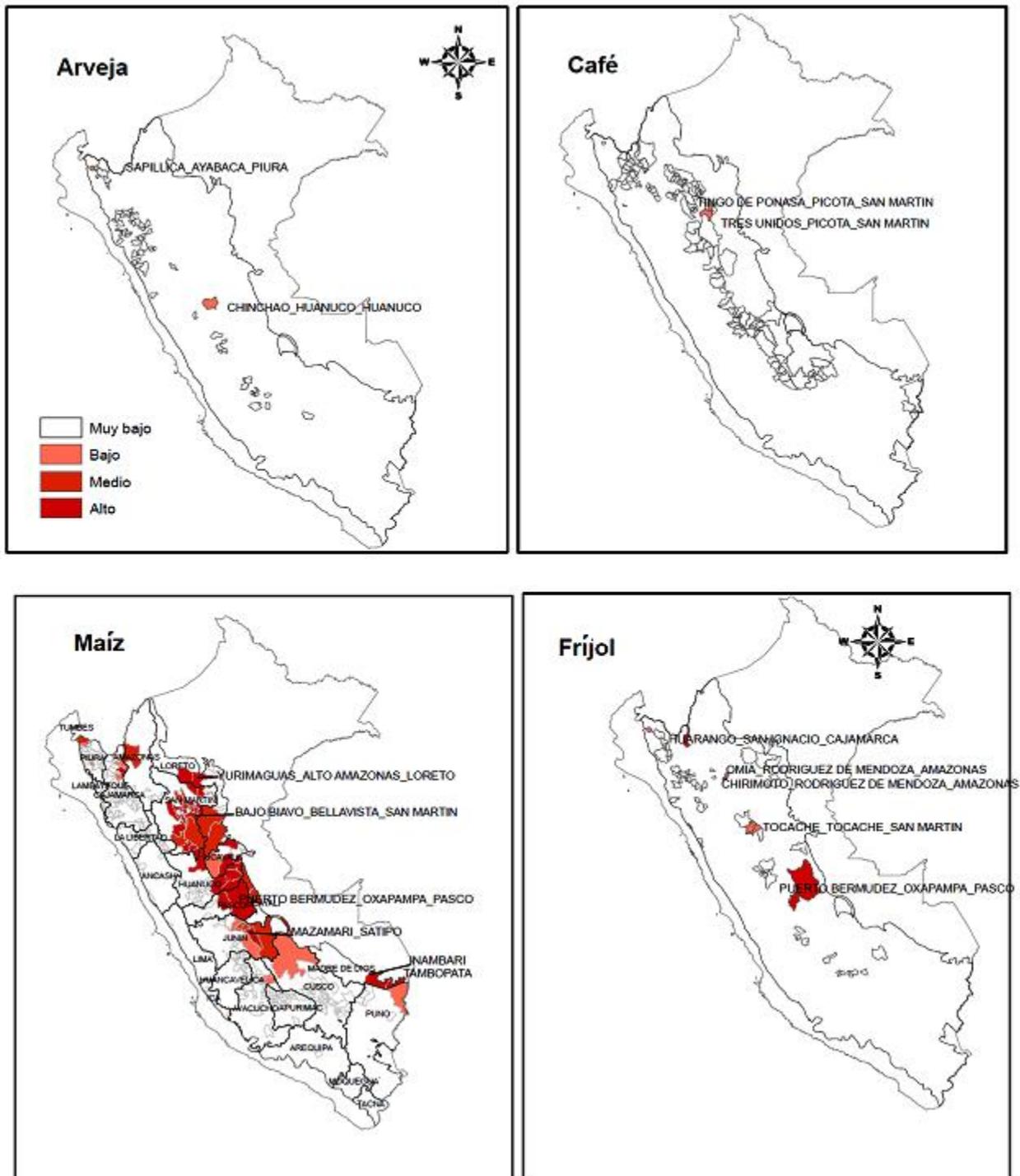


Figura 105. Mapa de pérdida de aptitud relativa a nivel distrital para Perú para los cultivos de arveja, café, maíz y frijol.

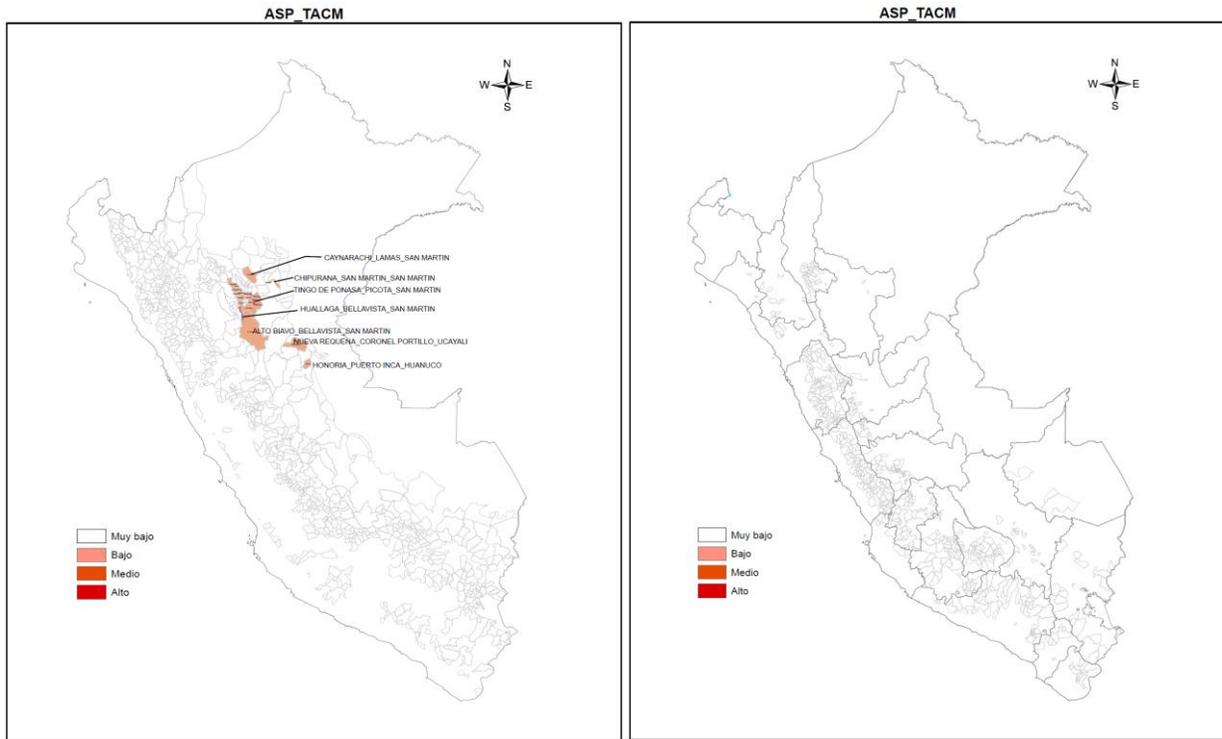


Figura 106. Mapa de pérdida de aptitud de todos los cultivos respecto al área sembrada total a nivel distrital para Perú.

Al lado izquierdo están los distritos con pérdidas mayores a 750 hectáreas y al lado derecho están los distritos con áreas pérdidas menores a 750 ha.

Tabla 11. Indicadores de capacidad de adaptación para los distritos más afectados por cambio climático en el Perú

Departamento	Distrito	Provincia	ASP_TACM (%)	Incidencia de pobreza (%)	IDH	Alfabetismo (%)	Escolaridad (%)	Ingreso Familiar (soles)	Pobreza (%)	Área cultivada (%)
Tumbes	Matapalo	Zarumilla	92	22,5	0,59	90	79	272	17	1,5
San Martín	Huallaga	Bellavista	70	57,8	0,55	89	77	169	35,1	0,11
Tumbes	Pampas de Hospital	Tumbes	66	15,1	0,63	92	87	354	31	0
San Martín	Tingo de Ponasa	Picota	54	44,4	0,58	92	76	241	20,2	14
San Martín	Chipurana	San Martín	48	16	0,59	91	79	295	79,2	5,6
San Martín	San Pablo	Bellavista	46	46,4	0,57	91	76	243	67,5	27,8
San Martín	Pucacaca	Picota	46	32,1	0,6	96	84	234	33,2	12,3
San Martín	Pilluana	Picota	46	33,1	0,6	97	89	222	43	19,5
San Martín	Shamboyacu	Picota	44	46,1	0,55	86	66	220	32	10,3
San Martín	Shatoja	El Dorado	42	74,2	0,54	88	68	135	58,9	60,9
San Martín	Agua Blanca	El Dorado	41	68,6	0,55	91	70	145	43,2	12,5
San Martín	Bajo Biavo	Bellavista	37	52	0,54	89	65	179	40,7	14,1
San Martín	Santa Rosa	El Dorado	37	66,9	0,53	84	71	149	62,6	11,8
San Martín	Buenos Aires	Picota	36	56,2	0,56	90	72	171	29,9	8,9
San Martín	Caynarachi	Lamas	34	64,4	0,56	89	74	180	83,5	4,7
San Martín	San José de Sisa	El Dorado	33	75,8	0,55	88	75	159	60,3	15,7
Huanuco	Honoría	Puerto Inca	33	55,5	0,57	93	74	174	60,1	5,4
San Martín	Alto Biavo	Bellavista	30	51,9	0,54	87	65	206	45,6	0,8
San Martín	Bellavista	Bellavista	30	40,7	0,59	94	82	293	26,1	31,7

En el Distrito de Matapalo (Zarumilla) el índice ASP\_TACM es preocupante, independiente de la capacidad de adaptación es un caso que merece especial atención dado que el impacto del cambio climático sobre el sector agrícola sería muy alto. A pesar que un punto importante a revisar en este Distrito es la participación del sector agrícola en la economía local, si es necesario focalizar esfuerzos adicionales para entender mejor los efectos que el cambio climático puede llegar a tener sobre los productores agropecuarios de esta región. Otro punto importante a resaltar para Perú es la larga lista de municipios afectados por encima de un 30% en el índice ASP\_TACM, cosa que no pasa en el caso de Colombia y Ecuador.

## 9 Capítulo 9. Medidas de adaptación

Se realizaron talleres en los tres países para la socialización de los resultados del estudio y la identificación de medidas de adaptación. En cada país se definió en coordinación con las instituciones responsables del tema de cambio climático los sitios y le metodología más adecuada a seguir.

### Colombia

En conjunto con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) se identificaron tres zonas vulnerables (norte, centro y sur de la región Andina), y se invitaron productores, técnicos y representantes de gobiernos locales . Algunas de las medidas priorizadas fueron:

- Avanzar en medidas relacionadas con el manejo del agua a nivel de finca y a nivel de cuenca. En el primer caso, es necesario promover programas de capacitación y apoyo para implementar técnicas de manejo del suelo y cosecha de agua. Mientras que en el segundo, es necesaria una mayor inversión del Estado en la implementación de medidas de conservación y protección de las cuencas hidrográficas.
- Es necesario fortalecer la asistencia técnica, tanto en cobertura como en la formación de los técnicos, frente al fenómeno del cambio climático.
- Es necesario una mayor difusión de estudios realizados sobre cambio climático por diferentes instituciones
- Implementar sistemas pilotos de buenas prácticas agrícolas y evaluar su resiliencia ante diversos fenómenos climáticos
- Es necesario mejorar los pronósticos agroclimáticos en el corto plazo, y los canales de comunicación y difusión de dicha información para asegurar que quede al alcance de los productores.
- Se requiere una mayor inversión en investigación, especialmente investigación participativa desarrollada de la mano de los productores.

## Ecuador

En coordinación con el Ministerio de Ambiente de Ecuador y con el apoyo de GIZ se realizó un taller en Quito con el fin de definir algunas medidas de adaptación de acuerdo a los resultados del estudio. Para esto, se invitaron funcionarios de diferentes instituciones gubernamentales de nivel central, investigadores, expertos de GIZ y representantes de gobiernos locales de las provincias de Carchi, Loja, Chimborazo y Tungurahua. Algunas de las conclusiones más relevantes del taller fueron:

- En el caso de la provincia de Loja, se identificó la protección de las fuentes de agua como una acción prioritaria de fácil implementación, pero para la cual se requiere voluntad política de los Gobiernos locales y de los productores rurales. Igualmente se identificaron el mejoramiento genético y las alertas tempranas como medidas prioritarias pero para las cuales su implementación depende de fuentes de financiamiento.
- En el caso de la provincia del Carchi, las prácticas de manejo adecuado del suelo con la medida que más fácilmente podría implementarse por parte de los productores y con soporte técnico de parte del MAE, MAGAP y los GADs. Los abonos verdes y orgánicos son reconocidos como una buena medida de adaptación para cultivos de autoconsumo, pero consideran que su consolidación tomará un tiempo mientras se implementan fincas piloto que permitan mostrar y comunicar los beneficios de dichas medidas. El uso de semillas nativas fue altamente priorizado pero existen serias limitantes que impiden su pronta implementación: i) es difícil obtener la semilla, ii) la calidad de la semilla no se puede garantizar, iii) no hay mercados adecuados para estos productos, y iv) la alta rentabilidad de algunos cultivos comerciales hace improbable ser competitivos en mercados no diferenciados.
- Para el caso de las provincias de Chimborazo y Tungurahua, las medidas priorizadas fueron: el rescate de variedades locales, mejoramiento genético, y sitios piloto con prácticas agronómicas más resilientes a los efectos climáticos (p ej. asociación de cultivos, sistemas agroforestales, albarradas, manejo de agua).

## Perú

En colaboración con el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) a través de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos (DGCCDRH), se realizó un taller en el Departamento de Cajamarca, al cual asistieron funcionarios políticos, investigadores, universidades, ONGs y entidades gubernamentales. Entre las medidas priorizadas están:

- Capacitación a las entidades de gobierno regional y a la población rural en materia de Cambio Climático y adaptación, así como el manejo apropiado de suelos.
- Aunar esfuerzos institucionales entre MINAM, MINAGRI, Gobiernos Regionales, Gobiernos Locales, Academia, ONGs y otras instituciones de la sociedad civil
- Implementar proyectos de reforestación con plantas nativas, complementado con programas de protección de áreas estratégicas para la provisión del recurso hídrico.
- Implementación de pagos por servicios ambientales para la protección de los recursos naturales.

Otras medidas identificadas por los participantes fueron: i) Implementación de estaciones meteorológicas y sistema de alertas, ii) Rotación de cultivos y agricultura orgánica. iii) Búsqueda de alternativas al cultivo del arroz, por ser uno de los que más consumen agua. iv) Mayor inversión en materia de adaptación al cambio climático, v) Promover la organización de pequeños productores agrarios, vi) Crear centros de investigación agropecuarios para la investigación de cultivos alternativos al Cambio climático.

### **MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PROPUESTAS**

Además de las medidas que se priorizaron en cada uno de los talleres realizados en Colombia, Perú y Ecuador, con base en los resultados del estudio, se propone algunas medidas de adaptación las cuales se dividen en medidas de adaptación basadas en ecosistemas (EbA), y medidas convencionales que son medidas de adaptación más generales que involucran infraestructura y medidas fuera del enfoque ecosistémico.

#### **Enfoque EbA (Adaptación basada en ecosistemas)**

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Problemas de abastecimiento de agua por reducción de la precipitación	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina	Conservación y restauración partes altas de las cuencas hidrográficas
Daños en infraestructura de captación por crecientes de los ríos y quebradas debido a los aumentos de la	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca	

precipitación		
---------------	--	--

Los distritos de riego, las hidroeléctricas y las empresas de acueducto tienen un gran reto de conservar y restaurar las cuencas abastecedoras, con el fin de preservar el poder regulatorio de dichas cuencas. Con esta medida se busca aumentar el tiempo de retención del agua en el suelo y regular los niveles de escorrentía y evitar así las crecientes de los ríos que ocasionan daños en la infraestructura de captación. Igualmente se busca aumentar los flujos de retorno con el fin de aumentar los caudales en los periodos de estiaje.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Problemas de abastecimiento de agua por reducción de la precipitación	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Fomento de agricultura de conservación en la parte alta y media de las cuencas hidrográficas
Daños en infraestructura de captación por crecientes de los ríos y quebradas debido a los aumentos de la precipitación	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	

La agricultura de conservación puede ayudar a aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo, disminuir la erosión y reducir la contaminación de las fuentes de agua. El aumento de la retención de agua en el suelo ayuda a que el cultivo cuente con una mayor disponibilidad de agua para periodos medianamente prolongados de sequía, pero al mismo tiempo aumenta la porosidad del suelo lo que impide el encharcamiento en épocas de altos niveles de precipitación. La disminución de la erosión evita la pérdida de productividad del suelo pero al mismo tiempo reduce los niveles de sedimentación de las fuentes de agua.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Cambios en la temperatura y la precipitación	Los cambios de temperatura y precipitación se prevé ocurrirán a través del territorio de los andes de los tres países, pero la agricultura familiar se concentra en los lugares de los mapas del capítulo 5 sobre sensibilidad social.	Fomento de prácticas tradicionales y ancestrales en la agricultura familiar

La agricultura familiar generalmente conserva ciertas prácticas ancestrales en la producción de productos de autoconsumo, sin embargo, la pérdida de aptitud climática de los cultivos de autoconsumo pueden poner en riesgo la continuación del uso de dichas prácticas, y por lo tanto prácticas comerciales pueden ser implementadas con el fin de compensar la pérdida de aptitud de los cultivos. Por esta razón, es necesario identificar prácticas ancestrales con mayor grado de resiliencia ante cambios en la temperatura y la precipitación. En este sentido, el rescate de algunas variedades criollas de maíz y frijol, y algunas especies nativas de papa puede ayudar a tener mayor resiliencia a fenómenos climáticos, igualmente prácticas tradicionales y ancestrales que no disturben sustancialmente el suelo, y que haga uso de prácticas de rotación de cultivos, y el aprovechamiento racional de nutrientes del suelo. Es necesario igualmente considerar sistemas agroforestales para algunos cultivos (p ej. maíz, café y frijol) que ayuden a mitigar los incrementos de temperatura.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Cambios en la temperatura y la precipitación	Los cambios de temperatura y precipitación se prevé ocurrirán a través del territorio de los andes de los tres países, y en algunos casos cultivos comerciales podrán ser ligeramente afectados negativamente en su aptitud climática. Ver Capitulo 3 sobre sensibilidad agrícola	Pagos por Servicios Ambientales (PSA) a la conservación

Gran parte de la sobreexplotación de los recursos naturales se debe a la necesidad de los pobladores locales de generar ingresos inmediatos para su subsistencia, y por lo tanto difícilmente implementarán alternativas sostenibles que les permitirán diferir la renta en el largo plazo. Por tal motivo, esquemas de PSA pueden ayudar a la implementación de alternativas sostenibles. El principio básico es lograr que los usuarios de los servicios ambientales paguen por la conservación de los recursos naturales que generan dichos servicios ambientales de los cuales ellos se ven favorecidos. Igualmente, las alternativas sostenibles aumentan la resiliencia ante cambios en la temperatura y la precipitación.

#### Convencionales

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Cambios en la temperatura y la precipitación	Los cambios de temperatura y precipitación se prevé ocurrirán a través del territorio de los andes de los tres países, y en algunos casos cultivos comerciales podrán ser ligeramente afectados	Ajustar fertilización de acuerdo al análisis de suelo y necesidades nutricionales del cultivo.

	negativamente en su aptitud climática. Ver Capitulo 3 sobre sensibilidad agrícola	
--	--	--

El incremento de la fertilización compensa la pérdida de productividad de los cultivos. Sin embargo, para ciertos cultivos es necesario avanzar en el uso más eficiente de fertilizantes. Por ejemplo, en el cultivo de arroz la eficiencia en el aprovechamiento de fertilización es baja, pero para cultivos como café y caña de azúcar, los niveles de eficiencia en el uso de fertilizantes son altos.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Daños en infraestructura de captación por crecientes de los ríos y quebradas debido a los aumentos de la precipitación	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Obras de estabilización de taludes

En las partes alta y media de las cuencas con alta pendiente y que coinciden con las regiones donde la precipitación se incrementará, es necesario diseñar y construir obras de estabilización de taludes con el fin de evitar los deslizamientos de tierra, y por lo tanto evitar las pérdidas de infraestructura en los puntos de captación aguas abajo.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Programa de capacitación en manejo y adecuación de suelos
Daños en los cultivos por anegamiento en el suelo	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	

Los excesos y déficit hídricos se pueden mitigar a través de un adecuado manejo del suelo. En este sentido, es necesario que técnicos y productores sean capacitados en manejo de suelos como una herramienta de enfrentar las amenazas de los fenómenos climáticos y así reducir los impactos de dichos

fenómenos sobre la agricultura. A pesar que se requiere para todos los cultivos, es especialmente necesario para el cultivo de papa que ejerce una alta presión sobre el suelo.

Es necesario formular programas de nivelación de tierras con el fin de mejorar la eficiencia del uso del agua en los cultivos con irrigación bajo gravedad, y al mismo tiempo mejorar la eficiencia en el uso de la fertilización y reducir la pérdida de suelo arrastre. Igualmente los programas de preparación adecuada de suelos para mejorar la infiltración y drenaje del agua en los casos de suelos pesados.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Capacitación a los productores y técnicos sobre requerimientos hídricos de los cultivos

Es necesario que el productor y los técnicos comprendan que el cultivo tiene diferentes requerimientos de agua dependiendo de la etapa en que se encuentre y de las condiciones climáticas prevalentes en el momento de la aplicación del riego. Por lo tanto, es necesaria la capacitación a técnicos y productores sobre la práctica del cálculo del balance hídrico y la necesidad de riego en el cultivo con criterios técnicos. Esto es aplicable para cultivos que demandan riego. Por lo tanto, las zonas y cultivos que requieren este tipo de medidas son muy específicos. En la región Andina, a pesar de no ser tan generalizada la práctica del riego, sí es necesario reconocer que para algunos pequeños productores esta práctica es fundamental, especialmente para regiones con periodos particularmente secos.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Construcción y restauración de distritos de riego

En las regiones con aumento de temperatura y disminución de la precipitación es necesario pensar en la construcción de nuevos distritos de riego y/o en la adecuación de los distritos ya existentes.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Mejorar la eficiencia de los sistemas de riego

Para los distritos de riego actuales es necesario modernizar los sistemas actuales de riego con el fin de hacer un uso más eficiente del agua. Para algunos cultivos de alto consumo de agua es necesario pensar en sistemas de riego de ultra bajo volumen. Igualmente es necesario que en los distritos de riego se implementen medidas de monitoreo y control del uso de agua a nivel de parcela, ya que la gran mayoría de distritos de riego distribuyen el agua a través de cantidades programadas en función a la extensión del terreno y la disponibilidad del recurso.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Almacenamiento de agua

Para las zonas donde la disponibilidad de agua va a ser menor, construir reservorios de agua de diferentes dimensiones de acuerdo a la demanda y oferta del recurso hídrico. Es necesario considerar aquí la opción de los sistemas de cosecha de agua. Esta será una medida que ira cobrando mayor importancia con el pasar del tiempo, y de la mayor relevancia para productores de maíz, frijol y papa. Sin embargo, las propuestas que se hagan deben ser concertadas con la comunidad y darles vía libre en tanto no representen impactos dañinos al medio ambiente y convivencia de las personas.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Daños en los cultivos por anegamiento en el suelo	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Drenaje para zonas planas

En algunas zonas donde la precipitación va a aumentar es necesario mejorar los sistemas de drenaje en los campos agrícolas, ya que las probabilidades de encharcamiento se van a incrementar. Esto aplica especialmente para los valles interandinos y los altiplanos.

<b>Impacto</b>	<b>Sitios afectados</b>	<b>Medida</b>
Déficit hídrico por reducción de la precipitación y aumento de la temperatura	Colombia: la parte norte de la región Andina Perú: la zona central de la región Andina y la margen occidental del sur de la región Andina Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	Investigación en mejoramiento de variedades tolerantes a sequías y suelos anegados. Igualmente variedades más resistentes a plagas y enfermedades que podrían exacerbarse con los cambios en el clima
Daños en los cultivos por anegamiento en el suelo	Colombia: la parte sur de la región Andina Ecuador: en toda la región Andina Perú: La zona norte de la región Andina, y la región del lago Titicaca Ver mapas en el capítulo 2 sobre exposición	

- Seguros agropecuarios. Transferencia de los efectos económicos de eventos climáticos perjudiciales, a una entidad aseguradora para reducir la vulnerabilidad socioeconómica de los productores arroceros ante el riesgo climático. Esto implicaría un menor riesgo económico para productores en caso de eventos climáticos inesperados. Esta medida es especialmente válida para los riesgos en los aumentos de eventos extremos.
- Diversificación y rotación de productos. La siembra de varios productos agrícolas y su rotación puede ayudar a disminuir los riesgos por pérdida de productos; no obstante, su manejo es un poco más complejo y requiere un ajuste en la estrategia de producción y comercialización. Es necesario tener en cuenta cómo variarían los cambios de aptitud climática en el futuro de cada cultivo. En el caso de los cultivos que se siembran en las latitudes bajas, podrían convertirse en alternativa en el futuro para la región baja de los Andes.
- Cambio de fechas de siembra. Los productores deben ensayar nuevas estrategias de producción que busquen disminuir los riesgos de pérdidas de sus cosechas, y dada la variabilidad climática, los cambios de las fechas de siembra son una alternativa que debe probarse con el fin de buscar adaptarse al cambio climático y a la variabilidad climática.
- Fortalecimiento de capacidades de Gobiernos locales (autoridades y funcionarios). Es necesario ajustar los programas de desarrollo local que permitan fomentar sistemas más resilientes ante el cambio climático. No obstante, un primer paso es una adecuada formación de los formuladores de políticas locales en la comprensión del fenómeno de cambio climático y sus potenciales efectos sobre la agricultura y sobre el recurso hídrico. Lo anterior puede llevar a procesos de ordenamiento territorial acordes al nuevo panorama en materia de clima.
- Fortalecer los sistemas de asistencia técnica. Es necesario recuperar y fortalecer los sistemas de asistencia técnica. Para esto se requiere inicialmente una buena formación y comprensión por parte de los técnicos de los nuevos retos que impone el cambio climático sobre la agricultura. Segundo, se requiere de un buen entendimiento por parte de los técnicos de las relaciones

entre agricultura y recursos naturales, y el papel de los servicios ambientales, que permitan identificar y proponer alternativas de producción más amigables con el medio ambiente.

## 10 Bibliografía

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith, y others. 1998. «Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56». *FAO, Rome* 300: 6541.
- Allen, R.G., L Pereira, D Raes, y M Smith. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food & Agriculture Org.
- Eitzinger, A., et al. (2012). "Implications of a changing climate on food security and smallholders' livelihoods in Bogotá, Colombia." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*: 1-16.
- FAO. 2012. «AQUASTAT - Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO». [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use\\_agr/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/index.stm).
- FAO, y Water Development and Management Unit. 2012. «CropWat 8.0». [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html).
- FAO (2001). *FAOCLIM 2.0 A World-Wide Agroclimatic Database*. FAO. Rome, Italy.
- Fowler, H. J., Blenkinsop, S. and C. Tebaldi (2007). "Linking climate change modeling to impact studies: recent advances in downscaling techniques of hydrological modeling." *International Journal of Climatology*(27): 1547-1578.
- Hayhoe. K., (2010). *A Standardized Framework For Evaluating The Skill Of Regional Climate Downscaling Techniques*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, et al. (2005). "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas." *International Journal of Climatology* 25(15): 1965-1978.
- INTECSA (1993). *Estudio de Climatología. Plan director Global Binacional de Protección – Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de Los Recursos del Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S)*. La Paz, Bolivia, INTECSA, AIC, CNR.
- IPCC (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)*. Geneva, Switzerland, IPCC.
- Jarvis, A., A. Lane, et al. (2008). "The effect of climate change on crop wild relatives." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126(1-2): 13-23.
- Jones, P. G. and P. K. Thornton (2003). "The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055." *Global Environmental Change* 13(1): 51-59.
- Jones, R., M. Noguer, et al. (2004). *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*. Exeter, UK, Met Office Hadley Centre.
- Kremen, C., et al. (2008). "Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high resolution planning tools." *Science* (320): 222-226.

- Maurer, E. P., L. Brekke, et al. (2007). "Fine-resolution climate projections enhance regional climate change impact studies." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 88(47): 504-504.
- Olesen, J. E., T. R. Carter, et al. (2007). "Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models." *Climatic Change* 81(1): 123-143.
- Peterson, T. C. and R. S. Vose (1997). "An Overview of the Global Historical Climatology Network Temperature Database." *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(12): 2837-2849.
- Python Software Foundation. 2008. *Python* (versión 2.6). Python Software Foundation. <http://python.org/>.
- Ramirez-Villegas J, Jarvis A, Läderach P (2011) Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: the EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agr Forest Meteorol*. doi:10.1016/j.agrformet.2011.09.005
- Ramirez, J., y A. Jarvis. 2010. «Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1». Decision and Policy Analysis Working Papers. Cali, Colombia, International Center for Tropical Agriculture (CIAT).. Available on: [http://ccafs-climate.org/download\\_sres.html](http://ccafs-climate.org/download_sres.html).
- Salathé, P. J., Mote, P.W., and M.W. Wiley (2007). "Review of scenario selection and downscaling methods for the assessment of climate change impacts on hydrology in the United States pacific northwest." *International Journal of Climatology*(27): 1611-1621.
- Tabor, K. and J. W. Williams (2010). "Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change." *Ecological Applications* 20(2): 554-565.
- Wilby, R. L., Wigley T.M.L., Conway D., Jones, P.D., Hewitson, B.C., Main, J. and D.S. Wilks (1998). "Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods." *Water Resources Research*(34): 2995-3008.
- WMO (1994). Guide to Hydrometeorological practices: Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. 5ed. 732
- WMO (1996). Climatological Normals (CLINO) for the period 1961–1990.
- WMO (2010). "Manual on the Global Observing System." I(544): 54.
- Zhang, X. C. (2006). "Spatial downscaling of global climate model output for site-specific assessment of crop production and soil erosion." *Agricultural and Forest Meteorology*(135): 215-229.

## 11 Anexos

### 11.1 Anexo 1 Parámetros empleados en las corridas de Ecocrop

En general, el proceso de modelación para cada uno de los cultivos consiste en los siguientes pasos metodológicos:

- Calibración de Aptitud Climática (AC.) de acuerdo a las condiciones climáticas del presente.
- Validación de las modelaciones actuales y modelación de AC a futuro
- Análisis del cambio

#### Calibración de Aptitud Climática Actual

Los parámetros eco-fisiológicos necesarios para calibrar el modelo están relacionados a continuación:

Temperatura					Precipitación			
De muerte (Ktemp)	Mínima de crecimiento (Tmin)	Mínima optima (TOPmin)	Máxima optima (TOPmx)	Máxima de crecimiento (Tmax)	Mínima (Rmin)	Mínima optima (ROPmin)	máxima optima (ROPmx)	máxima (Rmax)

Así mismo es necesario conocer la estación de crecimiento en días poder incorporar en el análisis el número de días de germinación mínima ( $G_{min}$ ) y máxima ( $G_{max}$ ) para cada especie.

La FAO en su sitio web tiene parámetros generales de referencia para una lista larga de cultivos para la modelación con Ecocrop. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>, sin embargo, la mayoría de parámetros empleados por CIAT en este análisis fueron obtenidos de publicaciones de trabajos de investigación de cada uno de los países, puesto que en muchos casos son parámetros más regionales que los generales de la FAO. En general, los valores más específicos hacen que la modelación se ajuste mejor a la región de estudio. Los parámetros empleados y su fuente de referencia se presentan en las Tablas 4, 5 y 6.

Tabla 1. Parámetros de cultivos en Colombia<sup>7 8</sup>

No	Cultivo	Gmin	Gmax	Ktemp	Tmin	TOPmin	TOPmx	Tmax	Rmin	ROPmin	ROPmx	Rmax	Fuente valor precipitación	Fuente valor temperatura
1	Aguacate lorena	365	365	120	180	260	300	320	1000	1500	2000	3000	Calibración con zonas. productoras	<a href="http://www.corpoica.org.co">www.corpoica.org.co</a>
2	Aguacate hass	365	365	-10	50	170	200	220	1000	1500	2000	3000	Calibración con zonas. productoras	<a href="http://www.corpoica.org.co">www.corpoica.org.co</a>
3	Arveja	60	140	-72	40	120	180	260	100	150	300	400	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
4	Cacao	180	365	50	100	210	320	380	900	1200	3000	7600	FAO	FAO
5	Café arábica	210	330	0	100	140	280	340	750	1400	2300	4200	FAO	FAO
6	Caña de azúcar	365	365	-10	170	240	280	380	800	843	1439	2500	Yang y Torres, 1984	De Geus, 1967
7	Caña panelera	210	365	-20	150	240	370	410	1000	1500	2000	5000	FAO	FAO
8	Cítricos	365	365	0	130	200	300	390	800	1200	2000	2500	<a href="http://www.agronet.gov.co">www.agronet.gov.co</a>	<a href="http://www.agronet.gov.co">www.agronet.gov.co</a>
9	Fríjol andino	90	90	-14	15	93	199	228	130	400	1360	2050	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
10	Maíz tradicional (Maíz gran altura)	65	365	0	80	120	180	300	400	600	1200	1800	Juicio de experto	Juicio de experto
11	Maíz tecnificado (Maíz med altura)	165	170	0	80	230	280	400	600	800	1200	1700	<a href="http://www.cigrjournal.org">http://www.cigrjournal.org</a>	<a href="http://www.fenalce.org">http://www.fenalce.org</a>
12	Mango	150	365	-10	192	217	268	294	300	877	3584	4937	Eitzinger, A., et al. (2012)	Eitzinger, A., et al. (2012)
13	Papa	120	180	-10	70	100	150	200	450	500	2500	3000	<a href="http://www.finagro.com.co">www.finagro.com.co</a>	<a href="http://www.finagro.com.co">www.finagro.com.co</a>
14	Plátano	365	365	80	160	230	280	380	1000	1300	3000	5000	FAO	FAO
15	Tomate árbol	365	365	-1	140	160	190	220	1200	1400	2000	2300	<a href="http://www.pucesi.edu.ec">www.pucesi.edu.ec</a>	<a href="http://www.fao.org/documents">http://www.fao.org/documents</a>
16	Yuca	240	240	0	150	220	320	450	300	800	2200	2800	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
17	Tomate chonto	70	150	0	70	200	270	350	400	600	1300	1800	FAO	FAO

<sup>7</sup> Los valores de temperatura y precipitación están multiplicados por 10 para evitar los decimales

<sup>8</sup> Gmin y Gmax representan el periodo de crecimiento para diferentes especies de un mismo cultivo

Tabla 2. Parámetros para cultivos en Ecuador

No.	Cultivo	Gmin	Gmax	Ktemp	Tmin	TOPmin	TOPmx	Tmax	Rmin	ROPmin	ROPmx	Rmax	Fuente valor precipitación	Fuente valor temperatura
1	Arveja	60	140	-72	40	120	180	260	100	150	300	400	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
2	Cacao	180	365	50	100	210	320	380	900	1200	3000	7600	FAO	FAO
3	Café arábica	210	330	0	100	140	280	340	750	1400	2300	4200	FAO	FAO
4	Cebada	150	150	0	38	92	159	240	200	293	684	963	Calibración por clima	Calibración por clima
5	Fríjol andino	90	90	-14	15	93	199	228	130	400	1360	2050	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
6	Haba	100	150	-10	100	150	200	270	250	650	1000	2600	bibliografía web	bibliografía web
7	Maíz gran altura (suave seco)	65	365	0	80	120	180	300	400	700	1300	1800	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a>	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a>
8	Naranja	120	240	0	50	200	320	360	300	400	700	1000	FAO	FAO
9	Papa	120	120	-80	37	124	178	240	150	251	326	785	Calibración por clima	Calibración por clima
10	Plátano	365	365	80	160	230	280	380	1000	1300	3000	5000	FAO	FAO
11	Trigo	180	180	0	34	80	172	217	200	450	800	1750	<a href="http://condesan">condesan</a>	<a href="http://condesan">condesan</a>
12	Yuca	240	240	0	150	220	320	450	300	800	2200	2800	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.

Tabla 3. Parámetros para cultivos en Perú

No.	Cultivo	Gmin	Gmax	Ktemp	Tmin	TOPmin	Topmx	Tmax	Rmin	ROPmin	ROPmx	Rmax	Fuente valor precipitación	Fuente valor temperatura
1	Arveja	60	140	-72	40	120	180	260	100	150	300	400	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
2	Cacao	365	365	50	170	220	250	320	800	1000	1200	2600	<a href="http://goo.gl/lmLWW9">http://goo.gl/lmLWW9</a>	<a href="http://goo.gl/s4JsWT">http://goo.gl/s4JsWT</a>
3	Café arábica	210	330	0	100	140	280	340	750	1400	2300	4200	FAO	FAO
4	Cañihua	90	150	-100	50	100	160	280	300	500	800	1100	FAO	FAO
	Frijol andino	90	90	-14	15	93	199	228	130	400	1360	2050	J.Ramirez et al.	J.Ramirez et al.
	Maíz cusco	165	170	0	80	180	220	300	400	420	1200	1700	bibliografía web	bibliografía web
	Naranja	120	240	0	50	200	320	360	300	400	700	1000	FAO	FAO
	Palta hass	365	365	-60	40	100	190	230	660	1000	1400	1800	FAO	Morin, 1967
	Plátano	365	365	130	180	250	300	350	1000	1300	2200	3600		
	Quinoa	90	240	-80	-10	90	160	260	250	500	1000	2600	FAO	SENAMHI
	Yuca	240	240	0	150	220	320	450	300	800	2200	2800		

## 11.2 Anexo 2 Mapas de aptitud climática actual, a 2030 y a 2050

Descargar:

<https://www.dropbox.com/sh/qnbl3mexztrmesy/5ejHva71qr>

### 11.3 Anexo 3 Proceso metodológico del modelo hidrológico SWAT

El modelo SWAT (“SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL”) fue desarrollado por el USDA-ARS (Agricultural Research Service de Estados Unidos) para predecir el impacto en el manejo del suelo y la vegetación en el rendimiento hídrico, la producción de sedimentos y la contaminación de agua con agroquímicos. Es un modelo semi-distribuido y por tal razón es útil para modelar hidrológicamente cuencas con amplia variación de suelos, uso de suelo y condiciones de manejo (Arnold and Williams, 1987). Para esto, SWAT divide una cuenca en varias subcuencas, que a su vez están divididos en Unidades de Respuesta Hidrológica (URH’s). Las URH consisten en áreas homogéneas de uso de la tierra y características del suelo con un determinado balance hídrico. El balance hídrico es simulado para intervalos diarios durante un periodo continuo de tiempo.

El modelo está conformado por un conjunto de sub-modelos, los cuales se emplean para simular distintos procesos hidrológicos. El modelo hidrológico está basado en la 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 de agua);  $SW_0$  es el contenido de agua inicial en el día  $i$  (mmH<sub>2</sub>O);  $t$  es el tiempo (día);  $R_{day}$  es la cantidad de precipitación en el día  $i$  (mmH<sub>2</sub>O);  $W_{seep}$  es la cantidad de agua acumulada en la zona no saturada del perfil del suelo en día  $i$  (mmH<sub>2</sub>O);  $Q_{gw}$  es la cantidad de flujo de retorno en el día  $i$  (mm de agua); (Arnold et al.,1998). Dentro del modelo SWAT confluyen varios componentes que influyen en el balance hídrico de una cuenca. En cada componente se simulan varios procesos físicos a nivel del suelo, el clima, el crecimiento de cultivos, ciclo de nutrientes, dinámica de pesticidas y manejo de cultivos.

SWAT es un modelo ampliamente usado para simular la hidrología y calidad de agua de distintas cuencas en el mundo y los impactos de prácticas de manejo agrícola sobre la dinámica hidrológica. En Gassman et al. (2007) se encuentra una revisión sobre la historia de desarrollo de este modelo, sus diversas aplicaciones y nuevas actualizaciones reportadas en publicaciones arbitradas. Así mismo para consultar las especificidades del modelo el lector debe remitirse a Neitsch et al. (2001).

Como cualquier modelo, sus simulaciones implican incertidumbres causadas principalmente por errores en las variables de entrada, por limitaciones propias del modelo para simular procesos físicos en ciertas condiciones ambientales, y/o por la incertidumbre en la estimación de parámetros, teniendo presente que la mayor incertidumbre está asociada a los valores de los parámetros calibrados obtenidos con procesos de calibración automática (Tucci, 2005). Es por esta razón que la calibración y la validación son vitales en la aplicación del modelo SWAT y en otros modelos. Para estos procesos, SWAT cuenta con herramientas (i.e. análisis de sensibilidad) y guías para realizar una calibración y validación adecuada del modelo. Esto último es de gran utilidad ya que al ser SWAT un modelo hidrológico semi-distribuido, tiene potencialmente muchos parámetros a calibrar los cuales son imposibles de calibrar todos.

Adicionalmente a la utilidad de SWAT para simular efectos del cambio de uso/cobertura/manejo de la tierra sobre los caudales o la calidad del agua, SWAT también provee la posibilidad de simular los impactos del cambio climático en rendimiento hídrico, producción de sedimentos y carga de nutrientes en caudales (e.g. Stone et al. 2001; Jha et al. 2007; Marshall y Randhir 2008; Ficklin et al. 2009; Franczyk y Heejun 2009). SWAT puede simular el efecto de incrementos en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera y de cambios en los parámetros de las variables climáticas sobre el crecimiento de las plantas (Gassman et al. 2007) y la hidrología de las cuencas.

Para simular escenarios de cambio climático dentro de modelos hidrológicos, es posible ajustar los datos de entrada al modelo basándose en proyecciones climáticas arrojadas de los modelos de circulación global (MCG) y modificadas a una escala más grande (“downscaling”) (Bekelep y Knapp, 2010; Candela et al. 2012). Asumiendo que las simulaciones de los modelos climáticos son más confiables en cuanto a los cambios relativos que en sus valores absolutos, en SWAT es posible modificar los valores climáticos de entrada basándose en los deltas de los cambios climáticos o en otras palabras en los cambios porcentuales de las variables climáticas (conocido en inglés como el “delta approach”). Para esto es necesario determinar los cambios en el clima futuro usando los resultados de las proyecciones de los MCG y contrastarlos con los valores de clima actual (Bekelep y Knapp, 2010). Este enfoque es el aplicado en este estudio.

Las principales etapas de la modelación se describen a continuación:

**Corrección del Modelo Digital de Elevación (MDE):** Se le practica una corrección por llenado de sumideros puesto que es necesario encontrar las zonas donde no es posible que el agua drene hacia alguna de las direcciones, pues la dirección del flujo determina el sentido y orientación en que fluye el agua, de esta forma se puede observar cómo se acumula el flujo. Todas estas trayectorias de drenaje de agua se generan en función de las condiciones.

**Delimitación de la cuenca:** A partir del MDE ya corregido se generan los límites de las cuencas, las subcuencas y sus respectivos drenajes.

**Adaptación de la información requerida:** A las coberturas del suelo presentes en las cuencas se les realiza la relación de los códigos de las coberturas de la base de datos de SWAT y se modificaron los valores del número de curva para cada uno de éstas de acuerdo a la experiencia obtenida en el comportamiento de las coberturas en la Región de los Andes. Además, se organiza la información del estudio físico químico y en caso de que carezca de algunas variables necesarias para el modelo; se determinaron sus valores utilizando el triángulo textural y la herramienta “Soil Characteristics Tool” (Saxton, 1986). Así mismo, estos valores deben ser ajustados con base a estudios de suelos en regiones similares al área de estudio. Esto es necesario puesto que la herramienta de Saxton, 1986, funciona mejor para suelos minerales con bajo contenido de materia orgánica (máximo 8%) y alta densidad aparente.

Por otro lado, la información referente a las **estaciones climatológicas** es revisada detalladamente para ver la posibilidad de generar datos faltantes sin que se crearan grandes distorsiones en los valores. Además, se seleccionan las estaciones que cuenten con la mejor información y que representaran de la

mejor manera el clima de las zonas de estudio. En general, este proceso es para seleccionar, depurar y adaptar la información básica requerida por la herramienta SWAT para realizar la modelación hidrológica.

**Determinar las Unidades de Respuesta Hidrológica (URH):** Para cada URH en la cuenca se obtiene el valor de los parámetros que determinan el balance hídrico: precipitación diaria, escorrentía, percolación, retención de agua en el suelo, evapotranspiración real y potencial y producción de agua al caudal. Estos parámetros son el resultado de la interacción uso / cobertura – tipo de suelo – pendiente – clima.

**Calibración/Validación del modelo:** Los procesos de calibración y validación se realizan en forma mensual para un periodo de simulación, contando también para este periodo con datos de caudales aforados. Según lo propuesto en el manual de Calibración/Validación de SWAT es necesario dividir el rango de datos disponibles en dos grupos sin tener en cuenta el primer año, dado que dentro de la modelación se debe tener un tiempo para que la recarga de acuíferos se lleve a cabo. La calibración de los parámetros más sensibles en los procesos modelados se realiza para el primer grupo y para la validación o evaluación de la capacidad del modelo se toma el rango correspondiente al segundo grupo.

El desempeño del modelo calibrado para simular el sistema hidrológico, se evalúa a través del coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe ampliamente utilizado para evaluar el poder predictivo de los modelos hidrológicos. Este índice varía desde  $-\infty$  hasta 1, donde una eficiencia de 1 (NS=1) corresponde a un perfecto ajuste entre los datos del modelo y los observados. Una eficiencia de 0 (NS=0) indica que las predicciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados, mientras que una eficiencia menor que cero (NS<0) ocurre cuando la varianza residual (numerador de la expresión), es mayor que la varianza de los datos (denominador de la ecuación). Básicamente, cuanto más cercano a 1, más exactos son los resultados. Este índice se calcula con la siguiente ecuación:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - Q_{obs_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

Dónde:

$Q_{sim_i}$  : Caudal Simulado en el Periodo i,  $Q_{obs_i}$  : Caudal Observado en el Periodo y i.  $\bar{Q}_{obs}$  : Promedio de Caudales Observados en el Periodo de Análisis.

**Priorizar las URH** de acuerdo a su impacto actual y potencial sobre el caudal: Se realiza la priorización en producción de agua, logrando obtener una herramienta que permitirá definir las zonas posibles de intervención en las cuales sea posible hacer cambios en el uso del suelo de acuerdo a las prácticas que se estén llevando a cabo en las zonas y que influyeran sobre la producción de agua.

## MODELO BASADO EN PARÁMETROS DE LA FAO IMPLEMENTADO EN ARCGIS PARA EL ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE RECURSO HÍDRICO, HERRAMIENTA DE NOMINADA CropWat-gis.

La metodología desarrollada busca evaluar la sensibilidad de los cultivos de una cuenca frente a la disponibilidad del recurso hídrico como consecuencia del cambio climático. Por esta razón, en el presente estudio se plantea realizar la estimación de la evapotranspiración de los cultivos, sus requerimientos de riego y el aporte de agua al caudal, tanto para las condiciones actuales como para las de cambio climático. La estimación fue realizada mediante el uso de parámetros y metodologías propuestas por la FAO (Allen, Pereira, Raes, Smith, & others, 1998; FAO & Water Development and Management Unit, 2012; FAO, 2012) en un ambiente de sistemas de información geográfica (SIG.). Para estas estimaciones fue usada información climática mensual de las condiciones actuales (Hijmans et al., 2005) y de cambio climático (Ramirez & Jarvis, 2010), mapas de suelos y mapas de cobertura vegetal y producción de cultivos actuales, estos últimos generados de acuerdo a las estadísticas de producción municipal y a una adaptación de la metodología planteada por You & Wood (2006). Así, para varios de los procesos de análisis espacial fueron desarrollados Scripts en el lenguaje de programación Python 2.6 (Python Software Foundation, 2008), los cuales permitieron la automatización de los procesos aquí descritos.

El proceso consta de cuatro etapas, en la primera es realizado el cálculo de la evapotranspiración de referencia mensual ( $ET_o(m)$ ) a una resolución espacial de  $1 \text{ km}^2$ . En la segunda etapa, es calculada la evapotranspiración mensual de los cultivos para los mismos tiempos ( $ET_c(m)$ ), para este cálculo, son utilizados los mapas y cronogramas de producción de cultivos en la cuenca, junto a los coeficientes  $K_c$  de cada cultivo de acuerdo a su etapa de crecimiento. En la tercera etapa es realizado el balance de agua en los suelos en condiciones naturales, en donde se obtiene la humedad disponible del suelo en cada mes, la evapotranspiración actual de los cultivos y el exceso de agua que es aportado al caudal por cada  $\text{Km}^2$  (FAO, 2005). En la cuarta etapa, son calculados los requerimientos hídricos o de riego de los cultivos por  $\text{Km}^2$ , para lo cual son usados los resultados de los pasos anteriores y la estimación de la capacidad de almacenamiento de humedad por parte del suelo, estimada a partir de la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y profundidad efectiva del perfil modal de cada unidad de suelos. Cada uno de estos cálculos fue realizado con información productiva y climática actual, luego con información de cambio climático, para finalmente hacer comparaciones de los efectos y la vulnerabilidad de un escenario productivo actual frente a los cambios en disponibilidad del recurso hídrico.

A continuación se describe de forma general cada una de las etapas nombradas anteriormente:

***Etapas*** **1** – *Estimación de la Evapotranspiración de referencia mensual ( $ET_o(m)$ ):* Este cálculo fue realizado mediante la utilización de la Formula de Hargreaves, la cual utiliza la temperatura media, máxima, mínima y la radiación solar extraterrestre. La utilización de esta fórmula es recomendada por la FAO en reemplazo de la de Penman-Monteith, cuando se tiene información faltante de humedad relativa y radiación solar (Allen et al., 1998). Además para facilitar el proceso de cálculo.

*Formula de Hargreaves:*  $ET_o = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} * Ra$

Donde  $R_a$  es la radiación diaria extraterrestre recibida en un punto, la cual se calcula haciendo uso de la latitud, la declinación y la distancia de la tierra al sol. Esta radiación se expresa en su equivalente de evaporación en mm/día y se asume que para efectos de este trabajo el cálculo de la misma en el día 15 de cada mes tiene bajos porcentajes de error, para ver los detalles del cálculo se recomienda consultar a (Allen et al., 1998) ([www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm](http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm)).

Para el cálculo de la  $E_{To}(m)$  en las condiciones actuales fueron utilizadas las superficies climáticas de WorldClim (Hijmans et al., 2005) a una resolución de  $1 \text{ Km}^2$ , mientras que para el cálculo en condiciones de cambio climático fueron utilizadas las superficies climáticas producto del ensamble de 19 GCM para los años 2030 a 2049 (2030s) y 2040 a 2069 (2050s) (Ramirez & Jarvis, 2010), a la misma resolución. Obteniéndose de esta forma 12 superficies con la  $E_{To}(m)$  en cada escenario temporal. Para este cálculo fue desarrollado un Script en Python con el fin de automatizar el proceso.

### ***Etapa 2 – Cálculo de la evapotranspiración mensual de los cultivos***

**Paso 1** – Estimación de los mapas de producción de cultivos en la cuenca: Basado en las estadísticas de producción municipal de cada cultivo, fueron generados puntos aleatorios por cada 10 Ha producidas del cultivo en la zona de mayor probabilidad de presencia del mismo en cada municipio. Para la definición de las zonas de mayor probabilidad, fue usado en primer lugar la zonificación Corine Land Cover y una verificación visual de la misma en Google Earth para asignar las estadísticas municipales de producción del cultivo específico a la cobertura mencionada, por ejemplo asignar las hectáreas de arroz o café producidas al polígono con dicha cobertura. Luego, para los polígonos con usos como *mosaico de cultivos* o *cultivos y pastos*, fueron divididos espacialmente de acuerdo al rango altitudinal, derivado del DEM (Digital Elevation Model)(Jarvis, Reuter, Nelson, & Guevara, 2008), de esta forma se asignaron áreas de producción de los cultivos dentro de estos polígonos de acuerdo al rango en el que normalmente se distribuyen. Finalmente, en ArcGIS10 fueron generados los mapas de cada cultivo mediante la suma del número de puntos por cada  $\text{Km}^2$ .

**Paso 2**- Estimación por  $\text{Km}^2$  del índice de área ocupado por los cultivos en cada pixel (IA): En este caso, fueron estimados los porcentajes de ocupación (IA) de todos los cultivos por pixel, esto fue realizado mediante la suma de los mapas de producción de todos los cultivos en la cuenca, la cual debe estar entre 0 a 100 hectáreas (Ha) por  $\text{Km}^2$ , se debe anotar que para asegurar estos resultados en la generación de puntos en ArcGIS10 se debe configurar para que se coloque cada punto a una distancia mínima de 100m, con lo que no se presentarán más de 10 puntos por pixel de  $\text{Km}^2$ . Se debe hacer un supuesto adicional en términos de la ocupación de los cultivos y es que no se hacen rotaciones o sistemas asociados de cultivos, con lo cual la imagen productiva construida no sobrepasa las 100 Ha por  $\text{Km}^2$ .

**Paso 3** – Determinación del calendario de siembras de los cultivos y su  $K_c$  Mensual: De acuerdo a la revisión de bibliografía y el conocimiento de las zonas, es establecido un calendario característico de siembras para los cultivos presentes en la cuenca. Para determinar este calendario, fueron tenidos en cuenta varios supuestos que facilitan los cálculos. El primero fue establecer un único cronograma por cultivo, o una única fecha de siembra y cosecha dentro de la cuenca. En segundo lugar, el calendario de siembra y cosecha fue hecho de forma mensual, por ejemplo, si el cultivo tiene un periodo de siembra a cosecha de 110 a 130 días, este fue asumido como 120 días o 4 meses. En términos del  $K_c$  mensual de cada cultivo fueron usados los propuestos por la FAO (Allen et al., 1998). En el caso de los cultivos

permanentes, se asumió un Kc único para todos los meses del año correspondiente a la etapa en la que el cultivo se encuentra completamente establecido. Para los cultivos transitorios, se asumió un Kc para el primer mes que corresponde al de la etapa inicial, el del segundo mes fue el de la etapa de desarrollo, para el último mes se asignó el Kc de la etapa final y el Kc para los restantes meses fue el de la etapa intermedia. En cuarto lugar, se asumió que las áreas ocupadas por un cultivo no pueden estar ocupadas por otro, por ejemplo, sembrar maíz en un semestre y frijol en el segundo o un asocio entre cultivos. En la siguiente tabla, se presenta un ejemplo de los cronogramas mensuales establecidos y los Kc mensuales asociados por cada cultivo.

**TABLA 4. CRONOGRAMA DE CULTIVOS Y Kc UTILIZADOS EN LA CUENCA DEL RIO COELLO**

Cultivo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Algodón					0.35	0.78	1.2	1.2	0.6			
Arroz				1.2	1.15	1.1	0.8		1.2	1.15	1.1	0.8
Sorgo				0.3	0.7	1.1	0.55					
Mango	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Maíz					0.3	0.75	1.2	1.2	1.2	0.6		
Caña panelera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Café	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fríjol	0.55		0.4	0.78	1.15	1.15	0.55		0.4	0.78	1.15	1.15
Plátano	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tomate de árbol	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Curuba	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Cilantro			0.6	0.85	1.1	0.9						
Arracacha			0.6	0.85	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9
Arveja				0.4	0.78	1.15	0.55					
Papa	1.15	0.75								0.5	0.83	1.15
Zanahoria					0.6	0.85	1.1	1.1	0.9			

**Paso 4** – Cálculo de la evapotranspiración mensual de los cultivos ETc(m): Este cálculo fue realizado pixel a pixel (1Km<sup>2</sup>) en primer lugar para cada cultivo y luego fueron sumadas la evapotranspiración de todos los cultivos para obtener la evapotranspiración total debida a la actividad agrícola. La siguiente formula muestra el cálculo realizado por Km<sup>2</sup> en ArcGis10.

$$(ET_o \text{ p} \times Kc \text{ c} \times \% \text{Área p, c})$$

Donde ETp es la evapotranspiración de todos los cultivos en un Km<sup>2</sup>, ETo[p] es la evapotranspiración potencial en cada pixel p, Kc[c] es el coeficiente mensual del cultivo c, IA[p] es el índice de ocupación de área de cada cultivo c en cada pixel p. De esta forma son obtenidos mapas en formato raster de la evapotranspiración mensual de cada cultivo c y de la evapotranspiración total. Para la realización de este proceso fue desarrollado un Script en Python con la finalidad de automatizar el proceso.

**Etapa 3** – Estimación del balance hídrico del suelo en condiciones naturales

**Paso 1-** Determinación de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo: Esta capacidad es determinada en función de la humedad a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y de la profundidad del perfil del suelo. En los casos en los cuales no se cuenta con esta información, se tiene en cuenta la textura del perfil modal de la unidad de suelos correspondiente. El cálculo en dicho caso es realizado mediante las siguientes formulas empíricas:

Capacidad de Campo (CC) en milímetros (mm) de acuerdo a la fórmula de Bodman y Mahmud:

$$CC \text{ (mm)} = [0.023(\% \text{ arena}) + 0.25(\% \text{ limo}) + 0.61(\% \text{ arcilla})] \times Da \text{ (g/cm}^3\text{)} \times Z \text{ (mm)}$$

Punto de Marchitez Permanente (PMP) en milímetros (mm) de acuerdo a la fórmula de Máximov:

$$PMP \text{ (mm)} = [0.001(\% \text{ arena}) + 0.12(\% \text{ limo}) + 0.57(\% \text{ arcilla})] \times Da \text{ (g/cm}^3\text{)} \times Z \text{ (mm)}$$

Siendo Da la densidad aparente del suelo y Z la profundidad del horizonte para el que se está realizando la determinación. En este caso, se realizó la sumatoria de las CC y PMP de los horizontes del perfil modal hasta 1m de profundidad o en caso de tener una profundidad efectiva menor a 1m, la determinación fue realizada hasta dicha profundidad.

Finalmente, la capacidad de almacenamiento de agua que tiene un suelo se determina mediante la estimación de la humedad aprovechable (HA) y la fácilmente aprovechable por las plantas (AFA). En el caso de la HA es la resta entre las láminas de agua a CC y PMP, mientras que la AFA se asumió como el 70% de HA. A nivel espacial, luego de haber obtenido estos valores, cada uno de ellos fue representado en un mapa en formato vector y luego rasterizados con la resolución de 1Km<sup>2</sup>. Obteniéndose de esta forma 4 superficies correspondientes a las variables de suelos a utilizar en los siguientes cálculos.

**Paso 2 -** Cálculo del balance hídrico en el suelo en condiciones naturales: En este caso, se realizará el cálculo del balance hídrico en el suelo, siguiendo el flujo propuesto por la FAO para la estimación de las estadísticas calculadas por AQUASTAT a nivel mundial, sin embargo, la FAO presenta en mayor detalle los cálculos que fueron realizados para la determinación de las necesidades de agua de los cultivos en África (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/watresafrica/index4.stm>), por lo cual se tomó como guía dicho esquema de análisis. Estos cálculos están basados en los mapas mensuales de precipitación, ETo, Humedad aprovechable total (HA), humedad fácilmente aprovechable (AFA), en el cual se tiene como salidas la evapotranspiración actual a nivel mensual, excesos de agua o aportes de agua al caudal por cada pixel y la humedad disponible al final de cada mes.

En primer lugar, la determinación del mes de inicio del balance es realizado mediante la comparación de las ETo y las precipitaciones mensuales, determinando el mes de inicio del balance, como el siguiente a la estación lluviosa de mayor longitud y en dicho mes se asume la humedad disponible en el suelo como su capacidad de campo.

**Etapa 4 – Cálculo de los requerimientos hídricos de los cultivos en la cuenca.**

**Paso 1-** Estimación de los requerimientos de riego de cultivos diferentes al arroz de inundación: Para esto fue utilizada la siguiente fórmula utilizada por AQUASTAT para el cálculo de los requerimientos netos de riego de los cultivos:

$$\text{Requerimientos netos mensuales de irrigación} = \text{Max} (0, ETC_{\text{pixel}} - ETa(m) \times IA_p)$$

Donde  $ET_{\text{pixel}}$  es la evapotranspiración de los cultivos en cada pixel calculado en la Etapa 2,  $ETa(m)$  es la evapotranspiración actual a nivel mensual en cada pixel calculada en el paso anterior y  $IA_p$  es el índice de área sembrada dentro de cada pixel o el área susceptible de ser irrigada (Calculada en la Etapa 1). Adicionalmente, es necesario involucrar el factor de eficiencia del riego, el cual se compone de la eficiencia de aplicación y de conducción del agua hasta el lote y es un producto de ambas, esta eficiencia se encuentra en función entre otras de la longitud y material del canal que transporta el agua hasta el lote y del sistema de riego usado. Para efectos del cálculo se asume una eficiencia del 50% que es aquella encontrada para un sistema de riego de superficie con canales bien mantenidos y construidos en arcilla poco permeable (Brouwer, Prins, & Heibloem, 1989).

**Paso 2-** Estimación de los requerimientos de riego para al arroz de inundación: En este caso, es necesario aplicar el agua necesaria para suplir los requerimientos en términos de la evapotranspiración del cultivo y el agua necesaria para la saturación y mantenimiento de una lámina de agua durante el desarrollo del cultivo. Los requerimientos de riego en este caso se obtienen mediante la siguiente fórmula:

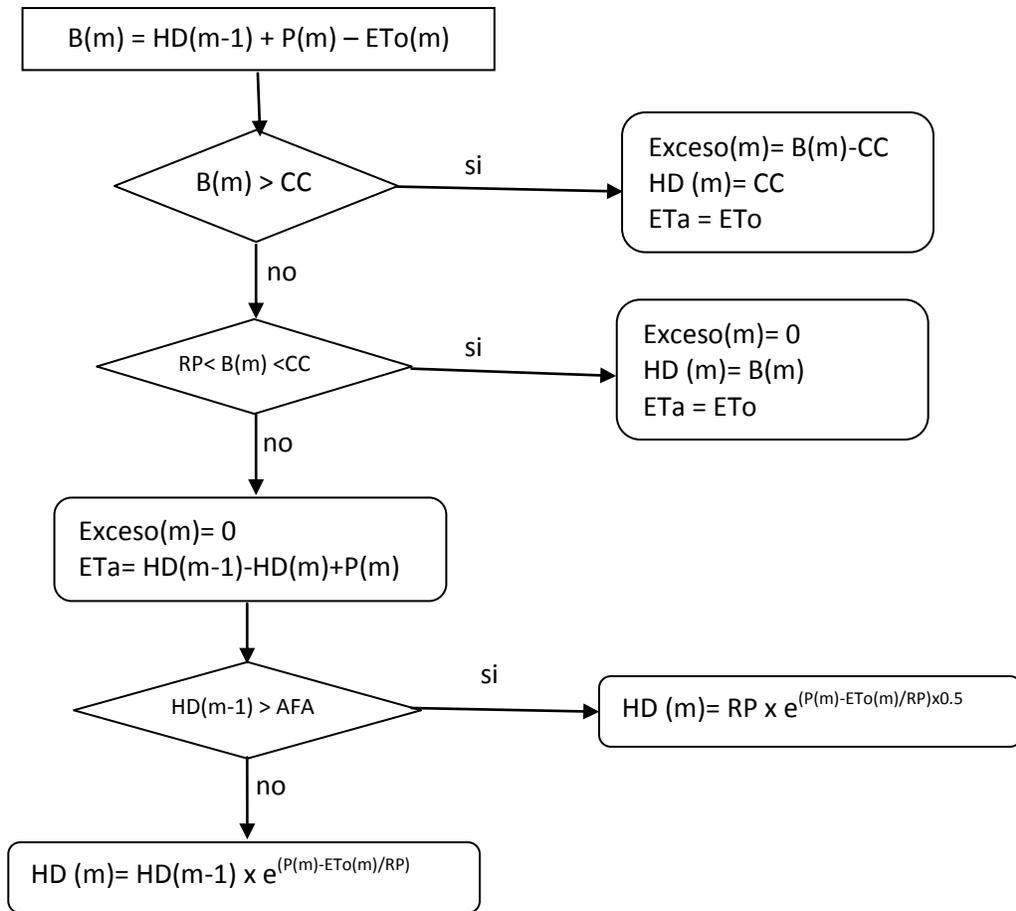
Requerimientos de riego en arroz:  $ET_{\text{cultivo}} + SAT + PERC + WL - HD$

Donde  $ET$  es la evapotranspiración del cultivo,  $SAT$  es el contenido de humedad en la saturación del suelo,  $PERC$  es la percolación diaria que fue asumida como 2.5 mm/día para tipos de suelos arcillosos en los cuales se cultiva el arroz tradicionalmente,  $WL$  es la lámina de agua necesaria para mantener en el arroz y  $HD$  la humedad disponible del suelo para el mes de siembra (Brouwer et al., 1989; Chapagain & Hoekstra, 2010).

**Cálculos y análisis comparativos:** Los cálculos realizados en la línea base fueron comparados con aquellos obtenidos para las determinaciones realizadas con la información climática predicha con los escenarios de cambio climático, para ver las diferencias y cambios en la disponibilidad hídrica para los cultivos y en la cuenca. Se debe destacar que las comparaciones son realizadas para el mismo escenario productivo de la actualidad y no se ha realizado un análisis de cambios en la aptitud de los cultivos al cambiar el régimen climático, esto debido a que con este esquema se busca evaluar la vulnerabilidad del actual escenario productivo en un escenario de cambio climático.

**Información espacial utilizada:** La información climática utilizada en este esquema metodológico consistió de las superficies interpoladas con resolución de 1 Km de la precipitación, temperatura media, máxima y mínima mensuales obtenidas de WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) (Hijmans et al. 2005), las cuales fueron descargadas en formato ESRI-GRID. Adicionalmente, en condiciones de cambio climático, fue utilizado un modelo ensamble para el escenario SRES-A2 del cuarto reporte del IPPC (IPPC 2007). Adicionalmente a la información climática, fue utilizado un modelo digital de elevación de terreno (DEM) con una resolución de 90 m suministrado por CIAT (Jarvis et al. 2008), junto a información de suelos y cobertura vegetal en cada cuenca. Finalmente, para la construcción de mapas de producción de cultivos fue utilizada información productiva a nivel municipal y/o distrital y/o cantonal en cada cuenca.

Figura 1. Esquema de cálculo para la estimación del balance hídrico en las condiciones naturales en las cuencas



Dónde: B(m) es el balance mensual, HD(m-1) es la humedad disponible del mes anterior, P(m) es la precipitación mensual, ETo es la evapotranspiración de referencia mensual, HA es la humedad aprovechable del suelo, AFA es el agua fácilmente aprovechable por las plantas, Exceso(m) es el aporte mensual al caudal en cada pixel como exceso de agua, HD(m) es la humedad disponible al final del mes, ETa es la evapotranspiración actual, RP es el punto de reducción a partir del cual se asume que la planta comienza a tener déficit hídrico y corresponde a la suma entre el PMP y el AFA.

(Adaptado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/watresafrika/index4.stm>)