

Impactos del cambio climático en cultivos andinos



Panorama Andino sobre Cambio Climático:
Vulnerabilidad y Adaptación en los Andes Tropicales

© 2012, CONDESAN, SGCAN

Secretaría General de la Comunidad Andina

Av. Aramburú - Cuadra 4, Esquina con Paseo de la República
San Isidro, Lima 27, Perú
Tel. +51 1 7106400 / Fax: +51 1 2213329
www.comunidadandina.org

Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina – CONDESAN

Oficina en Lima-Perú:
Mayorazgo 217, San Borja Lima 41
Tel. +511 6189 400

Oficina en Quito-Ecuador:
Germán Alemán E 12-28 y Juan Ramírez
Tel. +593 2 2469072/073

condesan@condesan.org
www.condesan.org

Coordinación general del Estudio Panorama Andino sobre Cambio Climático:

Francisco Cuesta
Coordinador de la Iniciativa de Estudios
Ambientales Andinos
CONDESAN
francisco.cuesta@condesan.org

María Teresa Becerra
Responsable del Área de Medio Ambiente
Secretaría General de la Comunidad Andina
mtbecerra@comunidadandina.org

Se permite la reproducción de este libro para fines no comerciales,
siempre y cuando se cite la fuente.

Cita sugerida:

Zapata.Caldas, E., Jarvis, A., Ramirez, J., Lau, C. 2011. Potenciales impactos del Cambio Climático en Cultivos Andinos. Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático. Decision and Policy Analysis Program (DAPA). CONDESAN, SGCAN. Lima-Quito.

Este documento forma parte del material suplementario del libro Panorama Andino sobre Cambio Climático: Vulnerabilidad y Adaptación en los Andes Tropicales, elaborado por CONDESAN en el marco del trabajo interinstitucional con la Secretaría General de la Comunidad Andina (SGCAN), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Centro de Datos para la Conservación Universidad Nacional Agraria La Molina, Imperial College of London, el Programa Regional ECOBONA de INTERCOOPERATION, y el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). La información contenida en este documento incorpora resultados de la discusión técnica de los autores y no representa necesariamente posiciones de CONDESAN o de la Secretaría General de la Comunidad Andina o de los Países Miembros.

Potenciales Impactos del Cambio Climático en Cultivos Andinos

EMMANUEL ZAPATA-CALDAS¹, ANDY JARVIS^{1,2}, JULIÁN RAMÍREZ^{1,2,3},
CHARLOTTE LAU²

¹ Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia / Decision and Policy Analysis Program (DAPA) ✉ emmanuelzapata@gmail.com; a.jarvis@cgiar.org

² CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, CCAFS / Decision and Policy Analysis Program (DAPA) ✉ c.lau@cgiar.org

³ Institute for Climatic and Atmospheric Science, School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK / Decision and Policy Analysis Program (DAPA) ✉ j.r.villegas@cgiar.org

RESUMEN

La evaluación de los impactos probables del cambio climático sobre la agricultura y la identificación de senderos de adaptación para hacer frente a dichos impactos en los Andes Tropicales, son elementos imprescindibles al momento de abordar un análisis que tenga como objetivo medir el grado de vulnerabilidad del sector agrícola. En este sentido, el actual documento se convierte en una evidencia concreta de los probables impactos, pero también oportunidades existentes para la agricultura de cara al futuro.

Inicialmente, se evaluó el impacto del cambio climático sobre 25 de los cultivos más importantes en los Andes Tropicales (desde Venezuela hasta Bolivia), y posteriormente, se hizo un análisis más detallado sobre cinco cultivos de entre los 25 iniciales. Se pudo concluir que el área potencial impactada negativamente en toda la región sería significativamente mayor a la impactada positivamente. Para el año 2050 los porcentajes de área potencial con pérdida de aptitud climática reportados en toda la región, según uno de los modelos de nicho ecológico usado en el análisis (EcoCrop), serían: 72.1% para café, 83.2% para fríjol, 64% para papa, 79.3% para tomate y 74.3% para trigo. Con tal situación se abriría una puerta de preocupación frente a la situación que enfrentaría el sector agrícola dentro de 40 años. Además, en términos de área cosechada los cultivos que se verían más afectados por los efectos del cambio climático en 2050 serían papa (645,474 hectáreas; representa un 14.7% de la cosecha actual) y café (1.5 millones de hectáreas, o 5.5% del área cosechada actual).

No obstante, de tomarse las medidas necesarias en la actualidad, los niveles de vulnerabilidad podrían ser menores. Como estrategia a mediano y largo plazo (10 a 40 años) se estima que un enfoque multidisciplinar (agronómico, económico, social) en el sector agrícola de los

Andes Tropicales, contribuiría en los emprendimientos de adaptación a los efectos del cambio climático. Para lograr esto, los gobiernos de los países de la región deberían invertir en (1) evaluación de impacto -por medio de trabajos como el presente-, (2) investigación y desarrollo tecnológico, y (3) extensión y transferencia tecnológica. Por otro lado, como estrategia de corto plazo, los gobiernos de los países de la región deberían pensar en apoyar a los pequeños agricultores mediante la creación de seguros agrícolas y estimular las actividades de extensión en universidades y demás instituciones involucradas en el tema del impacto del cambio climático sobre la agricultura, para así evitar el abandono de tierras agrícolas y propender por la creación de un modelo de desarrollo sostenible y contextualizado en el fenómeno de cambio climático.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	2
SELECCIÓN DE 25 CULTIVOS IMPORTANTES EN LOS ANDES TROPICALES	2
SELECCIÓN DE 5 CULTIVOS IMPORTANTES EN LOS ANDES TROPICALES	5
DATOS CLIMÁTICOS	6
<i>Línea base</i>	6
<i>Datos climáticos futuros</i>	7
MODELOS DE NICHOS ECOLÓGICO	9
<i>Maxent (Máxima entropía)</i>	9
<i>EcoCrop</i>	10
ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO PARA LOS CINCO CULTIVOS	12
FACTORES LIMITANTES	13
3. RESULTADOS	14
INCERTIDUMBRE EN DATOS CLIMÁTICOS DISPONIBLES PARA LOS ANDES TROPICALES.....	14
EVALUACIÓN DE IMPACTO PARA LOS 25 CULTIVOS	19
<i>Impactos sobre cultivos por país</i>	19
ANÁLISIS DE IMPACTO PARA LOS CINCO CULTIVOS	27
<i>Impactos sobre el cultivo de tomate</i>	33
<i>Impactos sobre el cultivo de trigo</i>	37
<i>Impactos sobre el cultivo de frijol</i>	41
<i>Impactos sobre el cultivo de café</i>	45
<i>Impacto sobre el cultivo de papa</i>	49
4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	53
SITUACIÓN A ESCALA REGIONAL	53
SITUACIÓN A ESCALA DE PAÍSES	54
<i>Colombia</i>	54
<i>Venezuela</i>	55
<i>Bolivia</i>	56
<i>Ecuador</i>	57
<i>Perú</i>	58
ESTIMACIÓN DE NÚMERO DE PERSONAS VIVIENDO BAJO LA LÍNEA DE POBREZA EN ÁREAS AFECTADAS POSITIVA Y NEGATIVAMENTE.	60
5. CONCLUSIONES.....	61
6. RECOMENDACIONES	62
LA GESTIÓN DEL RIESGO (CORTO PLAZO)	62
LA ADAPTACIÓN (LARGO PLAZO)	63
MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO	64
ENTONCES, ¿CUÁL SERÍA EL ROL DE LA POLÍTICA?	65
EN RESUMEN, LOS TRES MENSAJES CLAVES SON:	66
7. REFERENCIAS	67

Estudio sobre impactos de Cambio Climático en cultivos Andinos

1. INTRODUCCIÓN

Es evidente que el mundo entero se ha visto sorprendido por el comportamiento del clima en las últimas décadas. Una de las causas visibles de tal comportamiento ha sido el incremento progresivo de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) y su acumulación en la atmósfera durante el siglo XX. Este hecho ha puesto a la humanidad en una encrucijada para la cual no estaba preparada, o más bien, de la cual no era consciente. De allí que el tema del cambio climático se haya convertido en uno de gran relevancia en la actualidad. El sector agrícola de la región de los Andes Tropicales no estaría exento de los efectos del fenómeno climático y, es muy probable que la economía ligada del sector, se vea golpeada. Tal situación sería preocupante sabiendo que aproximadamente 129 millones de habitantes (22.7% de la población en América Latina) dependen de la agricultura en la región. Ante tal situación, resulta necesario generar proyecciones del impacto del clima sobre los cultivos que contribuyen al sustento alimentario y económico de la región, y así, evaluar tanto los efectos negativos como las posibles oportunidades.

Ante tales circunstancias, el presente trabajo se propuso evaluar el impacto probable del cambio climático sobre la distribución potencial (actual y futura) y el área cosechada de los 25 cultivos más importantes en la región, y posteriormente, en mayor detalle sobre cinco de entre estos; considerados representativos por grupo de alimentos: café (alto valor - perenne), fríjol (leguminosas), papa (tubérculos), tomate (hortalizas) y trigo (cereales). Se trabajó bajo los escenarios de emisiones (SRES, por sus siglas en inglés) A1B y A2, en los períodos 2010-2039 (“2020s”) y 2040-2069 (“2050s”), usando datos climáticos de un grupo representativo de Modelos de Clima Global (GCMs, por su sigla en inglés), diez para SRES-A1B y ocho para SRES-A2. Las proyecciones de distribución y aptitud climática potencial actual y futura se realizaron con EcoCrop (Hijmans et al. 2005a) –un modelo orientado hacia la predicción de un índice de aptitud climática de cultivos con base en parámetros básicos de crecimiento de la especie en cuestión (temperaturas y precipitaciones óptimas y absolutas)– y Maxent (Phillips et al. 2006) –un modelo de nicho ecológico usado para predecir la distribución de especies (probabilidad de ocurrencia)–. La utilización de estos dos modelos permitió cuantificar el porcentaje de área con aptitud climática de los cultivos, los posibles cambios en dicha aptitud, el porcentaje de área impactada positiva y negativamente, entre otros datos que se describirán en detalle más adelante.

El proceso llevó consigo diferentes limitaciones, por un lado carencia de información de ocurrencia de cultivos, y por otro, incertidumbre en las proyecciones de los modelos. Este problema podría llegar a solucionarse mediante una mayor inversión en investigación. Como recomendaciones de este análisis se debe mencionar que son necesarias acciones corto y largo plazo, de esa manera se priorizaría la inversión de recursos y se establecerían senderos

de adaptación desde tres posturas: gestión del riesgo (corto plazo), adaptación al cambio climático progresivo (largo plazo), y la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

SELECCIÓN DE 25 CULTIVOS IMPORTANTES EN LOS ANDES TROPICALES

La Tabla 1 comprende información de los 25 cultivos analizados, describiendo el rango altitudinal en el que por lo general suelen encontrarse. Las premisas para la selección los cultivos fueron dos; la primera, que se encontraran por encima de 500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y, la segunda, que fueran importantes para la región en términos de áreas cosechada, producción y redimiendo, además de ser cultivos importantes para comunidades minoritarias alto-andinas (e.g. comunidades indígenas). A partir de la información disponible para las variables área cosechada (ha), producción (toneladas) y rendimiento (hectogramos/hectárea) que reposa en FAOSTAT¹ para el año 2008 con datos de los países involucrados en el análisis (Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia), se seleccionaron los 21 cultivos más importantes (84%), bajo la condición de encontrarse en al menos cuatro de los países que hacen parte de la región (Figura 1).

Premisas de selección: 1) cultivos 500 msnm y 2) importantes para la región en términos de áreas cosechada, producción y redimiendo, y 3) importantes para comunidades minoritarias de los Andes Tropicales.

Los cuatro (4) los cultivos restantes (16%) fueron seleccionados por su importancia en el consumo de las comunidades indígenas alto-andinas, es el caso de quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd), el camote (*Ipomoea batatas*), la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y el ulluco (*Ullucus tuberosus*). La historia agrícola de las comunidades andinas sustenta la importancia de este tipo de cultivos en los Andes Tropicales, los mismos que también son conocidos como '*neglected or underutilized crops*' y tienen cualidades nutricionales únicas en la región, las mismas que a su vez pueden llegar a sustituir proteínas animales. Además, estos cultivos crecen en condiciones climáticas extremas (incluso sobre los 4,000 msnm), con muy bajas temperaturas (por debajo de 0 grados centígrados) y algunos son resistentes a la sequía (e.g. la quínoa crece hasta con 62 mm de lluvia durante su estación de crecimiento). Estos cultivos, también llamados 'sub-explotados' han crecido durante miles de años en los Andes, principalmente en los sitios elevados de la cordillera, pero también sobre los altiplanos.

¹ Fuente: disponible en línea: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>

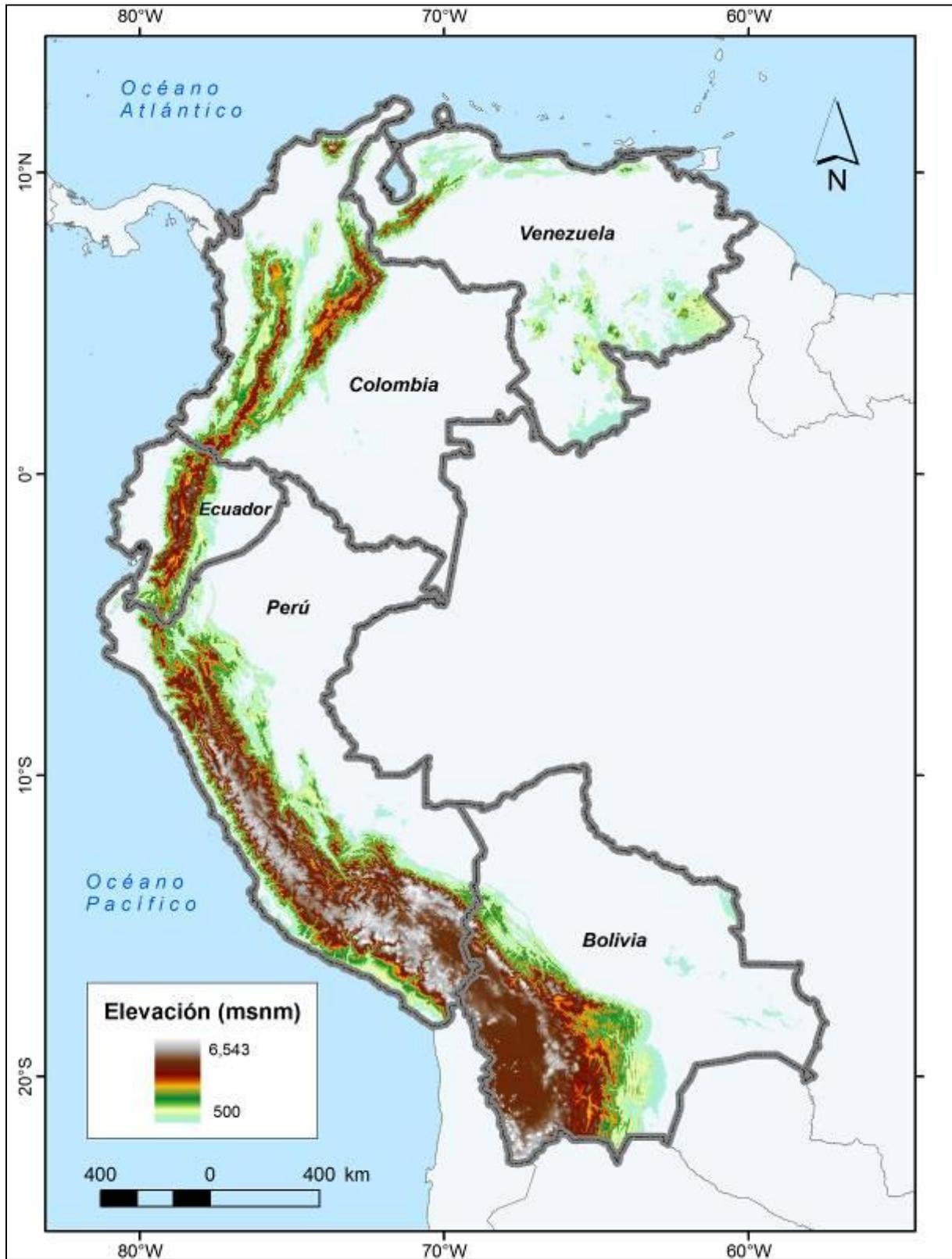


Figura 1. Área de estudio: Andes Tropicales

Tabla 1. Selección de 25 principales sistemas productivos en área de estudio

No.	Cultivo	Nombre científico	Rango altitudinal (msnm)
1	Arrachacha	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr.	600 – 3,500
2	Arroz	<i>Oryza sativa</i> L.	0 – 2,500
3	Arveja	<i>Pisum sativum</i> L.	2,700
4	Banano	<i>Musa</i> sp. L.	0 – 1,600
5	Café	<i>Coffea arabica</i> L.	1,300 – 1,800
6	Camote	<i>Ipomoea batatas</i> L.	0 – 2,800
7	Cebada	<i>Hordeum vulgare</i> L.	0 – 3,250
8	Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	0 – 3,000
9	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i> L.	3,000
10	Maíz	<i>Zea mays</i> L.	0 – 3,800
11	Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	0 – 2,100
12	Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	400 – 4500
13	Papaya	<i>Carica papaya</i> L.	0 – 2,100
14	Pepino	<i>Cucumis sativus</i> L.	2,000
15	Plátano	<i>Musa balbisiana</i> Colla	1,200
16	Quinoa	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.	4,000
17	Repollo	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> (L.) Alef.	1,000 – 2,000
18	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i> var. <i>sweet</i> (L.) Moench.	0 – 2,500
19	Soya	<i>Glycine max</i> L.	0 – 3,000
20	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	0 – 2,400
21	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.	3,000 - 4,570
22	Ulluco	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	0 – 4,000
23	Uvas	<i>Vitis vinifera</i> subsp. <i>vinifera</i> L.	1,200 – 2,000
24	Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	0 – 2,000
25	Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.	0 – 2,600

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) (2000):

*En el proceso de utilización de los recursos fito y zoogenéticos, el hombre fue domesticando diferentes plantas y animales. La gran variación ecológica de los Andes le proveyó de suficiente material para seleccionar granos, raíces, frutas, hortalizas y tubérculos adaptados a condiciones desde el nivel del mar hasta alturas sobre los 4000 m. La población trató de asegurarse alimentos para los períodos de escasez de productos silvestres. Este proceso, que debió iniciarse hace unos 6000 años, evolucionó hacia el desarrollo de etapas de producción cada vez más laboriosas (Eengel, 1982). Entre todas las especies domesticadas se considera que una de las más antiguas, junto al maíz, es la raíz de arrachacha (*Arracacia xanthorrhiza*) (Bukasov, 1930). Aún hoy se encuentran estas dos especies en valles, como los de Cajamarca, cultivadas en forma asociada.*

Lo anterior soporta la decisión de incluir cultivos no comerciales pero sí básicos para el sustento alimenticio de las comunidades sin acceso a los mercados. La importancia y uso que le han dado históricamente las comunidades andinas a los cultivos sub-utilizados es entonces una razón de peso para incluirlos en el análisis. Además, aunque en el documento de la FAO (2000) sólo se menciona uno de los cultivos seleccionados por su importancia para las comunidades alto andinas (arracacha), existe evidencia de que los demás como quínoa, ulluco y camote también son altamente consumidos en los Andes Tropicales, principalmente en países como Perú y Bolivia. Es el caso de la quínoa que según FAO (2001) es uno de los granos andinos que cubren las necesidades energéticas de las familias rurales con economías de subsistencia. Otros alimentos tales como los tubérculos (papa, oca, mashua y ulluco) también cumplen con esa tarea. En términos generales, son las familias de los estratos económicos bajo y muy bajo las mismas que consumen este tipo de alimentos, pues además se ser de fácil acceso para las comunidades alto-andinas, guardan el contenido nutricional necesario para una buena alimentación.

SELECCIÓN DE 5 CULTIVOS IMPORTANTES EN LOS ANDES TROPICALES

La Tabla 2 identifica los cinco cultivos seleccionados por su importancia en los Andes Tropicales. Esta selección se realizó dentro de los 25 cultivos más importantes para la región y seleccionando un cultivo por grupo de alimento. De esta manera se seleccionó: café como cultivo perenne (alto valor), frijol como legumbre, papa como tubérculo, tomate como hortaliza y trigo como cereal.

Tabla 2. Selección de 5 principales cultivos en área de estudio

No.	Cultivo	Nombre científico	Rango altitudinal (m.s.n.m.)
1	Café	<i>Coffea arabica</i> L.	1,300 - 1,800
2	Fríjol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	0 - 3,000
3	Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	400 - 4500
4	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	0 - 2,400
5	Trigo	<i>Triticum aestivum</i> L.	3,000 - 4,570

En términos generales, el número de puntos de evidencia registrados fue diferente para cada uno de los cinco cultivos: 14,141 para café, 16,883 para frijol, 2,838 para papa, 1,964 para tomate y 13,080 para trigo. Estos puntos fueron extraídos de la superficie de *Spatial Allocation Production Model* (SPAM), (You et al. 2000). SPAM es un modelo que permite mapear patrones de producción de cultivos usando un número reducido de datos de entrada específicos (por ejemplo extensión de área cultivada, población, elevación, rendimiento, zonas agroecológicas, entre otros). Los resultados de SPAM se presentan en grillas compuestas por píxeles de 5 km², por lo cual se tomaron los centroides de cada píxel para entrenar el modelo Maxent.

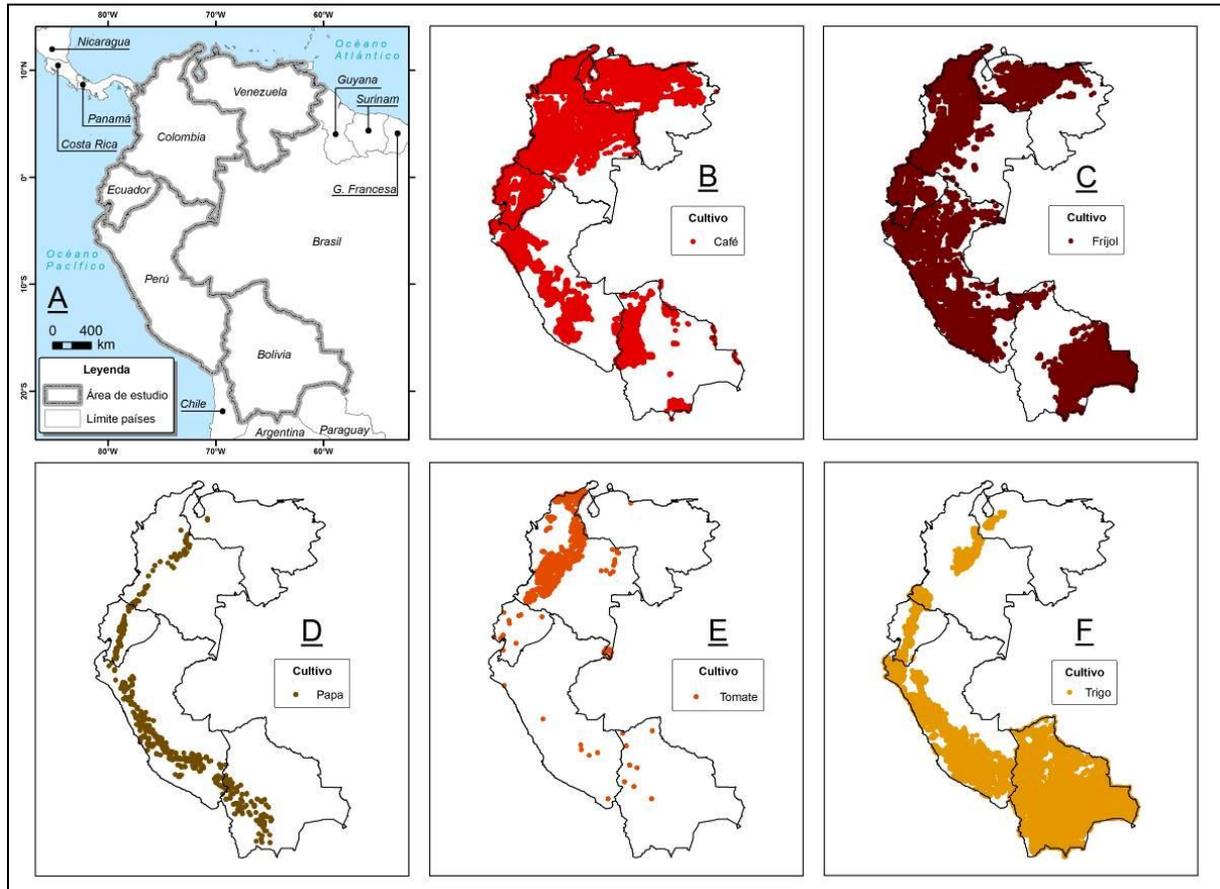


Figura 2. Área de estudio y puntos de evidencia de cultivos de Café, Fríjol, Papa, Tomate y Trigo

A. Área de estudio,

B. Café (0 °C - 29.2 °C y 0 mm - 10,131 mm),

C. Fríjol (-2.5 °C - 29.2 °C y 0 mm - 8,976 mm),

D. Papa (-0.2 °C - 23.8 °C y 14 mm - 2,549 mm),

E. Tomate (1.6 °C - 28.8 °C y 20 mm - 7,123 mm),

F. Trigo (-4.9 °C - 27.8 °C y 0 mm - 6,221 mm).

DATOS CLIMÁTICOS

LÍNEA BASE

Los datos históricos del clima se obtuvieron de la base de datos WorldClim (Hijmans et al. 2005b, disponible en www.worldclim.org). Estos datos representan promedios de largo plazo (1950-2000) de precipitación, y temperatura máxima, mínima y media mensuales, con una resolución original de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 km² en el Ecuador) y posteriormente fueron agregados hasta 5 arco-minutos (aproximadamente 10km² en el Ecuador) usando *bilinear interpolation*².

Hijmans et al. (2005b) usaron datos de cinco grandes bases de datos climáticas (*Global Historical Climatology Network [GHCN]*, *FAO*, *World Meteorological Organization [WMO]*, *CIAT*, y *R-HYdronet*) en adición a otras bases de datos de países como Australia, Nueva Zelanda, Ecuador, Perú, Bolivia, países nórdicos europeos, entre otros. Sumando un total de 47,554 estaciones con datos de precipitación, 24,542 estaciones

Los datos históricos del clima se obtuvieron de la base de datos WorldClim.

² Usa el valor de cuatro centros de celda (centroides) más cercanos para determinar el valor de la celda de salida. El nuevo valor de la celda de salida es la ponderación media de los cuatro valores de entrada.

con temperaturas medias y 14,835 con temperaturas mínimas y máximas, la base de datos que produjeron Hijmans et al. (2005b) es el conjunto de datos climáticos de mayor resolución espacial disponible a nivel mundial. Sobre los Andes Tropicales, la base de datos WorldClim presenta 3,958 estaciones para precipitación, 1,847 para temperatura media, 718 para temperatura máxima y 723 para temperatura mínima.

A partir de las variables mensuales, es posible derivar una serie de índices bioclimáticos (Tabla 3) que, en su mayoría, se encuentran altamente relacionados con el crecimiento, desarrollo fisiológico y biología de las especies de plantas tanto cultivadas como silvestres. Para tal efecto, se calcularon 19 variables (Busby 1991) que representan tendencias anuales (i.e. temperatura media anual, precipitación total anual), estacionalidad (por ejemplo rango de temperatura anual, estacionalidad de precipitación), y factores limitantes o extremos (por ejemplo temperaturas de los meses fríos o calientes del año, y precipitaciones de los meses más secos o húmedos).

Tabla 3. Índices bioclimáticos usados para la modelación

ID	Variable
Bio 1	Temperatura media anual
Bio 2	Rango de temperatura diurno medio (media todos los meses (Temp. Máxima - Temp. Mínima))
Bio 3	Isotermalidad (Bio2 / Bio7) (* 100)
Bio 4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar * 100)
Bio 5	Temperatura máxima del mes más caliente
Bio 6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio 7	Rango de temperatura anual (Bio5 - Bio6)
Bio 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio 9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio 10	Temperatura media del trimestre más frío
Bio 11	Temperatura media del trimestre más caliente
Bio 12	Precipitación total anual
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más caliente
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

DATOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Un modelo de circulación global (GCM) es un modelo computacional que predice cuáles serán los patrones del clima en un número determinado de años en el futuro usando ecuaciones de movimiento como base del modelo de predicción climática (NWP- *Numerical weather prediction model*), con el propósito de modelar numéricamente los cambios en el clima como un resultado de cambios lentos en algunas condiciones de frontera y/o límite (tales como la constante solar) o parámetros físicos (como la concentración de gases de efecto invernadero). El modelo se basa en una celda de tres dimensiones y en la transferencia de materia y energía entre celdas. Una

Un GCM predice cuáles serán los patrones del clima en un número determinado de años en el futuro.

vez la simulación se ejecuta, se pueden determinar un número de patrones climáticos; desde corrientes oceánicas y de viento hasta patrones en precipitación y tasas de evaporación que afectan, por ejemplo, niveles de crecimiento de las plantas. En el presente estudio, se usaron los resultados de clima futuro correspondientes a realizaciones de diferentes GCMs para dos escenarios de emisiones: SRES-A2 (8 GCMs) y SRES-A1B (10 GCMs), representativos del cuarto reporte de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2001, 2007).

El IPCC (2000) explica que el escenario de emisiones A1B tiene como característica especial el involucramiento de alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía, en este caso la utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (refiriéndose a equilibrada cuando no se dependa excesivamente de un tipo de fuente de energía y en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares). En otras palabras, no existe en este escenario un uso excesivo de combustibles fósiles. Por su parte, el escenario de emisiones A2 (*bussines as usual*) tiene como característica principal el describir un mundo muy heterogéneo. Entre ellas están:

- La autosuficiencia y la conservación de las identidades locales.
- Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento.
- Un desarrollo económico orientado básicamente a las regiones.

Los datos climáticos usados para el cálculo de la adaptabilidad y la evaluación del impacto del clima sobre los cinco cultivos provinieron del portal de datos del IPCC. Se trabajó bajo los SRES-A1B y SRES-A2, en los períodos 2010-2039 (“2020s”) y 2040-2069 (“2050s”), usando datos climáticos de un grupo representativo de GCMs, diez para SRES-A1B y ocho para SRES-A2. La Tabla 4 ilustra el grupo que desarrolló el modelo, el país de donde provienen, el identificador del modelo y el tamaño original del *grid* (entiéndase como grilla) de la simulación climática:

Tabla 4. Modelos de clima usados para la proyección de la aptitud climática con EcoCrop y Maxent en los periodos 2020 y 2050 de los SRES A1B y A2

No.	Grupo que desarrolló el modelo	País	MODEL-ID	GRID
1	Bjerknes Centre for Climate Research	Noruega	BCCR-BCM2.0	128x64
2	CSIRO Atmospheric Research	Australia	CSIRO-Mk2.0	64x32
3	CSIRO Atmospheric Research	Australia	CSIRO-Mk3.0	192x96
4	US Dept. of Commerce, NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	GFDL-CM2.0	144x90
5	US Dept. of Commerce, NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	GFDL-CM2.0	144x90
6	NASA / Goddard Institute for Space Studies	USA	GISS-AOM	90x60
7	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science,	Rusia	INM-CM3.0	N/A
8	Center for Climate System Research, National Institute for Environmental Studies, Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)	Japón	MIROC3.2 (hires)	320x16 0
9	Center for Climate System Research, National Institute for Environmental Studies, Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)	Japón	MIROC3.2(med res)	128x64
10	National Center for Atmospheric Research	USA	NCAR- CCSM3.0	N/A

MODELOS DE NICHO ECOLÓGICO

Existe una amplia evidencia de la utilidad de los modelos de nicho ecológico en la predicción de la adaptabilidad de cultivos (Laderach et al. 2005, 2006b, 2006a). Por tal razón, se seleccionaron dos modelos para el análisis; EcoCrop, por la posibilidad de involucrar parámetros de crecimiento del cultivo, y Maxent, por ser un algoritmo robusto de ajuste de distribuciones probabilísticas con demostrado buen desempeño bajo un diverso rango de condiciones (Phillips y Dudik, 2008; Elith et al. 2006; Hijmans y Graham, 2006). Maxent se considera, generalmente, como el modelo más preciso (Elith et al. 2006; Hijmans y Graham, 2006). Por su parte, EcoCrop (Hijmans et al. 2005a) es un modelo muy útil para situaciones en las que no hay datos de evidencia disponibles para un determinado cultivo y el investigador, por tanto, se ve forzado a usar rangos ambientales en lugar de puntos de evidencia o resultados de pruebas agronómicas. Los resultados, sin embargo, son muy generales y pueden sólo ser usados para describir tendencias generales en tiempo y espacio. El modelo, sin embargo, puede ser calibrado usando puntos de presencia absoluta de un cultivo mediante una metodología específica (CIAT, datos no publicados), aumentando su desempeño considerablemente.

Se seleccionaron EcoCrop por la posibilidad de involucrar parámetros de crecimiento del cultivo, y Maxent por ser un algoritmo robusto de ajuste de distribuciones probabilísticas

MAXENT (MÁXIMA ENTROPÍA)

El método de máxima entropía es una metodología general para hacer predicciones o inferencias a partir de información incompleta (Phillips et al. 2006; Phillips y Dudik, 2008). La idea es estimar una probabilidad objetivo para encontrar la probabilidad de la distribución de máxima entropía, sujeto a un conjunto de restricciones que representan información incompleta sobre la distribución objetivo. Similares a la regresión logística, Maxent usa pesos para las variables que explican la distribución objetivo, estos pesos evitan la sobre-estimación de las probabilidades (*overfitting*) cuando hay alta correlación entre los predictores, o cuando el número de predictores es alto (por ejemplo descarta información redundante) con respecto al número de puntos de entrenamiento. La distribución de probabilidad final de Maxent es la suma de cada variable de peso dividido por una reducción constante para garantizar que los rangos de probabilidad de valores sean de 0 a 1. El programa se inicia con una distribución de probabilidad uniforme y de forma iterativa altera un peso a la vez para maximizar la probabilidad de llegar a la distribución de probabilidad óptima. En términos prácticos, el modelo usa datos de presencia (o presencia y ausencia) para hallar una distribución probabilística de máxima entropía alrededor de un número de variables predictoras (generalmente ambientales). Estas distribuciones pueden proyectarse a cualquier escenario temporal y/o espacial diferente al de línea base.

Maxent estima una probabilidad objetivo para encontrar la probabilidad de la distribución de máxima entropía.

ECOCROP

Es un modelo mecanístico implementado por Hijmans et al. (2005a) en el software DIVA-GIS. El modelo trabaja definiendo, en primera instancia diez parámetros de crecimiento del cultivo:

- **Gmin:** duración mínima de la estación de crecimiento (días).
- **Gmax:** duración máxima de la estación de crecimiento (días).
- **Tkill:** temperatura a la que el cultivo detiene su desarrollo (°C).
- **Tmin:** temperatura mínima absoluta en que el cultivo tiene un desarrollo marginal (°C).
- **Topmin:** temperatura óptima mínima del cultivo (°C).
- **Topmax:** temperatura óptima máxima del cultivo (°C).
- **Tmax:** temperatura máxima absoluta en que el cultivo tiene un desarrollo marginal (°C).
- **Rmin:** precipitación mínima absoluta en que el cultivo crece (mm).
- **Ropmin:** precipitación mínima óptima de crecimiento del cultivo (mm).
- **Ropmax:** precipitación máxima óptima de crecimiento del cultivo (mm).
- **Rmax:** precipitación máxima absoluta en que el cultivo crece (mm).

Entre los umbrales absolutos y óptimos hay un rango de condiciones de "aptitud" climática (de 1 a 99), y entre las condiciones óptimas hay condiciones muy aptas para el crecimiento del cultivo ("aptitud" climática de 100%). El modelo evalúa por separado precipitación y temperatura, y luego las combina multiplicando los resultados. El modelo inicialmente se calibra con información de localización de los sistemas productivos a analizar (para la obtención de parámetros de crecimiento) y luego se usa para establecer una línea base y para proyectar la "aptitud" climática hacia el futuro. Es conceptualmente útil para detectar los cambios en los nichos principales del cultivo y para tomar decisiones regionales de cara al tipo de enfoque y a los lugares específicos en donde los cultivos tienen mayores impactos negativos, de tal manera que puede desarrollarse una aproximación sitio-específico para evaluar impactos.

EcoCrop identifica áreas con condiciones de "aptitud" climática.

Proceso del modelamiento con EcoCrop

Para la obtención de los mapas de aptitud climática actual y futura de los años 2020 y 2050 se realizó un procedimiento basado en la extracción de información climática (temperatura y precipitación) de los puntos de evidencia donde los cultivos bajo análisis estaban ubicados. El proceso seguido para la modelación consistió de cinco pasos:

1. *Creación de índices bioclimáticos:* a partir de los puntos de evidencia de los cultivos de fríjol, papa, tomate, trigo y café (cuya estaciones de crecimiento tienen una duración de 3(fríjol), 4 (papa y tomate), 6 (trigo) y 12 (café) meses), se extrajo información climática para cada estación de crecimiento:
 - Temperatura media de los **tres** meses más calientes y fríos, y precipitación de los **tres** meses más húmedos y secos - fríjol.
 - Temperatura media de los **cuatro** meses más calientes y fríos, y precipitación de los **cuatro** meses más húmedos y secos – papa y tomate.

- Temperatura media de los **seis** meses más calientes y fríos, y precipitación de los **seis** meses más húmedos y secos - trigo.
- Para café se usaron las variables bio1 (temperatura media anual) y bio12 (precipitación anual) de WorldClim.

Estos nuevos índices bioclimáticos fueron calculadas a partir de los promedios mensuales las de temperaturas mínimas, medias y máximas, y de la precipitación de la línea base climática obtenida de WorldClim. Para esto, se utilizó un programa desarrollado en *Arc Macro Lengauaje* (AML) que calculó las condiciones de las variables bioclimáticas para cada uno de los cultivos en cuestión. Por su parte, para el análisis del cultivo de café por su condición de cultivo perenne, fueron utilizadas las variables bioclimáticas: Temperatura media anual (**bio 1**), y Precipitación total anual (**bio 12**).

2. *Extracción de datos*: consistió en extraer el valor de temperatura y precipitación (bioclimáticos mencionados atrás) correspondiente a cada punto.
3. *Cálculo de parámetros mediante análisis de frecuencias* (Figura 3): se tomó como nicho óptimo el rango de datos de mayor frecuencia. Se calculó el promedio de los valores extraídos para cada variable y a partir de ahí se definió como nicho óptimo el 20% de los datos a cada lado del promedio y el 40% de los datos a cada lado del promedio para el nicho marginal.

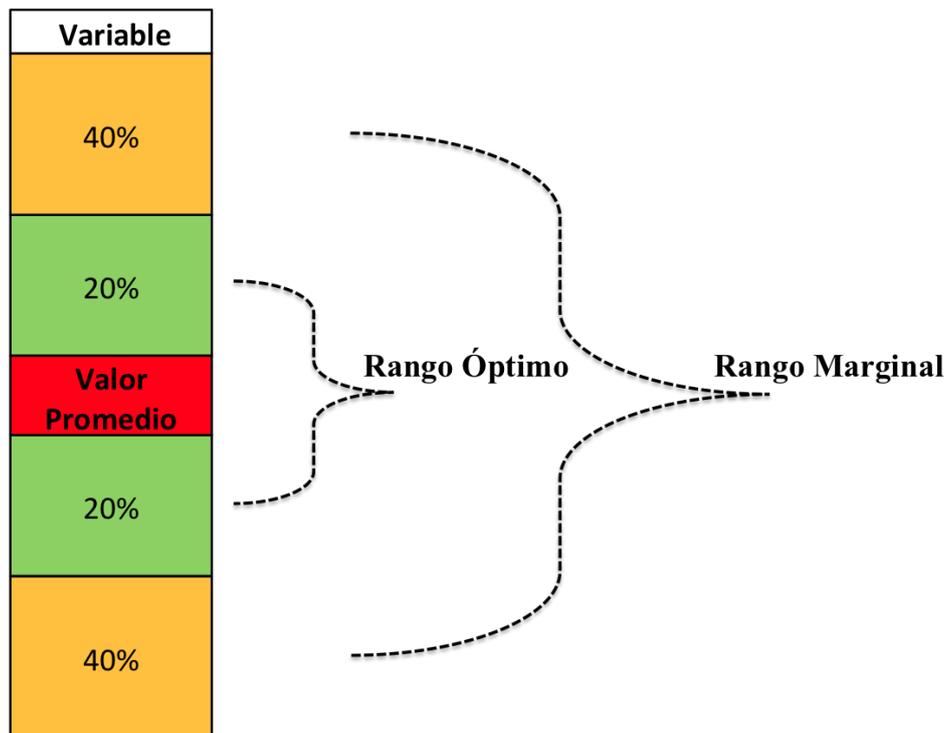


Figura 3. Ejemplo de cálculo de parámetros mediante análisis de frecuencias

En situaciones donde el número de datos no permitió seleccionar el 40% y 80% de datos alrededor del promedio, se procedió a tomar como nicho óptimo el rango de datos que

más frecuencias presentara, lo mismo se hizo para calcular el nicho marginal, tomando como límites las clases que más frecuencias presentaran después de los límites óptimos.

4. *Calibración de parámetros*: se ajustaron los parámetros extraídos de los índices bioclimáticos, uncialmente para el clima actual (WorldClim). El procedimiento consistió en realizar algunas corridas iniciales y por inspección visual corregir las predicciones que no se ajustaran bien a los puntos, posteriormente se realizaron correcciones en los parámetros hasta que la predicción se ajustó (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de crecimiento por cultivo (Temperaturas en Celsius y precipitación en mm)

Parámetro/Cultivo	Café	Fríjol	Papa	Tomate	Trigo
Gmin	365	90	120	120	180
Gmax	365	90	120	120	180
Tkill	0	0	-8	0	0
Tmin	11.0	13.6	3.8	15.7	3.4
TOPmin	15.6	17.5	12.4	21.3	8.0
TOPmax	24.8	23.1	17.8	24.8	17.2
Tmax	26.4	25.7	24.0	27.0	21.7
Rmin	294	200	150	54	383
ROPmin	991	362	251	277	449
ROPmax	2,540	450	327	1,242	1,231
Rmax	3,315	710	786	1,540	1,666

5. *Corridas para clima futuro 2020 y 2050*: una vez calibrados los parámetros de temperatura y precipitación para el clima actual se realizaron las corridas para obtener las predicciones de clima futuro.

ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO PARA LOS CINCO CULTIVOS

Para el análisis socioeconómico de los impactos a 2050, fue necesario acoplar los resultados proyectados por EcoCrop a la información existente de los cultivos bajo análisis. Por tal razón fueron aplicados dos filtros, uno sobre los datos proyectados por EcoCrop (distribución potencial actual) y otro sobre los datos de SPAM. El primer filtro consistió en determinar las áreas de los cultivos cuya aptitud climática estaba por encima de 50%. El segundo, se aplicó sobre los datos de SPAM, en este caso, área cosechada en hectáreas para el año 2000, donde cada píxel tiene una resolución de 10km². El filtro consistió en estimar las áreas donde más de 0.5% de la superficie de cada píxel presentaba área cosechada del cultivo. Una vez aplicados los filtros, se superpusieron los resultados de EcoCrop con los de SPAM para identificar las áreas donde coincidiera la distribución real del cultivo (SPAM) con la distribución potencial (EcoCrop) y así tener estimaciones más precisas. Al no existir datos de SPAM para el cultivo de tomate³, sólo fue aplicado el primer filtro y no se hicieron los demás cálculos para este cultivo, pues sin datos de SPAM se sobre-estimarían las cifras.

Se llegó a estimaciones de ganancias y pérdidas de producción, además del valor económico de la producción.

³ Se espera realizar con el mismo proceso con datos de otra fuente: Monfreda et al. (2008)

Después se realizó una actualización de los datos de EcoCrop (actual) al año 2007 con el objetivo de comparar las estimaciones de hectáreas con pérdidas y ganancias de aptitud climática con los datos de FAOSTAT 2007.

El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$Ajuste = EcoCrop * \frac{FAOSTAT(2000)}{SPAM} * \frac{FAOSTAT(2007)}{FAOSTAT(2000)}$$

$$Ajuste = \text{áreas ecocrop/spam}$$

Luego se multiplicó el ajuste⁴ (al 2007) por las estimaciones de EcoCrop con el objetivo de tener una predicción más real del área cosechada que ganaría o perdería aptitud climática. Utilizando el resultado se pudo llegar a estimaciones de las ganancias y pérdidas de producción (basado en el rendimiento promedio por hectárea en 2005-2007) y del valor de producción (basado en el precio promedio de 2005-2007, expresado en dólares internacionales de 1999-2001, la misma unidad que usa FAOSTAT).⁵ En todos los casos, se decidió usar datos de 2007 o anteriores, en vez de datos más recientes, debido a la crisis de alimentos ocurrida entre 2007-2008 y los choques resultantes en los precios a raíz de tal coyuntura.

Después se compararon las ganancias y pérdidas esperadas a 2050 con los datos reales obtenidos de FAOSTAT 2005-2007 para determinar si, a fin de cuentas, los resultados serían positivos o negativos, y finalmente estimar la magnitud del impacto. De nuevo se tuvo en cuenta el área cosechada (ha), producción (t) y valor económico de la producción (dólar estadounidense), se midió el impacto relativo (%) de estas ganancias y se determinó si los cambios proyectados constituirían un impacto substancial ensobre la situación actual. Se debe anotar que estos impactos potenciales no tomaron en cuenta el valor agregado pos-cosecha, por ejemplo por secar y tostar café.

Además, se calculó el porcentaje de personas bajo la línea de pobreza (estimada en USD\$2.00 diarios). Esto se hizo a partir información existente a nivel global expresada en una grilla cuya resolución espacial de 5km x 5km. Esta información se derivó de un juego de datos calculados a través de técnicas de Estimación de Área Pequeña de Pobreza e Inequidad. Las medidas son derivadas de la combinación de censos y encuestas usados para mapear la pobreza en varios países alrededor de mundo. La colección de datos fue producida por *Columbia University Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)* en colaboración con un número de proveedores externos de datos⁶.

FACTORES LIMITANTES

Elementos como la incertidumbre de los datos climáticos, carencia de datos de ocurrencia de cultivos, probables inconsistencia en las fuentes de datos de cultivos, entre otros, fueron algunos de los limitantes en el análisis y se comentaran brevemente en esta sección.

⁴ En los casos de fríjol en Ecuador y trigo en Venezuela se usaron datos de FAOSTAT 2006.

⁵ En este documento todas las cifras en dólares usan la misma línea base (1999-2001).

⁶ Información disponible: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/povmap/atlasMedia.jsp>

Como se mencionó antes, el número de puntos registrados fue diferente para los cinco cultivos: 14,141 para café, 16,883 para frijol, 2,838 para papa, 1,964 para tomate y 13,080 para trigo. Se observa además que algunos puntos de evidencia están muy concentrados sobre uno o dos países y otros no tienen mucha representatividad sobre el conjunto de países, es el caso de tomate, indicando cierto nivel de sesgo geográfico (Figura 2). Esto podría llevar a una importante auto-correlación espacial, afectando el desempeño de los modelos. Debido a la posibilidad de un sesgo, las conclusiones que de la aplicación de los modelos propuestos se deriven, principalmente para Maxent y en el caso del presente estudio, deberían limitarse únicamente a los países que concentran los puntos de evidencia. Los resultados, por tanto, podrían estar sub-estimando tanto la presencia actual de los cultivos, como el impacto del cambio climático sobre dicha presencia.

Los resultados de Maxent podrían estar sub-estimando tanto la presencia actual de los cultivos, como el impacto del cambio climático dicha presencia

Por su parte y en relación con los datos climáticos, el cuarto reporte del IPCC se basó en los resultados de 21 GCMs, cuyos datos están disponibles en la página web del IPCC (www.ipcc-data.org), o directamente en las diferentes páginas web de las instituciones que desarrollaron cada uno de los modelos (la página del *World Climate Research Programme* (WCRP) *CMIP3 multi-model database*, también provee información de los modelos. No obstante, la resolución espacial original de los resultados de cada GCM es inapropiada para analizar los impactos del cambio climático en la agricultura dado que en casi todos los casos las celdas GCM miden más de 100km², lo que se convierte en un problema, especialmente en paisajes heterogéneos como los presentados en los Andes Tropicales, donde, en algunos lugares una celda GCM puede cubrir el rango completo de variabilidad de un cultivo.

3. RESULTADOS

INCERTIDUMBRE EN DATOS CLIMÁTICOS DISPONIBLES PARA LOS ANDES TROPICALES

Para el cálculo de la varianza existente para 10 GCMs de SRES-A1B y 8 de SRES-A2 se realizó un corte de los datos climáticos con la máscara⁷ de los Andes Tropicales. La máscara está compuesta por la unión de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Como se mencionó antes, de los datos originales existentes para los dos escenarios de emisiones (23 GCMs para SRES-A1B y 18 GCMs para SRES-A2) se seleccionaron 10 GCMs del escenario A1B y 8 del A2 a razón de la disponibilidad de datos de temperatura mínima y máxima para dichos GCMs, datos requeridos para correr EcoCrop y Maxent. La resolución de las variables fue de 5 arco-minutos (~ 10 km² en el Ecuador). En otras palabras, para correr los modelos de nicho ecológico era necesario tener las variables temperaturas mínima, máxima y media, además de precipitación para cada mes. Posteriormente para cada píxel de set completo (23, 18 GCMs) y (8,10 GCMs) se redujo se calculó el promedio, máximo, mínimo y rango.

El rango de variabilidad de la temperatura para la selección de modelos indica que las temperaturas altas se localizarían en la intersección entre Colombia, Ecuador y Perú, además de sobre el nororiente, oriente y suroccidente de Bolivia.

⁷ Archivo formato ráster de datos climáticos para área específica de análisis (Andes Tropicales).

Se observan en la fila superior de la Figura 3 cuatro mapas con datos de los 23 GCMs originales: (A) temperatura media (promedio), (B) temperatura media (rango mínimo), (C) temperatura media (rango máximo), (D) variación temperatura (promedio). La fila de abajo muestra lo mismo pero usando la selección de 10 GCMs del escenario A1B, para los cuáles había información completa de temperatura mínima y máxima. Lo mismo acontece con la Figura 4, la diferencia radica en que esta presenta resultados para precipitación, esto es: (A y E) precipitación media (promedio), (B y F) precipitación media (rango mínimo), (C y G) precipitación media (rango máximo), (D y H) variación precipitación (promedio).

Las Figuras 4 y 5 comparan las anomalías del conjunto completo de modelos (23 GCMs en total) y el conjunto de modelos seleccionados (9 GCMs), en ambos casos para el año 2050 y el SRES-A1B. En la Figura 4 se observa como la temperatura media (A y E) aumentaría hasta 2.9 °C en ambos conjuntos de modelos. Las diferencias frente al rango mínimo de la temperatura media (B y F) referente a los valores mínimos (< 1.4 °C) estarían sobre el occidente de la región de los Andes Tropicales y, los más altos (2.1 °C – 2.2 °C), sobre suroccidente y noroccidente de la región. Por su parte, el rango máximo de la temperatura media presentaría una distribución similar en ambos grupos de modelos, diferenciándose en la cantidad de área involucrada para el grupo completo de modelos (C), la cual sería mayor que la presente en la selección de modelos. Las zonas involucradas en el rango máximo de temperatura media (3.6 °C – 4.2 °C) serían principalmente occidente de Venezuela, oriente de Colombia, norte de Ecuador, norte y oriente de Perú, y nororiente, oriente y suroccidente de Bolivia. Por otro lado, el rango de variabilidad para el grupo completo de modelos (D) indica que las temperaturas más bajas estarían sobre el norte Colombia y occidente de Ecuador y Perú, mientras que el rango de variabilidad de la temperatura para la selección de modelos (H) indica que las temperaturas altas se localizarían en la intersección entre Colombia, Ecuador y Perú, además de sobre el nororiente, oriente y suroccidente de Bolivia.

Por el lado de las precipitaciones (Figura 5), mientras para el grupo completo de modelos (A) las zonas con mayor precipitación media anual (entre 4.1 mm y 8.0 mm) están sobre el suroccidente y sur de Colombia, así como en todo Ecuador, y norte y sur de Perú, para la selección de modelos (E), los mayores valores de precipitación media anual estarían sobre el occidente y sur de Colombia, sur de Ecuador y noroccidente de Perú.

El rango mínimo de precipitación media indica que para el grupo completo de modelos (B) las zonas con valores bajos (< -45mm) ocuparían nororiente de Colombia, así como el centro de Ecuador, mientras que para la selección de modelos (F) no existirían áreas con tal rango, pero sí dentro del rango (-24mm – -15mm), ahí se verían involucrados el norte, centro y occidente de Colombia y noroccidente de Perú. En cuanto al rango máximo de precipitación media para el grupo completo de modelos (C) cabe decir que los valores altos se concentrarían (25.1mm – 46mm) en el centro y suroccidente de Colombia, y sur de Perú, mientras que para la selección de modelos (G) en el sur de Perú. Por su parte, el rango de variación de la precipitación media indica que para el grupo completo de modelos Colombia y Ecuador concentrarían las zonas con valores altos (35.6mm – 102mm), mientras que para la selección de modelos Colombia se vería involucrada como contenedor de áreas en el rango (35.6mm – 55.5mm).

El rango de variación de la precipitación media indica que para el grupo completo de modelos Colombia y Ecuador concentrarían las zonas con valores altos (35.6mm – 102mm), mientras que para la selección de modelos Colombia se vería involucrada como contenedor de áreas en el rango (35.6mm – 55.5mm).

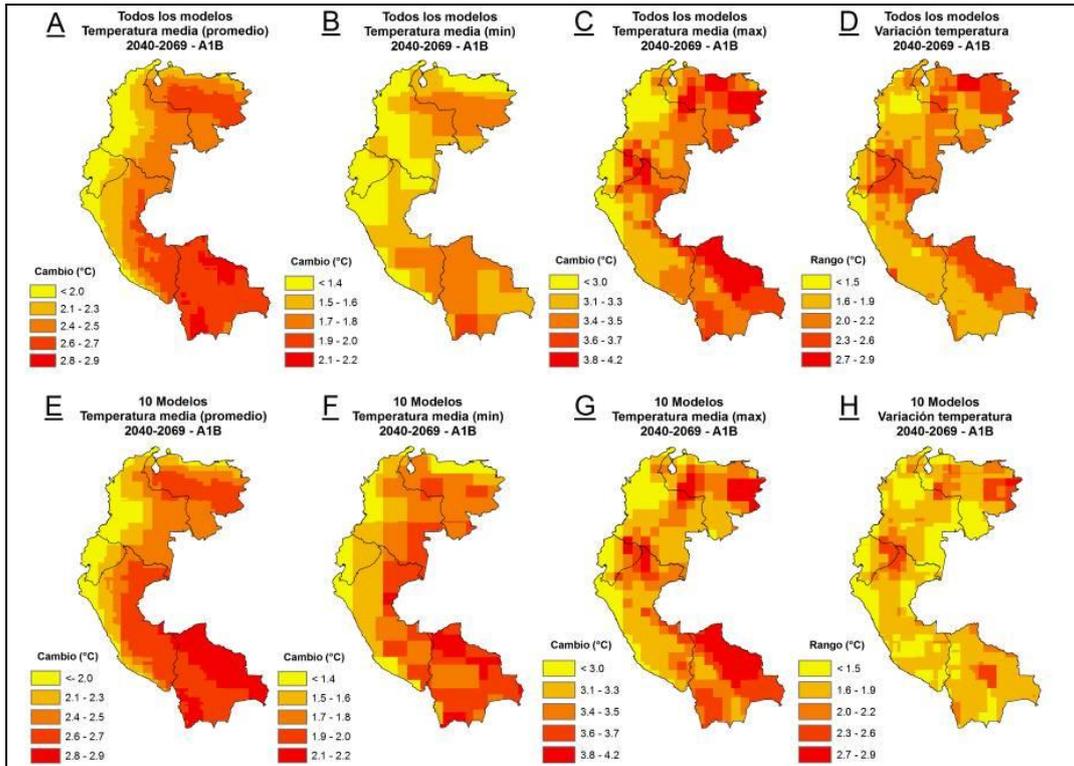


Figura 4. Comparación de anomalías entre todos los modelos (23) y selección (10) en 2050 - SRES-A1B:

(A y E) temperatura media (promedio), (B y F) temperatura media (rango mínimo), (C y G) temperatura media (rango máximo), (D y H) variación temperatura (promedio).

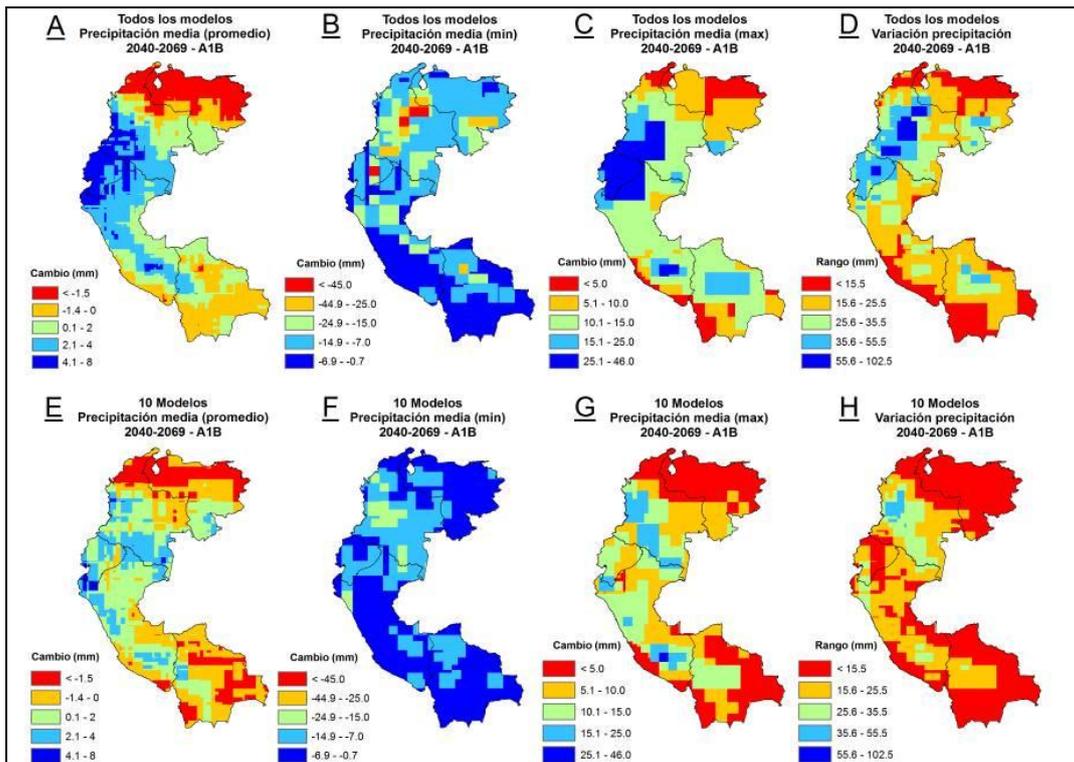


Figura 5. Comparación de anomalías entre todos los modelos (23) y selección (10) en 2050 - SRES-A1B:

(A y E) precipitación media (promedio), (B y F) precipitación media (rango mínimo), (C y G) precipitación media (rango máximo), (D y H) variación precipitación (promedio).

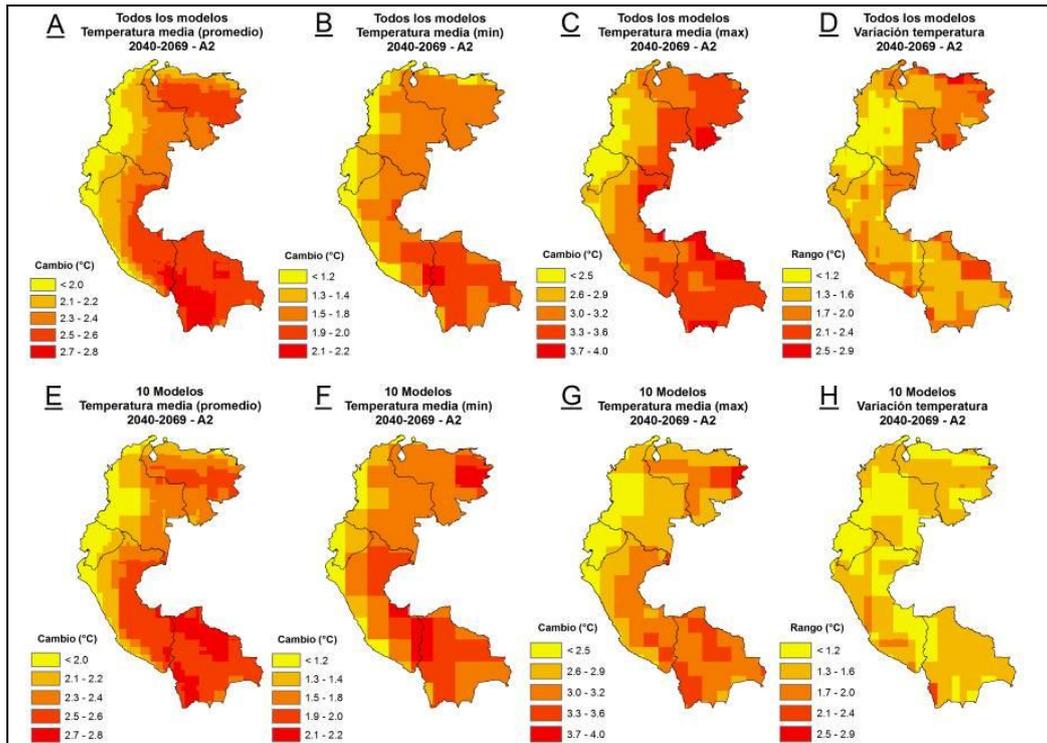


Figura 6. Comparación de anomalías entre todos los modelos (23) y selección (10) en 2050 - SRES-A2

(A y E) temperatura media (promedio), (B y F) temperatura media (rango mínimo), (C y G) temperatura media (rango máximo), (D y H) variación temperatura (promedio).

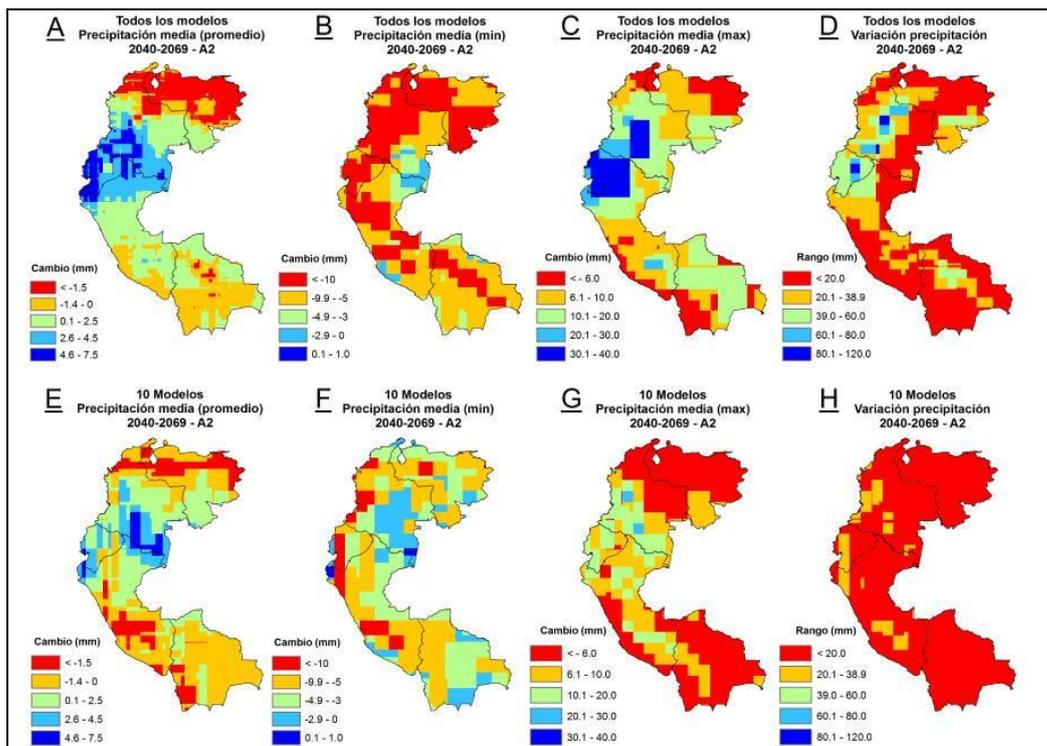


Figura 7. Comparación de anomalías entre todos los modelos (23) y selección (10) en 2050 - SRES-A2

(A y E) precipitación media (promedio), (B y F) precipitación media (rango mínimo), (C y G) precipitación media (rango máximo), (D y H) variación precipitación (promedio).

Tabla 6. Porcentaje de área con pérdida e incremento de adaptabilidad para los 25 cultivos

Número cultivos	SRES-A1B				SRES-A2			
	2020		2050		2020		2050	
	P	I	P	I	P	I	P	I
1 – 3	51%	64%	32%	49%	51%	65%	34%	51%
4 – 6	40%	30%	53%	46%	39%	30%	42%	36%
7 – 16	9%	6%	14%	6%	10%	5%	25%	13%

P: pérdida; I: incremento

Las Figura 6 y 7 comparan las anomalías del conjunto completo de modelos (18 GCMs en total) y el conjunto de modelos seleccionados (9 GCMs), en ambos casos para el año 2050 y el SRES-A2. La temperatura media (A y E) aumentaría hasta 2.8 °C en ambos conjuntos de datos (Figura 6). Para los dos grupos de modelos (B y F) las diferencias observadas frente al rango mínimo de temperatura media estarían sobre el norte de Perú y oriente de Venezuela, zonas donde la selección de modelos presentaría amplitud de zonas dentro del rango 2.1 °C – 2.2 °C. Por su parte, el rango máximo de temperaturas media sí presentaría variaciones importantes, principalmente sobre el occidente de los Andes Tropicales, dado que es en esa zona donde el grupo completo de modelos indica valores que van entre 3.3 °C y 4.0 °C, mientras que para la selección de modelos, las zonas con valores altas se distribuyen entre el sur de Perú, suroccidente y nororiente de Bolivia y oriente de Venezuela. Ahora, el rango de variabilidad para el grupo completo de modelos (D) indica que las temperaturas más bajas estarían sobre Colombia y Ecuador, mientras que las temperaturas altas se localizarían el oriente de Bolivia.

Por el lado de las precipitaciones (Figura 7) la situación es la siguiente: mientras para el grupo completo de modelos (A) las zonas con mayor precipitación media anual (entre 4.6 mm y 7.5 mm) están sobre el suroccidente y sur de Colombia, así como en todo Ecuador y el norte de Perú, para la selección de modelos (E), los mayores valores de precipitación anual estarían sobre el sur de Colombia y suroccidente de Ecuador.

El rango mínimo de la precipitación media indica que para el grupo completo de modelos (B) las zonas con valores bajos (< -10mm) ocuparían el suroriente y noroccidente de Venezuela, el centro y occidente de Colombia, así como el centro de Perú Ecuador, mientras que para la selección de modelos (F) estas zonas se distribuirían en el occidente de Venezuela, Colombia y Ecuador, y noroccidente y sur de Perú. El rango máximo de precipitación media indica que los valores altos (30 mm – 40 mm) para el grupo completo de modelos (C) se concentrarían en Colombia y Ecuador, mientras que para la selección de modelos (G) los valores altos estarían en Colombia (20 mm – 30 mm). Por su parte, el rango de variación de la precipitación indica que para el grupo completo de modelos (D) Colombia y Ecuador concentrarían las zonas con valores altos (60 mm – 120 mm), mientras que para la selección de modelos (H) prácticamente la totalidad de países se encontrarían en el rango de variación < 20 mm. Unas pocas zonas en Colombia, Ecuador y Perú entrarían en el rango de variación entre 20 mm – 20 mm.

El rango de variación de la precipitación indica que para el grupo completo de modelos Colombia y Ecuador concentrarían las zonas con valores altos (60 mm – 120 mm), mientras que para la selección de modelos prácticamente la totalidad de países se encontrarían en el rango de variación < 20 mm.

EVALUACIÓN DE IMPACTO PARA LOS 25 CULTIVOS

Al evaluar los impactos probables del cambio climático sobre este grupo de 25 cultivos, salió a la luz que la pérdida de aptitud climática sería mucho más significativa que el incremento en la mayoría de cultivos. La Tabla 7 presenta la situación para los escenarios de emisiones A1B y A2 en los dos periodos (2020 y 2050). Allí se observa como para un reducido número de cultivos los valores porcentuales en términos de área física involucrada, son altos. Un ejemplo de esto es que en el año 2020 del SRES-A1B los porcentajes de pérdida e incremento de aptitud climática para la categoría de 1 a 3 cultivos son 51% y 64%, respectivamente (Figura 7) y en el año 2050; 32% y 49% de pérdida e incremento, respectivamente (Figura 8), lo cual señala cierto equilibrio, teniendo en cuenta que porcentajes son altos, mas no muy alejados en términos de cuánto se pierde y cuánto se incrementa. Mientras que para los mismos años (Tabla 7), pero en la categoría de 7 a 16 cultivos los porcentajes de área con pérdida e incremento son: 9% y 6% en 2020 y 14% y 6% en 2050, lo cual denota una diferencia de área involucrada importante, teniendo en cuenta que dicha categoría encierra un número mayor de cultivos.

El SRES-A2 (Tabla 7) presenta la misma tendencia, indicando que las categorías que encierran un menor número de cultivos presentan mayor porcentaje de área afectada por pérdida e incremento de aptitud climática. En este caso, la categoría de 4 a 6 cultivos presenta los siguientes valores: para el año 2020: 39% (pérdida) y 30% (incremento), y para el año 2050: 42% (pérdida) y 36% (incremento). Por su parte, para la categoría de 7 a 16 cultivos las cifras son significativamente bajas, en comparación con las otras dos categorías: para el año 2020: 10% (pérdida) y 5% (incremento), y para el año 2050: 25% (pérdida) y 13% (incremento). Las Figuras 8 y 9 recrean la situación descrita anteriormente para el número de cultivos perdiendo e incrementando su aptitud climática en los dos periodos de tiempo dentro de ambos escenarios (A1B y A2), dejando claro que son principalmente las categorías que encierran pequeños números de cultivos las que más área física representan. Así mismo, cabe recordar que el análisis fue realizado únicamente sobre las áreas cuya altitud supera los 500 msnm, pues de haber tenido en cuenta la totalidad de las áreas proyectadas las cifras serían diferentes, teniendo en cuenta que muchos de los cultivos evaluados crecen en áreas que van, incluso desde el nivel del mar hasta más de 4,500 msnm. Además, se podría concluir que el incremento de aptitud climática de las áreas que ocupan las categorías 1 a 3 y 4 a 6 cultivos, es significativamente importante en ambos escenarios de emisiones, lo que al mismo tiempo indica una oportunidad de cara al futuro al encontrar identificar estos cultivos que se acoplarían de manera positiva a las nuevas condiciones de clima.

IMPACTOS SOBRE CULTIVOS POR PAÍS

En esta sección se describirán dos variables por país: 1) el porcentaje de pérdida de aptitud climática por cultivo y 2) el porcentaje de personas viviendo bajo la línea de pobreza extrema por cultivo. Para este último dato se debe tener en cuenta que el porcentaje no es acumulativo, sino que puede darse que las áreas con pérdida de aptitud climática para un cultivo sean las mismas que para otro, de esta manera los porcentajes pueden ser compartidos por cada cultivo. Además, los análisis aquí expuestos describen la situación del SRES-A1B para el año 2050, tomando como supuesto que al usar el escenario de emisiones que menos impactaría a futuro se podrían estimar los impactos del clima de una condiciones menos drásticas para los cultivos.

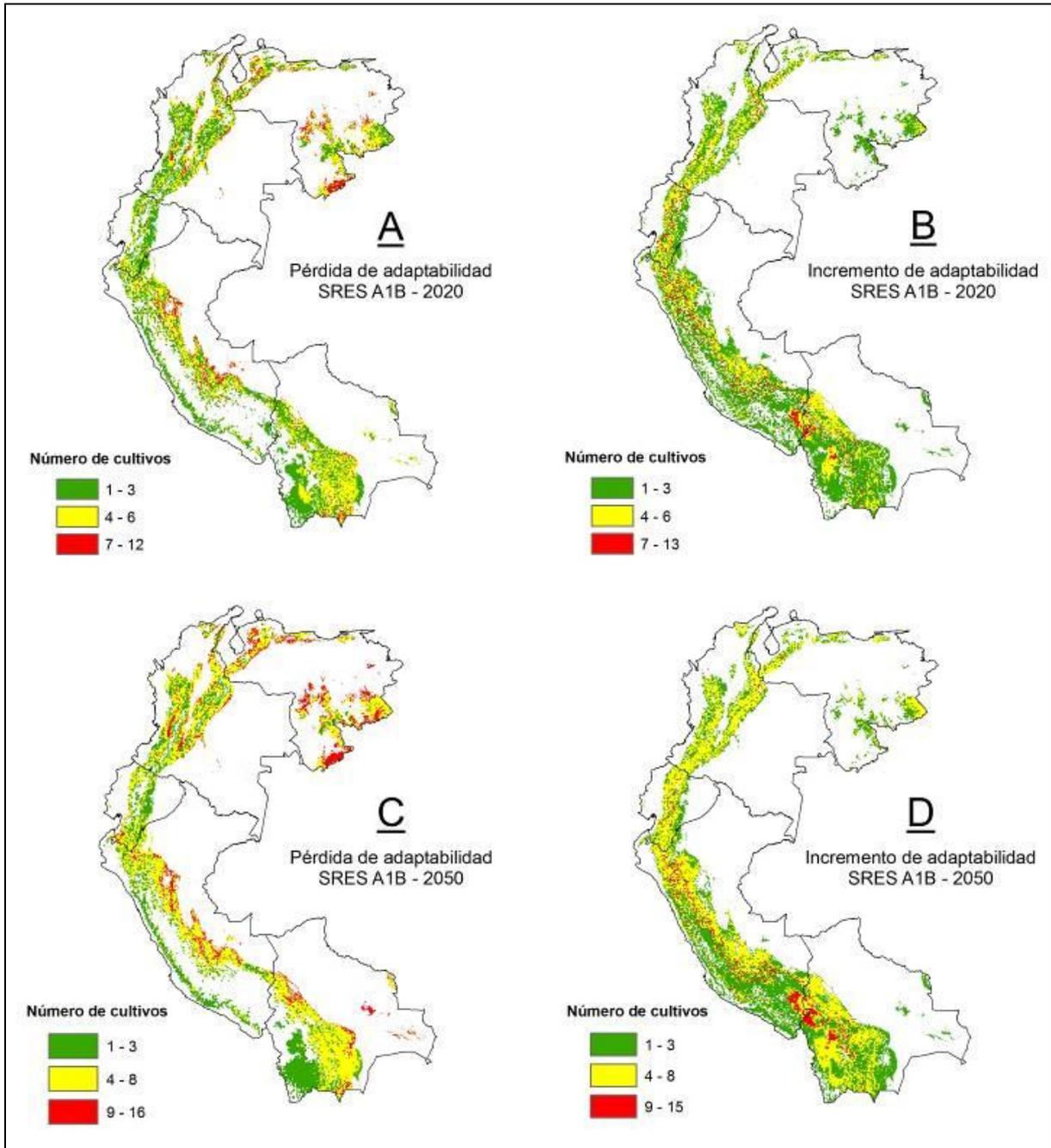


Figura 8. Número de cultivos con pérdida e incremento de aptitud climática – SRES-A1B

A. Pérdida en 2020

C. Pérdida en 2050

B. Incremento en 2020

D. Incremento en 2050

Fuente: EcoCrop

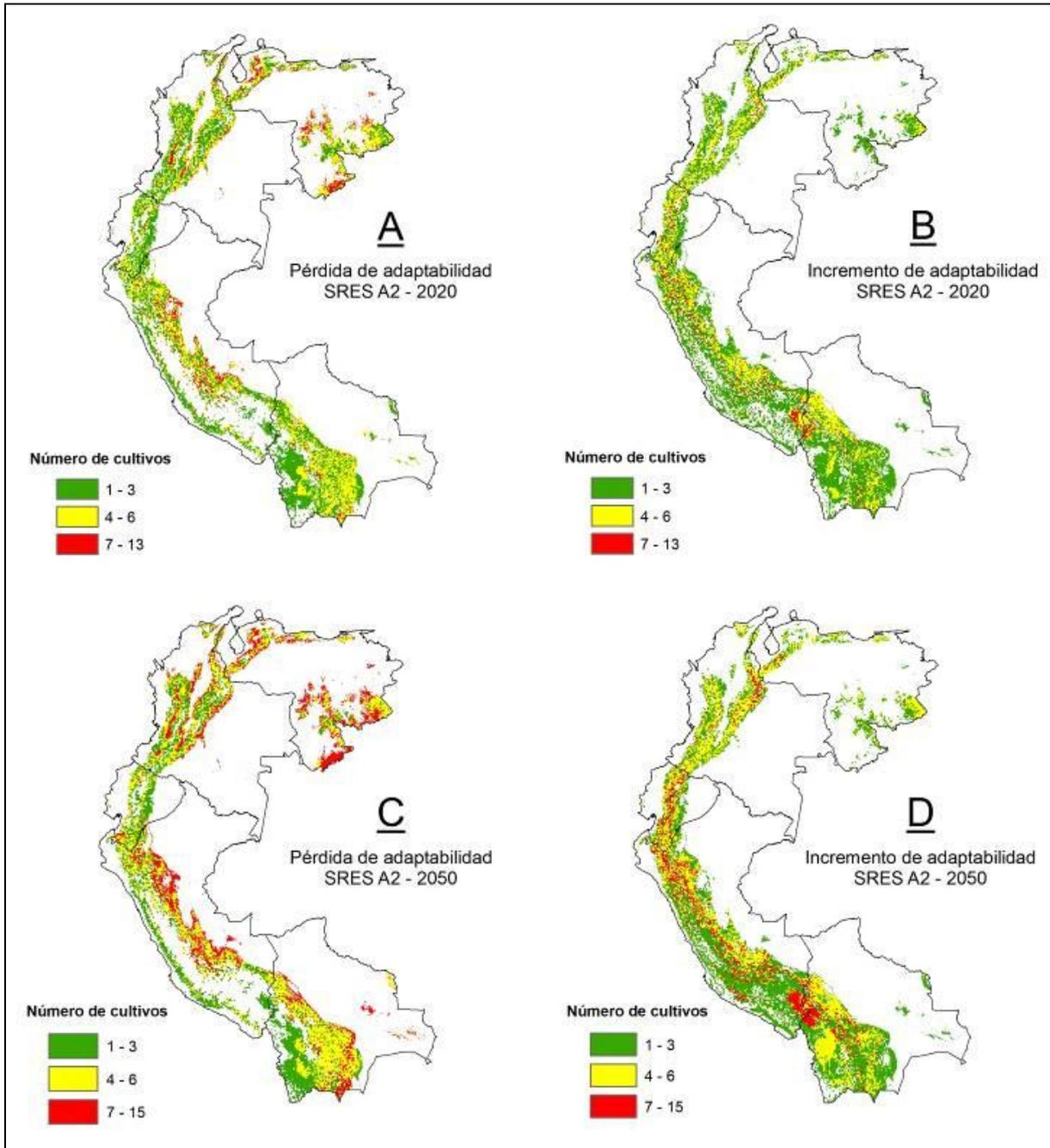


Figura 9. Número de cultivos con pérdida e incremento de aptitud climática – SRES-A2

A. Pérdida en 2020

C. Pérdida en 2050

B. Incremento en 2020

D. Incremento en 2050

Fuente: EcoCrop

Venezuela

Es el caso más grave de los países de los Andes Tropicales (Figura 10), pues 19 de los 25 cultivos presentarían pérdida de aptitud climática a futuro en uno o ambos escenarios de emisiones. Los cultivos que tendrían condiciones positivas de aptitud climática serían arroz, banano, plátano, sorgo, tomate y yuca en uno o ambos escenarios de emisión. Los cultivos que con mayores porcentajes de pérdida de aptitud

19 de los 25 cultivos presentarían pérdida de aptitud climática a futuro.

climática (< -10%) hacia el año 2050 para el SRES-A2 serían arveja, cebada, lechuga, repollo y ulluco.

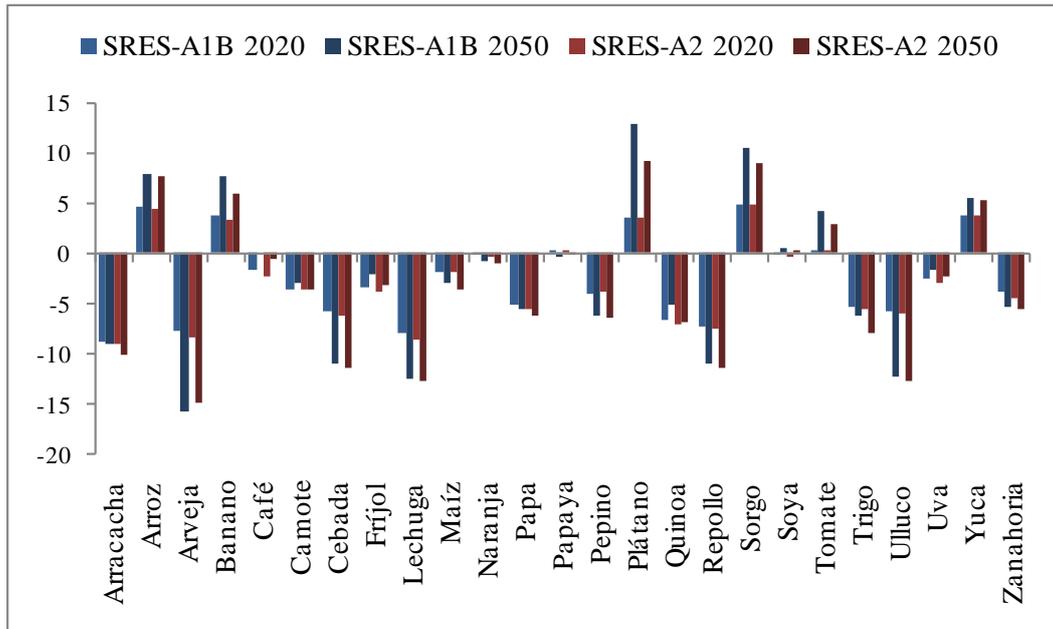


Figura 10. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Venezuela

De los 9.7 millones de personas viviendo bajo la línea de pobreza en Venezuela los cultivos de arracacha, café, camote, cebada, frijol, lechuga, maíz, naranja papa, plátano, repollo, soya, tomate, uva y zanahoria (Figura 11) tendrían más del 10% de personas viviendo en tales condiciones en áreas que perderían aptitud climática. Sobresalen los cultivos de arroz, banano, sorgo, soya, tomate y yuca, por tener área con más 10% de personas bajo la línea de pobreza que estarían en áreas con ganancias de aptitud climática.

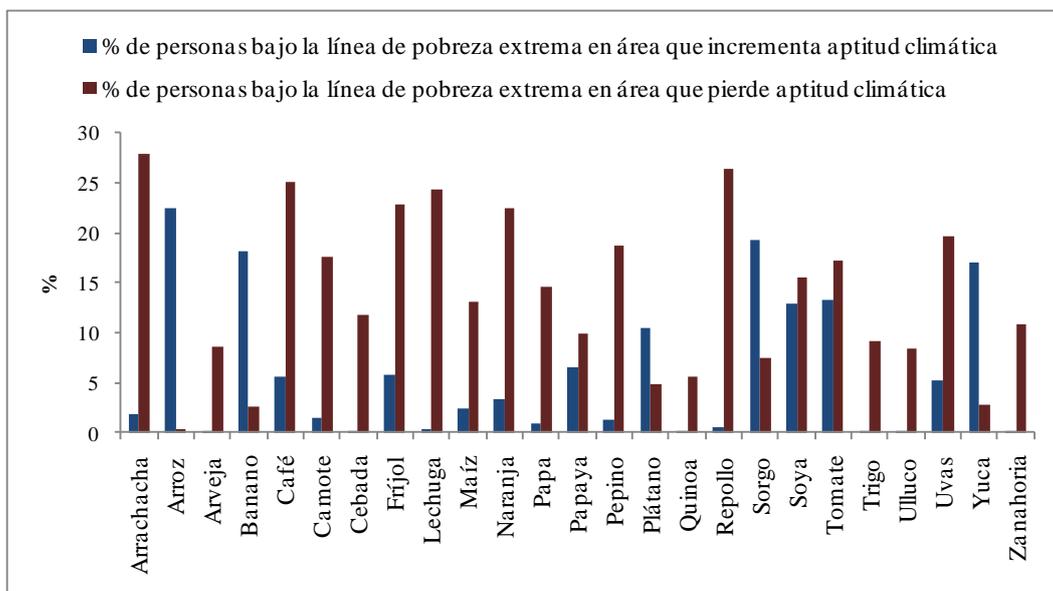


Figura 11. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en Venezuela

Colombia

Por su parte, registra que los cultivos con pérdidas en aptitud climática serían arracacha, arveja, cebada, lechuga, papa (año 2020, SRES-A2) pepino, quínoa, trigo, ulluco y zanahoria (Figura 12). De entre estos los cultivos más afectados serían arveja, cebada, quínoa, trigo y ulluco, con incluso menos que -5% de pérdida de su aptitud climática en alguno de los escenarios de emisión. Los cultivos con ganancia de aptitud climática serían principalmente arroz, banano, plátano, sorgo, tomate y yuca, con porcentajes que superan el 5% de aptitud climática en alguno de los escenarios de emisión.

Por el lado del porcentaje de personas viviendo bajo la línea de pobreza en Colombia (Figura 13), donde se estima que unos 4.5 millones de personas viven bajo esta condición, se reportaría la siguiente situación:

- Arracacha, lechuga y repollo superan el umbral del 25% de personas en áreas que pierden aptitud climática.
- Arroz, banano, soya y yuca superan el umbral del 20% de personas en áreas que ganan aptitud climática.

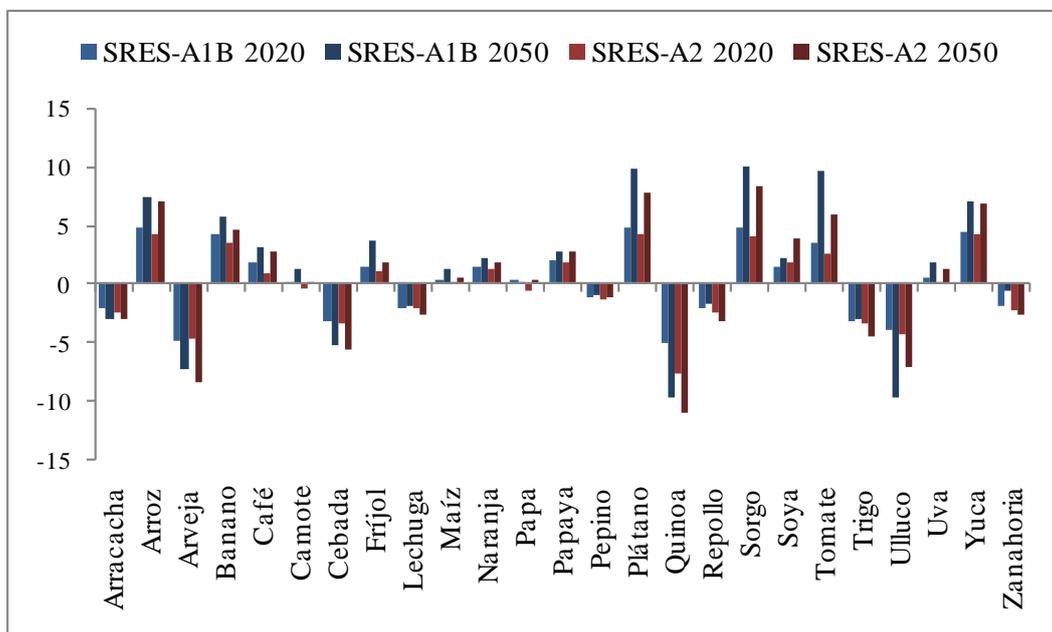


Figura 12. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Colombia

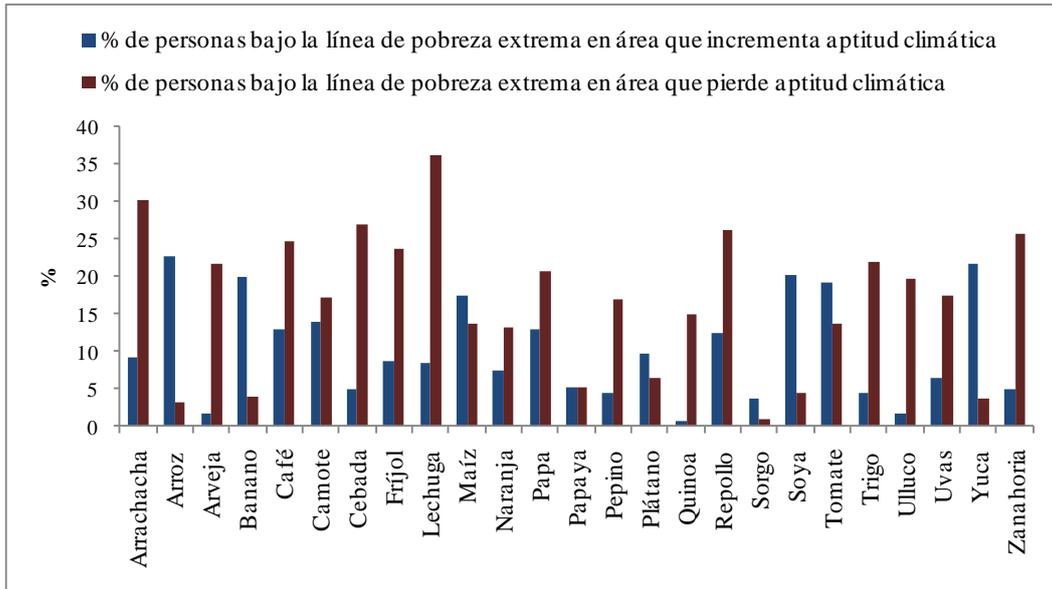


Figura 13. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en Colombia SRES-A1B - 2050

Bolivia

Los cultivos como arracacha, arveja, cebada, lechuga, naranja, quínoa, trigo, ulluco, uva y zanahoria perderían aptitud climática según los dos escenarios evaluados y en los dos periodos (2020 y 2050) (Figura 14). Los demás cultivos, siendo mayoría (15), presentan cambios positivos en su aptitud climática, pero vale la pena resaltar el caso de arroz, banano, plátano, sorgo, soya, tomate y yuca, pues prestarían los porcentajes más altos de cambio positivo en aptitud climática para uno o ambos escenarios de emisión.

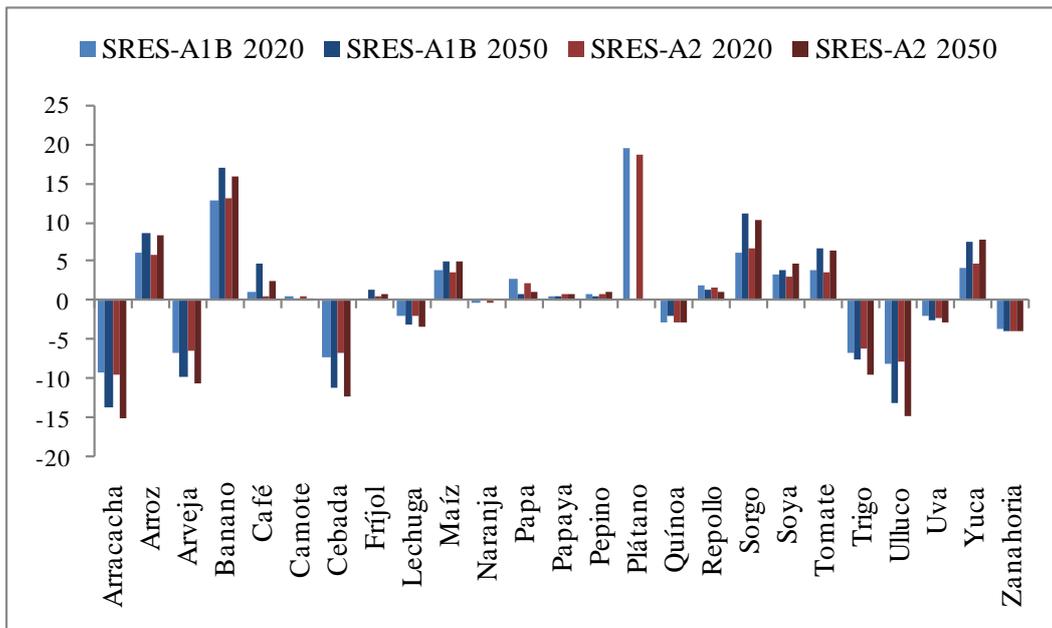


Figura 14. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Bolivia

En cuanto al porcentaje de personas viviendo bajo la línea de pobreza (Figura 15), la cifra total para Bolivia es de 2.8 millones de personas, de las cuales 30% de pobres estarían en áreas que perderían aptitud climática para el cultivo de cebada. Le seguirían papa con 29.5%, lechuga con 29.4%, zanahoria con 27.2% y arveja con 28.8%.

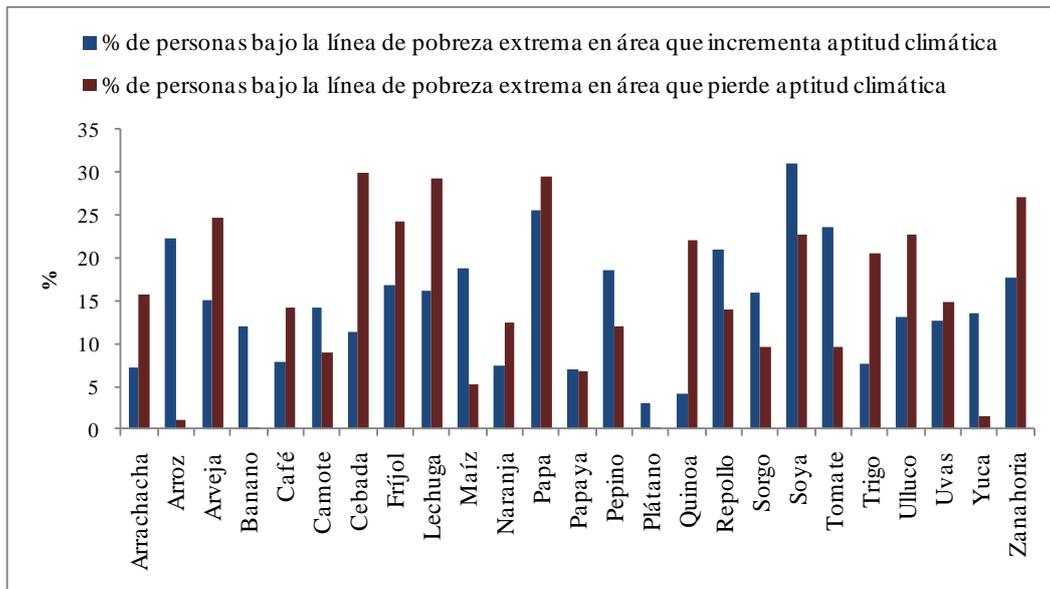


Figura 15. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en Bolivia SRES-A1B – 2050

Ecuador

En Ecuador la situación tiende a ser más favorable que para los países descritos hasta el momento, pues 17 de los 25 cultivos presentarían cambio en aptitud climática positivo (Figura 16). Los cultivos con cambios negativos serían arrachacha, arveja, cebada, lechuga, quínoa, trigo, ulluco y zanahoria. Cultivos como el arroz, el banano y el plátano tendrían cambios en aptitud por encima del 12% en alguno de los escenarios de emisión. Otros cultivos que sobresaldrían por su cambio en aptitud climática positiva serían soya, sorgo, tomate y yuca.

Situación favorable dado que 17 de los 25 cultivos presentarían cambio en aptitud climática positivo.

Además, por el lado de personas viviendo bajo la línea de pobreza en este país (2.8 millones) los cultivos de arveja, cebada, quínoa y ulluco superarían el 20% de personas en tales condiciones viviendo en áreas donde los cultivos perderían aptitud climática (Figura 17). En oposición a tal situación, el cultivo de soya albergaría al 29.1% de personas viviendo bajo la línea de pobreza en áreas que ganan aptitud climática. Otros cultivos receptores de personas viviendo en tales condiciones pero en áreas con ganancias en aptitud climática por encima del 15% son arrachacha, café, frijol, lechuga, papa, papaya y uva.

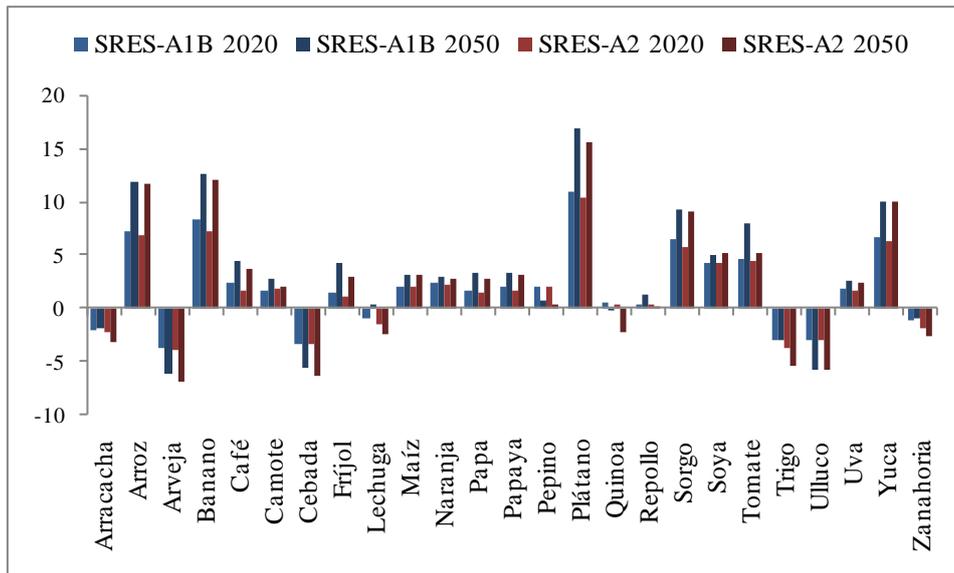


Figura 16. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Ecuador

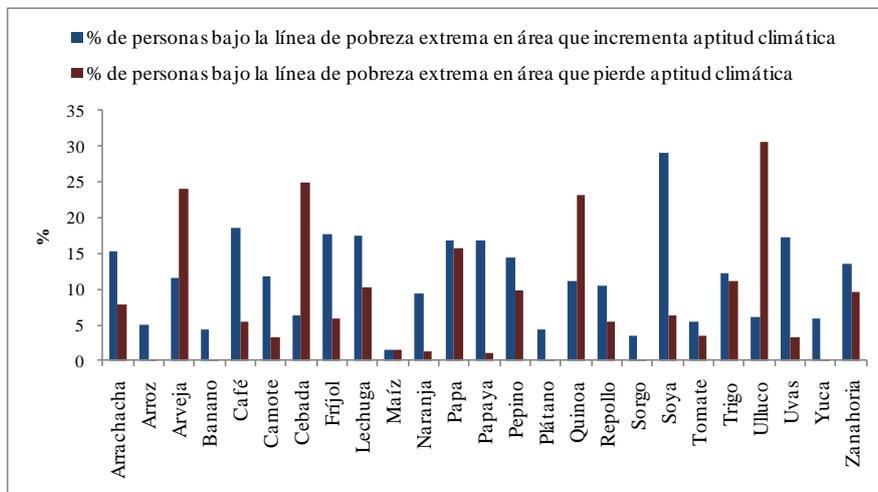


Figura 17. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en Ecuador SRES-A1B - 2050

Perú

En Perú se presentaría una situación similar a la de Ecuador, donde serían pocos los cultivos con cambios en aptitud climática negativos, estos serían arracacha, arveja, cebada, lechuga, trigo y ulluco y zanahoria en alguno de los escenarios de emisión (Figura 18), siendo la lechuga y la zanahoria los cultivos menos afectados del grupo mencionado. Los cultivos con ganancia en aptitud climática por encima del 5% en Perú son arroz, banano, papa, plátano, sorgo, soya, tomate y yuca en alguno de los escenarios de emisión.

Mayoría de cultivos con cambios de aptitud climática positivos (17 de 25).

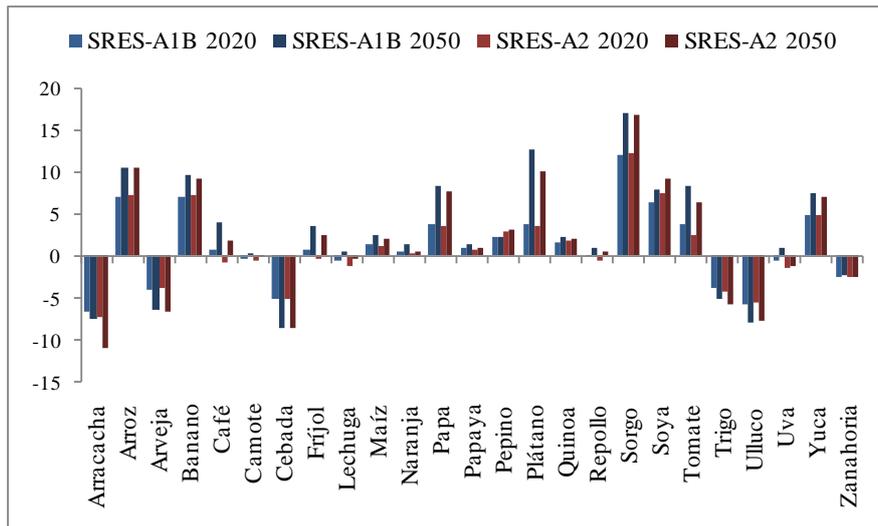


Figura 18. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Perú

En Perú existen aproximadamente 5.8 millones de personas viviendo bajo la línea de pobreza, los cultivos con mayor porcentaje de personas viviendo bajo esta situación en áreas con ganancia en aptitud climática son: camote, lechuga, maíz, papa, pepino, quínoa y soya (Figura 19), todos con valores por encima del 10% de personas viviendo en tales áreas. Del otro lado, los cultivos de arveja, quínoa y ulluco presentarían porcentajes por encima del 10% de personas viviendo bajo tal condición de pobreza en área que pierden aptitud climática.

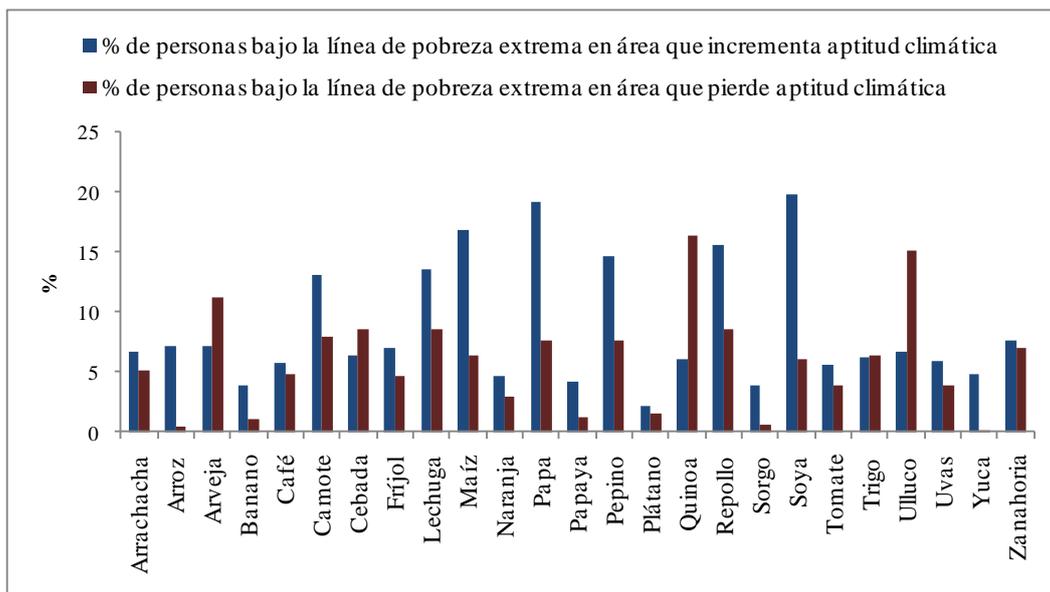


Figura 19. Porcentaje de personas bajo la línea de pobreza extrema en Perú SRES-A1B - 2050

ANÁLISIS DE IMPACTO PARA LOS CINCO CULTIVOS

Es importante mencionar que las figuras y tablas que acompañan esa parte del análisis, ayudan a describir la situación que se proyecta para los cinco cultivos bajo análisis. Lo que se pretende es mostrar los resultados de ambos modelos en los dos escenarios de emisiones (A1B y A2) y en los dos periodos (2020 y 2050), así, se expondrán las principales diferencias

y puntos en común de los resultados de ambos Maxent y EcoCrop, además de observar el nivel de impacto proyectado por los diferentes escenarios de emisiones. Vale la pena resaltar que al presentar la comparación de los resultados de la modelación de los dos escenarios, se encontrarán importantes similitudes, por lo que se evitará redundar en la descripción de las tendencias que entreguen cifras muy similares.

Existe tendencia hacia la pérdida de aptitud climática de los cinco cultivos, dado que en todos los casos es mayor el área perdiendo que el área que se beneficia de los cambios.

Esto sucederá principalmente cuando se comparen los resultados de un mismo modelo de nicho ecológico (esto es EcoCrop o Maxent). En otras palabras, los resultados de EcoCrop, serán muy similares entre sí, al igual que los resultados de Maxent, aún cuando se hable de corridas con datos climáticos pertenecientes a diferentes escenarios de emisiones.

La Tabla 7 muestra la estimación de la contribución relativa de las variables ambientales al modelo Maxent para la distribución potencial actual de cada cultivo. Allí se observa como para cada cultivo son diferentes las variables que tienen mayor incidencia en la distribución actual del cultivo. Esta información podría ser útil para analizar los mejoramientos tecnológicos que se podría llevar a cabo con el propósito de conservar estos cultivos en el futuro.

El total de hectáreas de los países de la región de los Andes Tropicales es 472'555,000. De estás un porcentaje significativo se vería afectado negativamente por los impactos del cambio climática. La intención de la presente sección es estimar el porcentaje de hectáreas afectadas. No obstante, se debe aclarar que la cifras expuestas tienen que ver con el total de hectáreas potencialmente afectadas, ya sea negativa o positivamente.

En términos de área potencialmente afectada negativa y positivamente por el cambio climático en la región bajo análisis, la Figura 20 es un claro ejemplo de la tendencia hacia la pérdida de aptitud climática de los cinco cultivos, dado que en todos los casos es mayor el área perdiendo que el área que se beneficia de los cambios.

Los casos más extremos en SRES-A1B para el año 2020 se observan en café, frijol y trigo, donde el área perdida es del 79.7% (30 millones de hectáreas de un total de 37.7 millones), 76.3% (41 millones de hectáreas de un total de 253.8 millones) y 96.9% (24.5 millones de hectáreas de un tal de 25.4 millones), respectivamente. La tendencia continua en el año 2050 donde el área que pierde aptitud climática para café, frijol y trigo es de 70.6% (16.9 millones de hectáreas de un total de 24 millones), 70.9% (27.8 millones de hectáreas de un total de 39.3 millones) y 98.8% (18.3 millones de hectáreas de un total de 18.6 millones), respectivamente, lo cual indica que parte de las áreas que perdían aptitud climática en 2020 desaparecerían en 2050.

Tabla 7. Contribución relativa de las variables (%)

Variable	Café	Frijol	Papa	Tomate
Bio 1 - Temperatura media anual	2.8	0.5	18.5	0.7
Bio 2 - Rango medio diurno (media(max-min))	0.4	0.2	0.1	1
Bio 3 - Isotermalidad (Bio 2/ Bio 7)	3.9	7.2	0.5	1.8
Bio 4 - Estacionalidad de la temperatura (coeficiente de variación)	3.2	19.4	1.3	26.5
Bio 5 - Temperatura máxima anual	24.2	22.5	6.9	0.2
Bio 6 - Temperatura mínima anual	7.9	0.3	4.8	0.1
Bio 7 - Rango de temperatura anual (Bio 5 – Bio 6)	18.1	27.2	0.1	24.2
Bio 8 - Temperatura media del trimestre más húmedo	0	0.6	25.4	5.4
Bio 9 - Temperatura media del trimestre más seco	14.5	3.4	0.4	0.2
Bio 10 - Temperatura media del trimestre más cálido	0.2	0.1	12.3	18
Bio 11 - Temperatura media del trimestre más frío	1.5	1.4	18.6	0.3
Bio 12 - Precipitación anual	1.9	1.9	5.4	7.8
Bio 13 - Precipitación del mes más húmedo	0.4	0	0.2	2.6
Bio 14 - Precipitación del mes más seco	1.8	3.9	0.2	2.8
Bio 15 - Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	14.3	4	3.3	2.6
Bio 16 - Precipitación del trimestre más húmedo	1	0.6	0.4	3.2
Bio 17 - Precipitación del trimestre más seco	0.2	1.1	0.4	1
Bio 18 - Precipitación del trimestre más cálido	0.5	3.3	1	0.5
Bio 19 - Precipitación del trimestre más frío	3.2	1.6	0.2	1.1

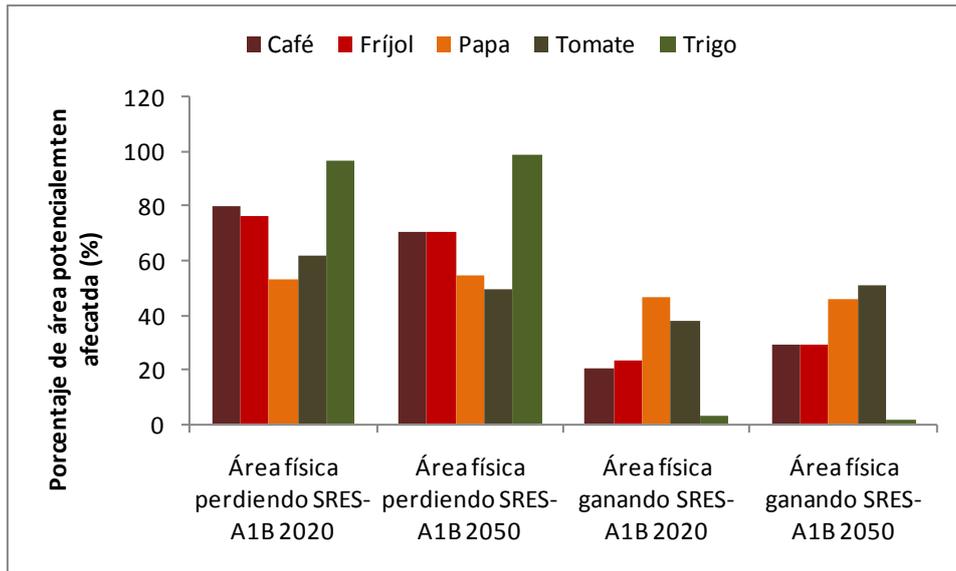


Figura 20. Porcentaje de área perdiendo y ganando aptitud climática por cultivo. EcoCrop - SRES-A1B

Por su parte, la Figura 21 describe la situación para el SRES-A2 según los resultados de EcoCrop. La afectación en este caso tiende a ser un más fuerte, y eso se plasma en las los porcentajes de perdida y ganancia de aptitud climática para el año 2020: café (81.7% de un total de 38.8 millones de hectáreas), frijol (76% de un total de 55.7 millones de hectáreas) y trigo (97.2% de un total de 25.6 millones de hectáreas) son los cultivos más afectados. En 2050 la situación mantiene la tendencia negativa, es así como en café, frijol y trigo el 74.4%, 71.2% y 98.8%, respectivamente, del área apta se vería afectada negativamente. En hectáreas, estos porcentajes harían parte de un total 27, 43.5 y 20.2 millones, respectivamente.

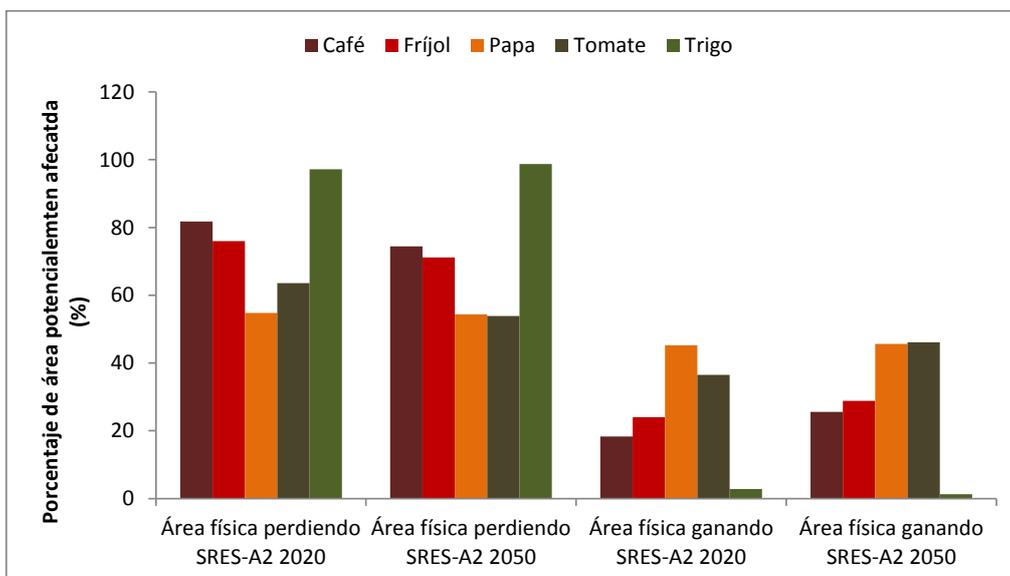


Figura 21. Porcentaje de área perdiendo y ganando aptitud climática por cultivo. EcoCrop - SRES-A2

En cuanto a los resultados generados con Maxent para el SRES-A1B en el año 2020 (Figura 22), se observa que todos los cultivos se verían seriamente afectados por los cambios negativos; café 69% (de un total de 31.6 millones de hectáreas), frijol 74.2 (de un total de 46.7 millones de hectáreas), papa 61.7% (de un total de 63 millones de hectáreas), tomate 75.9% (de un total de 37.2 millones de hectáreas) y trigo 69.8% (de un total de 11 millones de hectáreas). En el año 2050 las condiciones empeorarían, pues se reportarían porcentajes de pérdida de aptitud climática aún mayores: café 72.1% (de un total de 24.9 millones de hectáreas), frijol 83.2% (de un total de 41.1 millones de hectáreas), papa 64% (de un total de 59 millones de hectáreas), tomate 79.3% (de un total de 32.8 millones de hectáreas), trigo 74.3% (de un total de 9.9 millones de hectáreas).

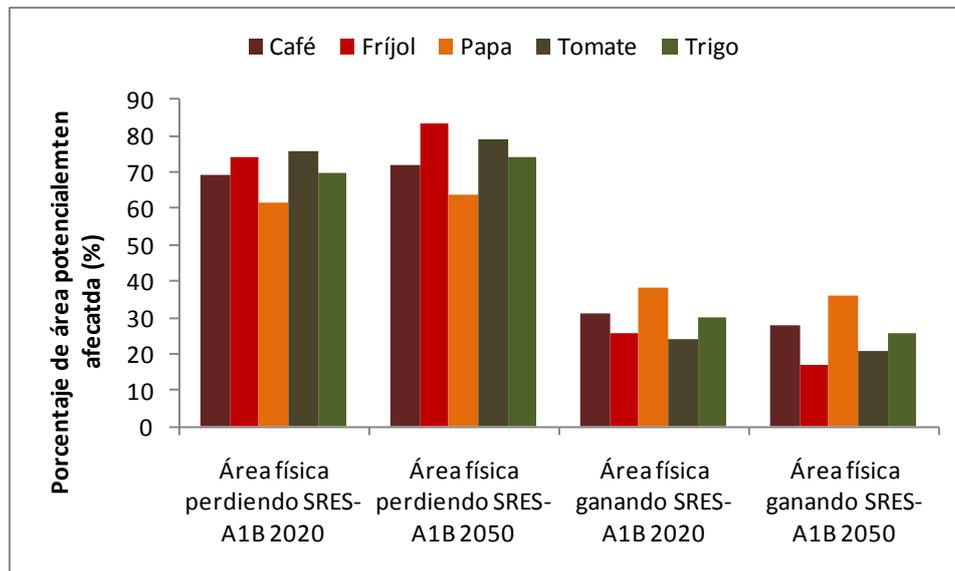


Figura 22. Porcentaje de área perdiendo y ganando aptitud climática por cultivo. MaxEnt - SRES-A1B

Para el SRES-A2, Maxent reporta resultados igualmente graves para los cultivos (Figura 23). En el año 2020 los porcentajes de área afectada negativamente serían los siguientes: café 65.8% (de un total de 32.2 millones de hectáreas), frijol 73.5% (de un total de 46.2 millones de hectáreas), papa 62.3% (de un total de 62.6 millones de hectáreas), tomate 73.9% (de un total de 36.7 millones de hectáreas) y trigo 69.2% (de un total de 10.9 millones de hectáreas). En cuanto a las cifras para el año 2050 se encontraría lo siguiente: café 71.2% (de un total de 25.5 millones de hectáreas), 84% (de un total de 40 millones de hectáreas), 60.8% (de un total de 59.3 millones de hectáreas), 77.9% (de un total de 32.7 millones de hectáreas) y 71.4% (de un total de 9.9 millones de hectáreas), respectivamente.

Grosso modo, la situación de los cinco cultivos analizados los Andes Tropicales es considerablemente grave, lo cual indica que debería pensarse en la implementación de tecnologías que permitan al sector agrícola de la región hacer frente a los cambios inevitables que el clima tendrá para ellos.

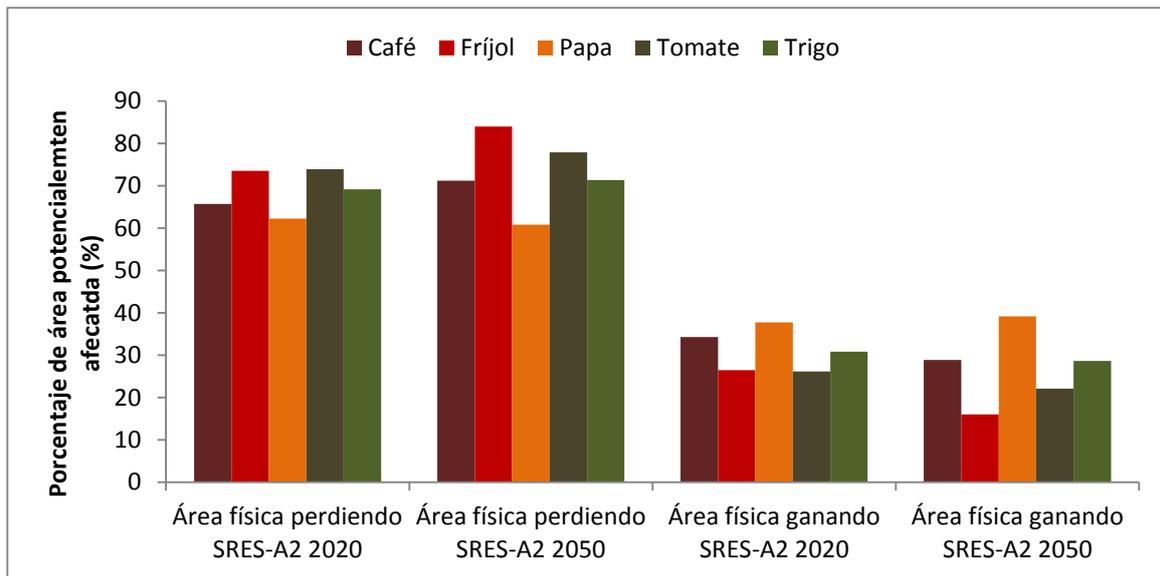


Figura 23. Porcentaje de área perdiendo y ganando aptitud climática por cultivo. MaxEnt - SRES-A2

Esta afirmación toma sustento en los resultados expuestos hasta el momento y los que se presentarán en las siguientes páginas. Existe un grado importante de congruencia entre los resultados de los modelos usados en este análisis, los mismos que dan peso a la tesis de que estos cinco cultivos se encuentran bajo una fuerte presión del clima hacia el futuro y que de no tomar acciones ahora las pérdidas podrían llegar ser de cifras gigantescas.

Los cinco cultivos se encuentran bajo una fuerte presión del clima hacia el futuro.

Las siguientes páginas, entonces, harán una descripción más detallada de lo podría suceder en la región de los Andes Tropicales desde la perspectiva climática⁸. Por tanto, se ilustrarán a continuación los resultados de los dos modelos de nicho ecológico implementados para describir la situación de los cinco cultivos seleccionados, tratando de dar una mirada desde los cultivos que enfrentarían condiciones más graves hasta llegar a los que el clima no afectaría de manera tan grave su aptitud climática de cara el futuro.

⁸ Los resultados de los mapas se limitan a zonas cuyas altitud supera los 500 msnm.

IMPACTOS SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE

Resultados de EcoCrop para tomate

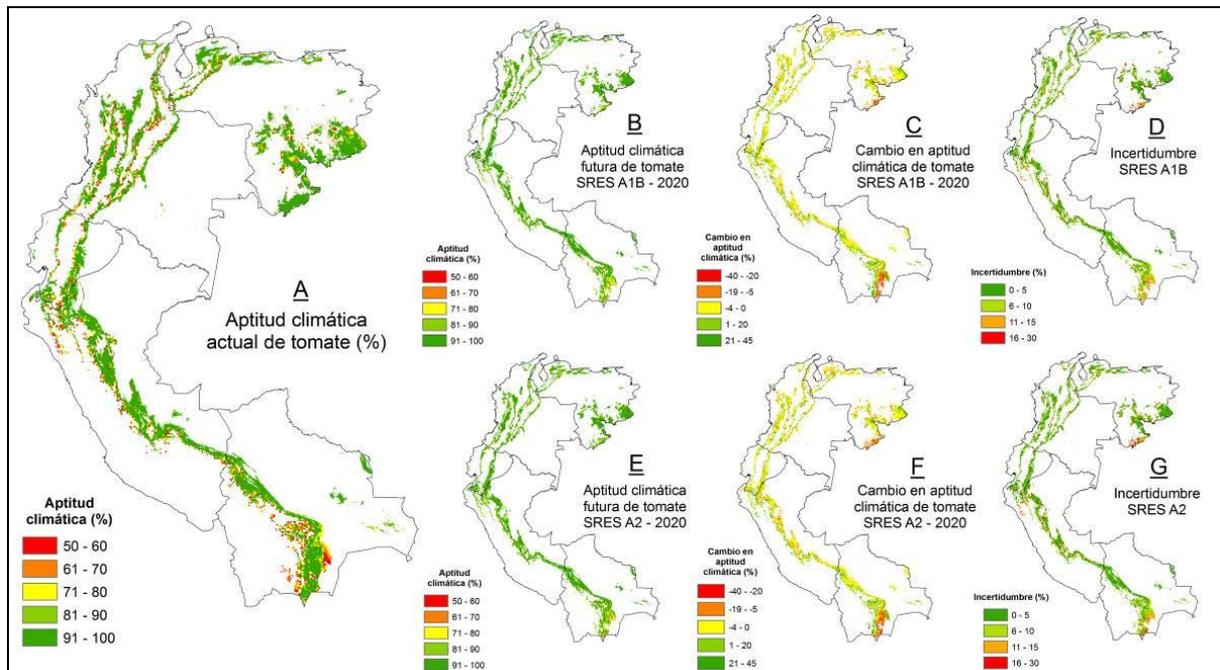


Figura 24. Aptitud climática de tomate usando EcoCrop.

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

En la Figura 24, el área apta en la actualidad para el cultivo de tomate se distribuiría principalmente a través de las zonas altas de la cadena montañosa de los Andes Tropicales, (A), observándose una significativa proporción de áreas donde la aptitud climática estaría en el rango de 91% a 100%. En el año 2020 (Figuras B y E) describen una situación no muy cambiante a la actual, manifestando la pérdida de algunas áreas donde la aptitud climática actual se encontraba entre 50% y 60%. Las figuras de cambio (C y E) exponen pérdidas significativas sobre el sur de Bolivia y una disminución general en las áreas más bajas de la cadena montañosa (-4% - 0%).

Las figuras de cambio exponen pérdidas significativas sobre el sur de Bolivia y una disminución general en las áreas más bajas de la cadena montañosa (-4% - 0%).

Los mapas de incertidumbre (D y E) permiten tener confianza en las proyecciones, aunque no tanto en las áreas que más perderían aptitud climática, que se observan principalmente sobre el sur de Bolivia. Por su parte, la Figura 25, aptitud climática versus altitud, demuestra que la pérdida de aptitud climática sería importante según SRES-A1B en el año 2050. El nicho óptimo del cultivo según las condiciones actuales está entre los 500 y 1,200 msnm, donde la aptitud climática varía entre 78% y 90%. La pérdida observable a futuro involucraría aproximadamente 128 millones de hectáreas y la aptitud variaría entre 36% y 80%.

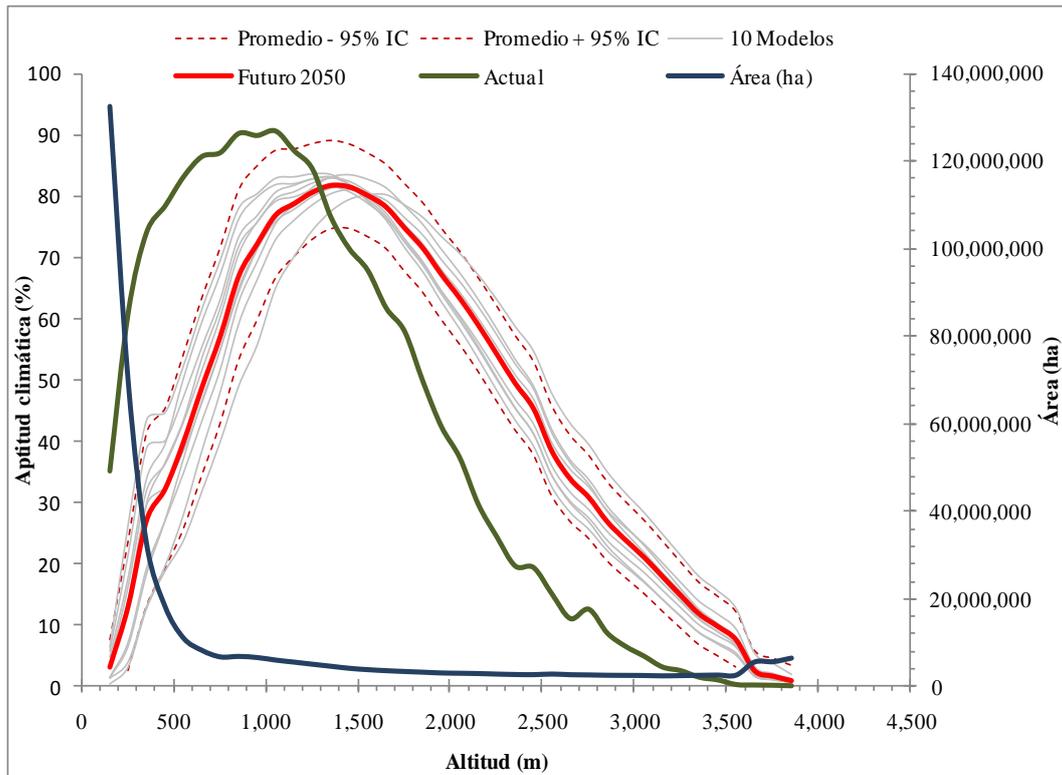


Figura 25. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de tomate

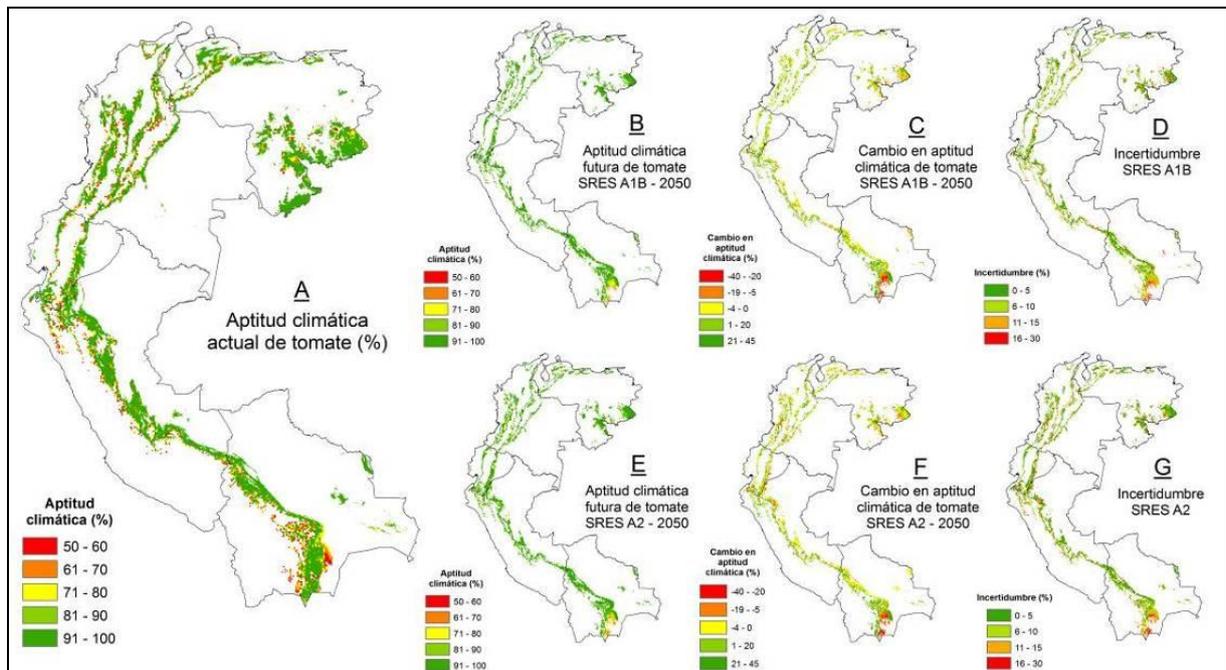


Figura 26. Aptitud climática de tomate usando EcoCrop.

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

Entre tanto, para el año 2050 (Figura 26) las pérdidas de áreas serían levemente más fuertes que para 2020, principalmente sobre el sur de Bolivia (C y F). De igual modo, un poco más al

centro se ese mismo país se observan algunas lugares donde el cambio sería positivo. En términos de incertidumbre, esta se mantendría baja, excepto por el sur de Bolivia que presenta valores un poco más altos (16% - 30%).

Resultados de Maxent para tomate

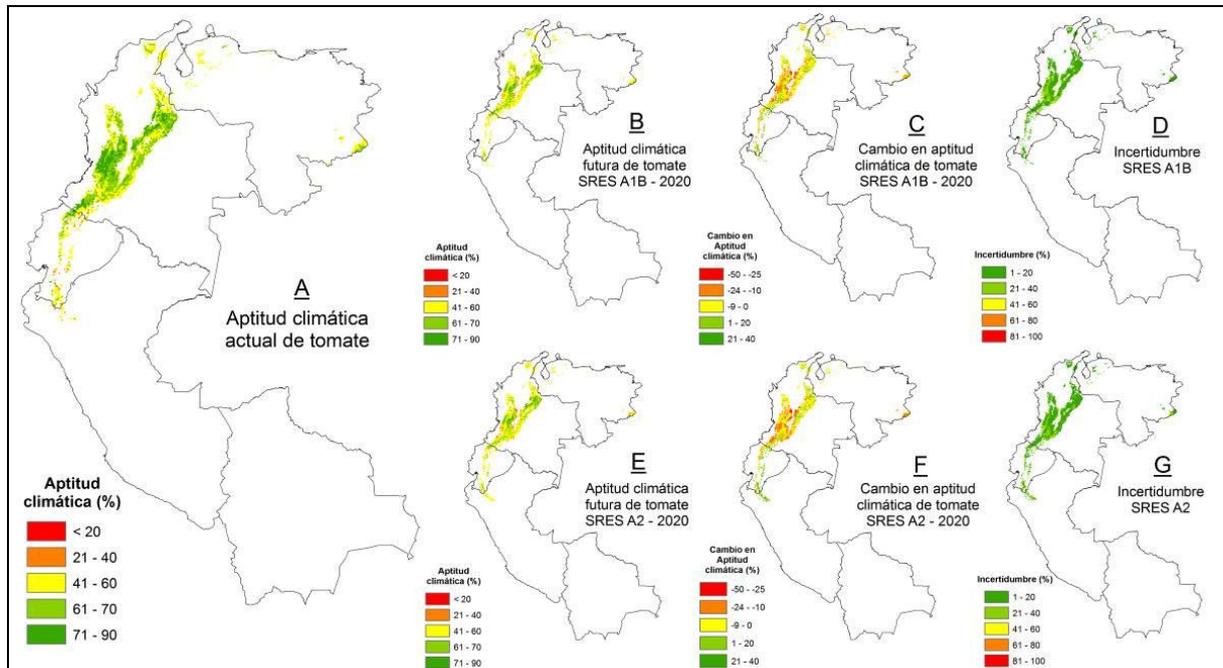


Figura 27. Aptitud climática de tomate usando Maxent.

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

En la Figura 27, el nicho óptimo (61% - 80%) para el cultivo se encontraría principalmente sobre Colombia (A), esto podría obedecer a que los puntos de evidencias provienen de este país. Bolivia no tiene presencia del cultivo, mientras que Perú, Ecuador y Venezuela tienen presencia pero en los rangos de aptitud climática son bajos (20% y 60%). En el año 2020 (B y E) las condiciones cambiarían drásticamente y se perderían varias de las áreas con aptitud climática dentro de Colombia, además de las áreas que se encontraban cerca a los rangos bajos de aptitud climática en Perú y Venezuela. Los mapas de cambio validan lo dicho anteriormente demostrando que la zona central de Colombia tendría cambios negativos, incluso hasta de -50%. Las figuras D y G ejemplifican la incertidumbre de las proyecciones de ambos escenarios, y dejan claro que los valores son relativamente bajos, pues la mayor parte de las áreas están en la categoría de 1% a 20% de incertidumbre.

El nicho óptimo (61% - 80%) para el cultivo se encontraría principalmente sobre Colombia, esto podría obedecer a que los puntos de evidencias provienen de este país

En la Figura 28, tanto B como E es notable el aumento en la pérdida de área que en la actualidad tendría condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo, principalmente en Colombia. Además, se puede observar que los impactos del SRES-A2 son relativamente mayores a los presentados por SRES-A1B. Los mapas de cambio así lo demuestran (C y F) resaltando las zonas en Colombia donde se observa incluso valores de pérdida de -50. La

incertidumbre, por su parte, es alta baja en ambos escenarios (1% - 20%), no obstante se observan áreas donde los valores están incluso sobre el rango comprendido entre 41% y 60%.

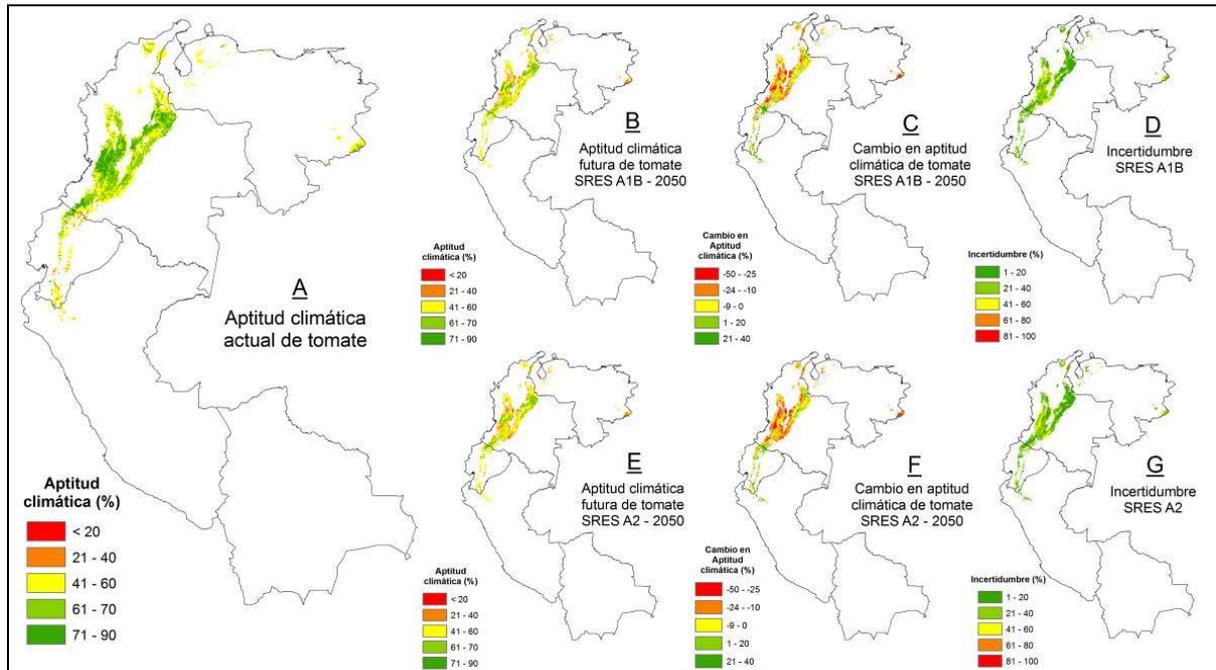


Figura 28. Aptitud climática de tomate usando Maxent.

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

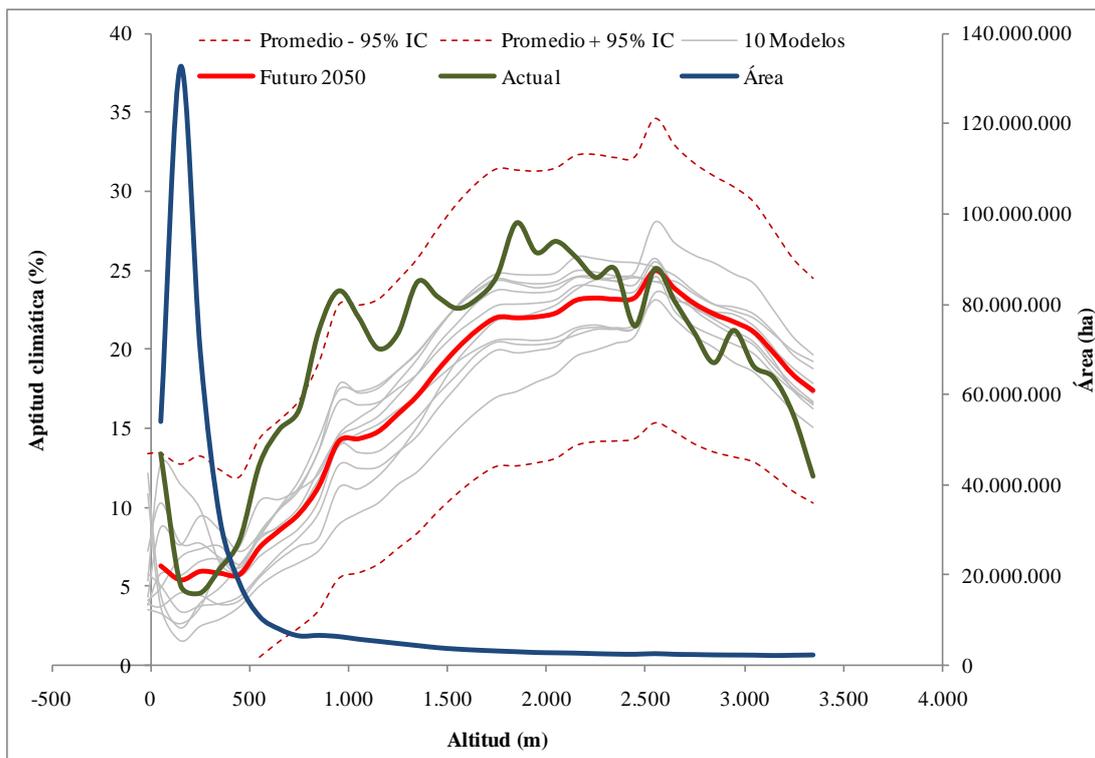


Figura 29. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de tomate según Maxent

IMPACTOS SOBRE EL CULTIVO DE TRIGO

Resultados de EcoCrop para trigo

Como se observa en la Figura 30 y según las proyecciones de EcoCrop (A), el cultivo de trigo se adaptaría climáticamente muy bien entre los 2,100 y 3,200 msnm, es por tal razón que se observa como los Andes Tropicales en general cuentan con condiciones de aptitud idóneas para que el cultivo crezca. Algunas áreas dispersas sobre el centro-oriente de Venezuela y Sur de Bolivia manifiestan aptitud climática en rangos que van desde 50% a 80%, las mismas que a futuro (B y E) desaparecerían según las proyecciones del modelo. Las figuras C y F son un claro ejemplo de la pérdida en aptitud climática descrita hasta el momento para el cultivo de trigo, según estas figuras la mayor parte del área involucrada estaría en el rango de cambio en aptitud climática comprendido entre -14 y 0%, principalmente sobre el centro-oriente de Venezuela.

Algunas áreas dispersas sobre el centro-oriente de Venezuela y Sur de Bolivia manifiestan aptitud climática en rangos que van desde 50% a 80%, las mismas que a futuro desaparecerían.

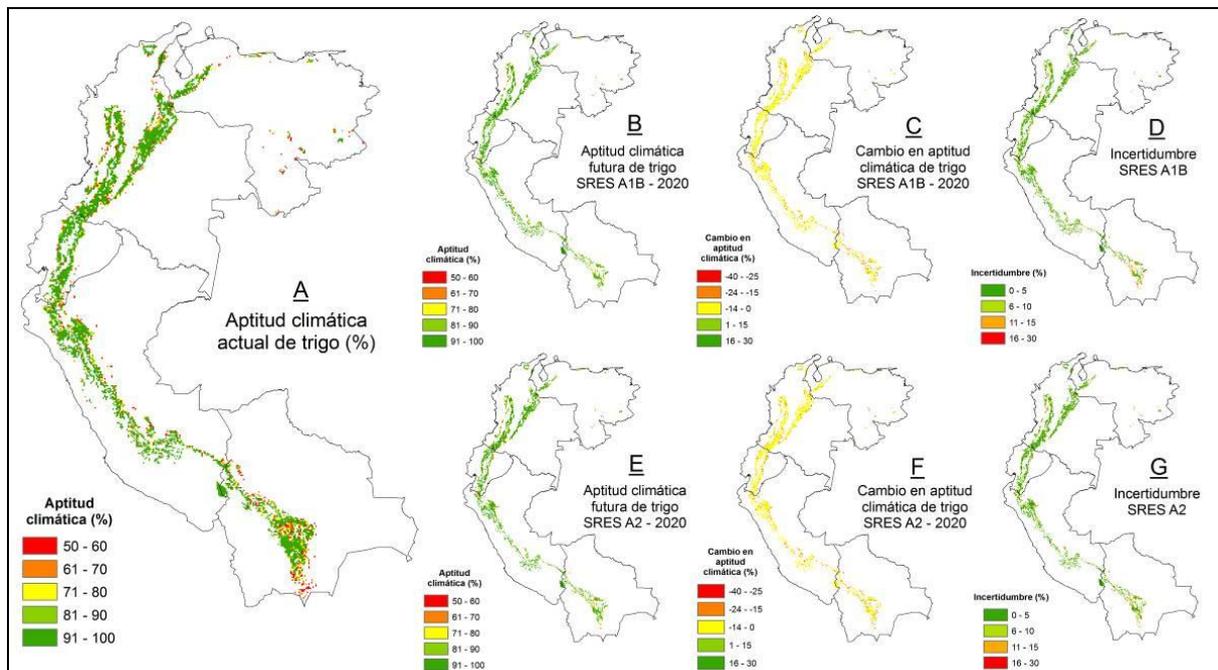


Figura 30. Aptitud climática de trigo usando EcoCrop.

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

En términos de incertidumbre (D y G), existe confianza en que los modelos apuntan hacia la misma dirección del promedio, dado que la mayor parte del área proyectada como apta para el crecimiento del cultivo en la actualidad y a futuro, cuenta con baja incertidumbre (0 - 5%)

La Figura 31 proyecta que en el año 2050 los cambios de aptitud climática serían un poco más drásticos, principalmente sobre el sur de Bolivia y centro-oriente de Venezuela (C y F). La incertidumbre (D y G) continuaría siendo baja en las proyecciones, dando a entender que se podría tener confianza en los que dicen los modelos.

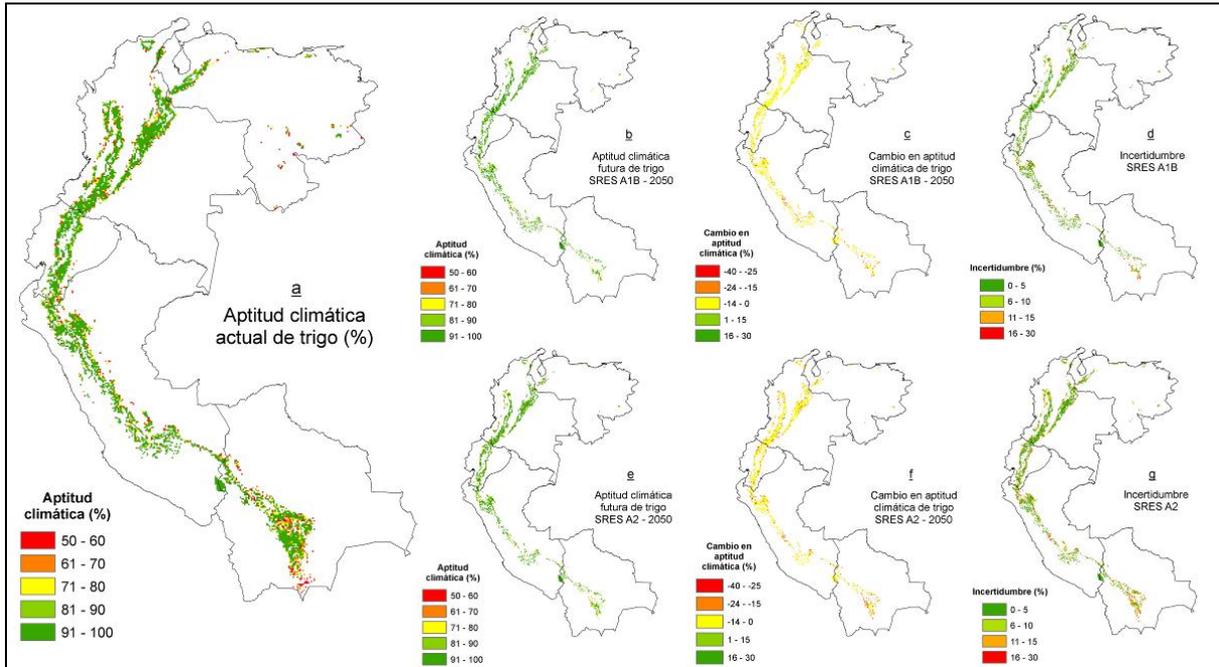


Figura 31. Aptitud climática de trigo usando EcoCrop

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

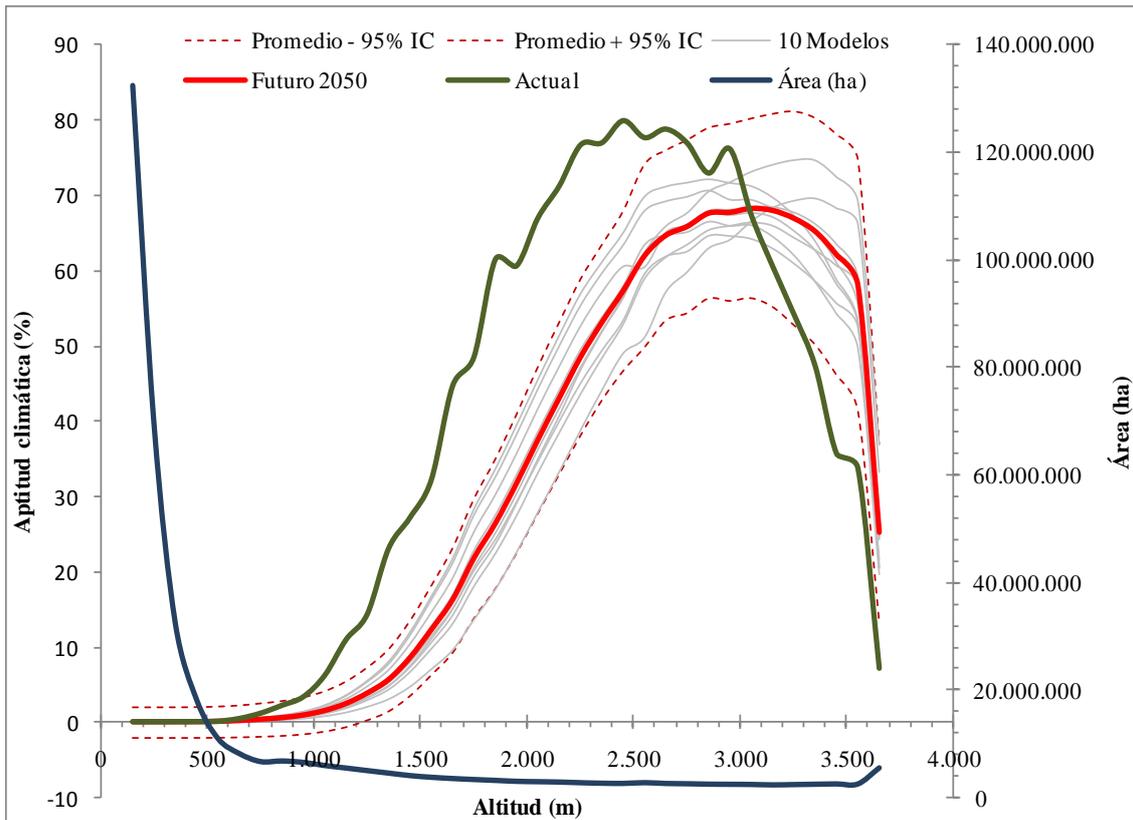


Figura 32. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de trigo

La Figura 32 ayuda a comprender la pérdida de aptitud climática del cultivo, ilustrando que entre los 2,300 y 3,000 msnm la aptitud climática del cultivo varía entre 67% y 77% y pasaría, en 2050, a variar entre 49% y 67%, viéndose involucradas aproximadamente 124 millones de hectáreas (área física) por este cambio negativo de aptitud climática.

Resultados de Maxent para trigo

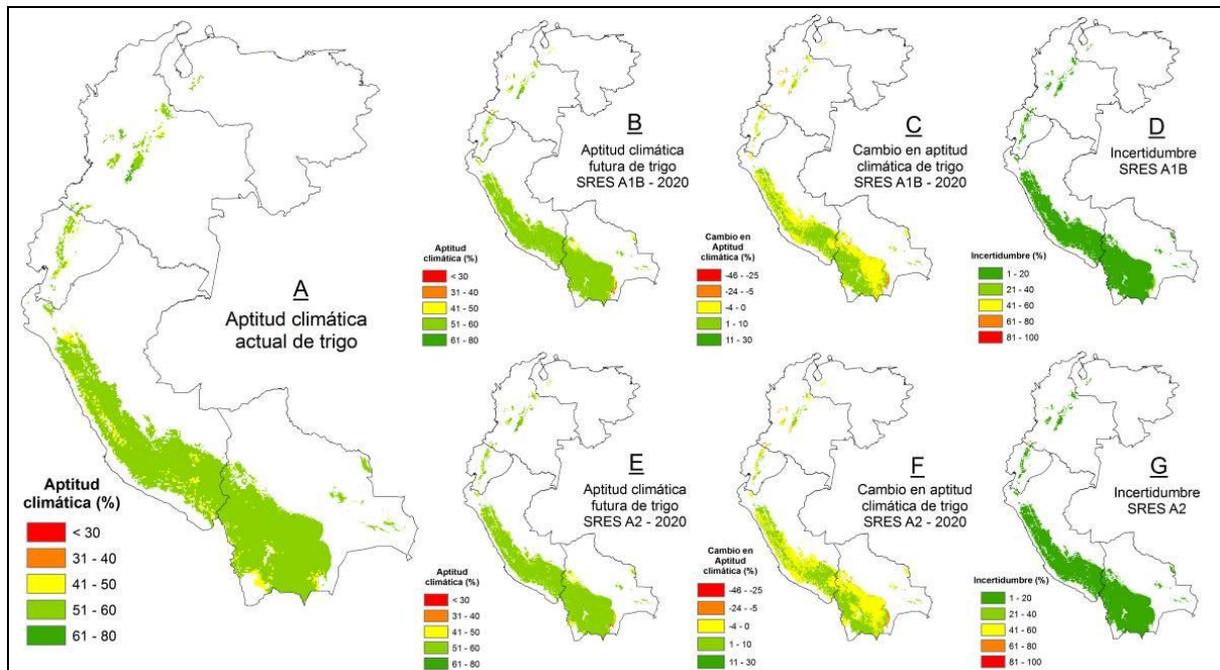


Figura 33. Aptitud climática de trigo usando Maxent

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

En la Figura 33, las proyecciones del cultivo de trigo en 2020 se restringen a áreas significativamente aptas los países de Perú y Bolivia. Muy probablemente, la principal razón para esto muy es que la mayoría de los puntos de evidencia provienen de estos países. Se identifican las zonas central, occidental y sur de Perú, así como la occidental y suroccidental en Bolivia (51% a 60% de aptitud climática). Los mapas de cambio (C y F) dejan claro que se daría una pérdida importante de aptitud climática en los dos países antes mencionados (-4% a 0%), siendo mayor el impacto observado en SRES-A2. No se observan cambios significativos en 2050 (Figura 34).

En términos de incertidumbre, se aprecia que ésta sería baja, pues estaría en el rango de 1% - 20% para prácticamente la totalidad de las áreas proyectadas. Cabe anotar una vez más, que el hecho de encontrar la mayor parte de las áreas proyectadas sobre dos de los cinco obedece al sesgo que tienen los puntos sobre los resultados finales, además de la restricción de que los 500 msnm.

Entre tanto, la Figura 35 ilustra como a futuro se reportarían disminuciones en la aptitud climática del cultivo. No obstante, sobre los 3,700 y los 4,900 msnm se observa un ligero aumento de la aptitud climática del cultivo, alcanzando incluso 51% de beneficio.

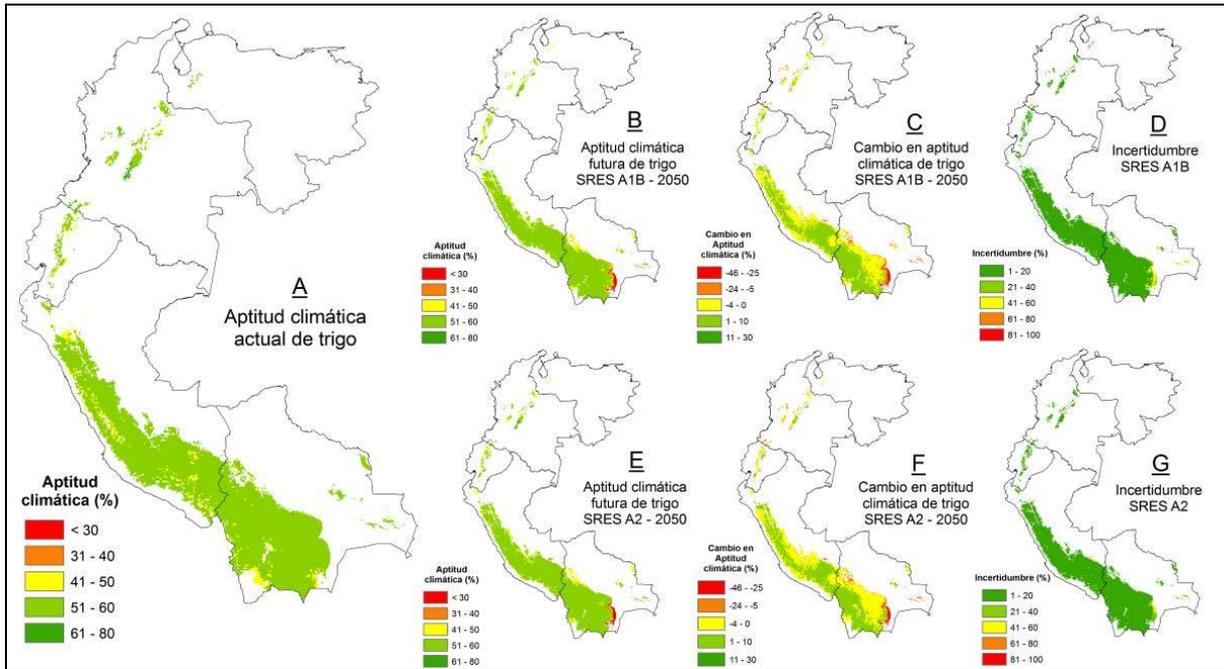


Figura 34. Aptitud climática de trigo usando Maxent

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

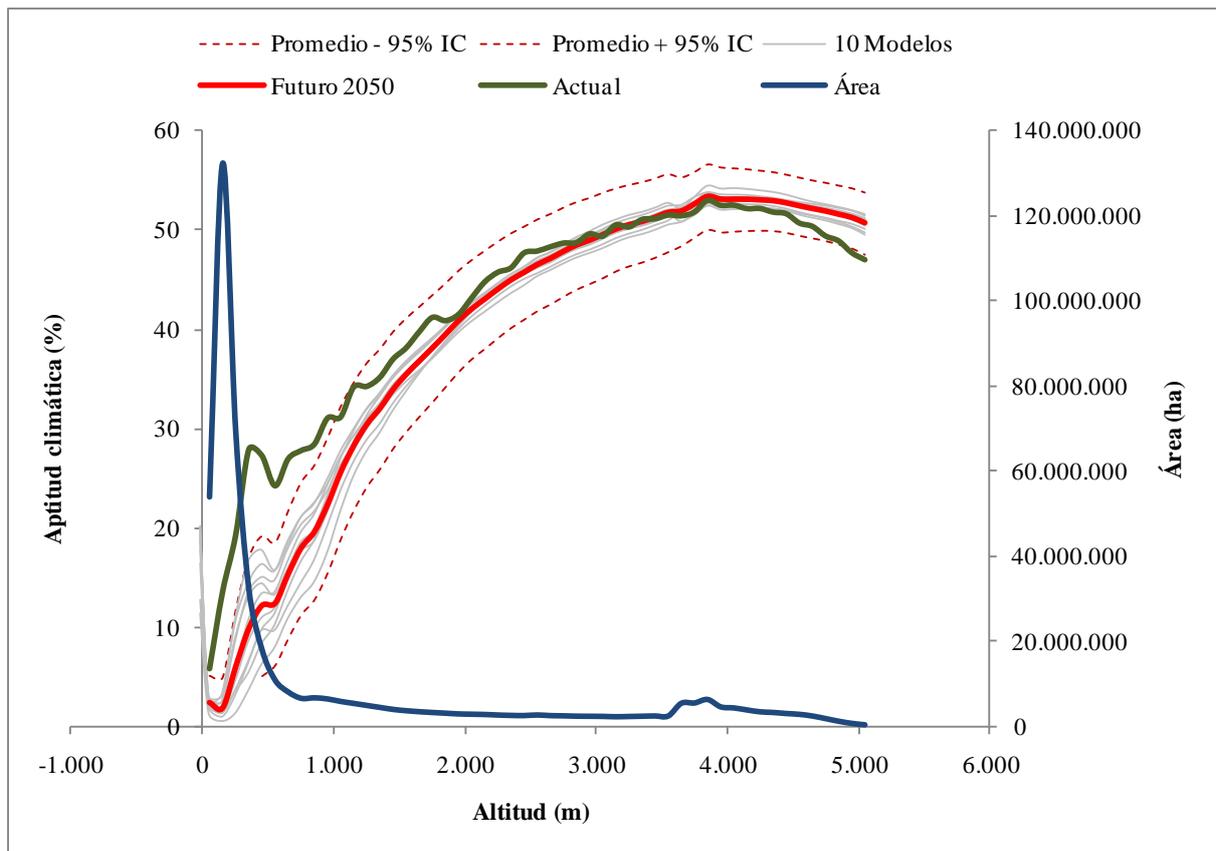


Figura 35. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de trigo

IMPACTOS SOBRE EL CULTIVO DE FRIJOL

Resultados de EcoCrop para frijol

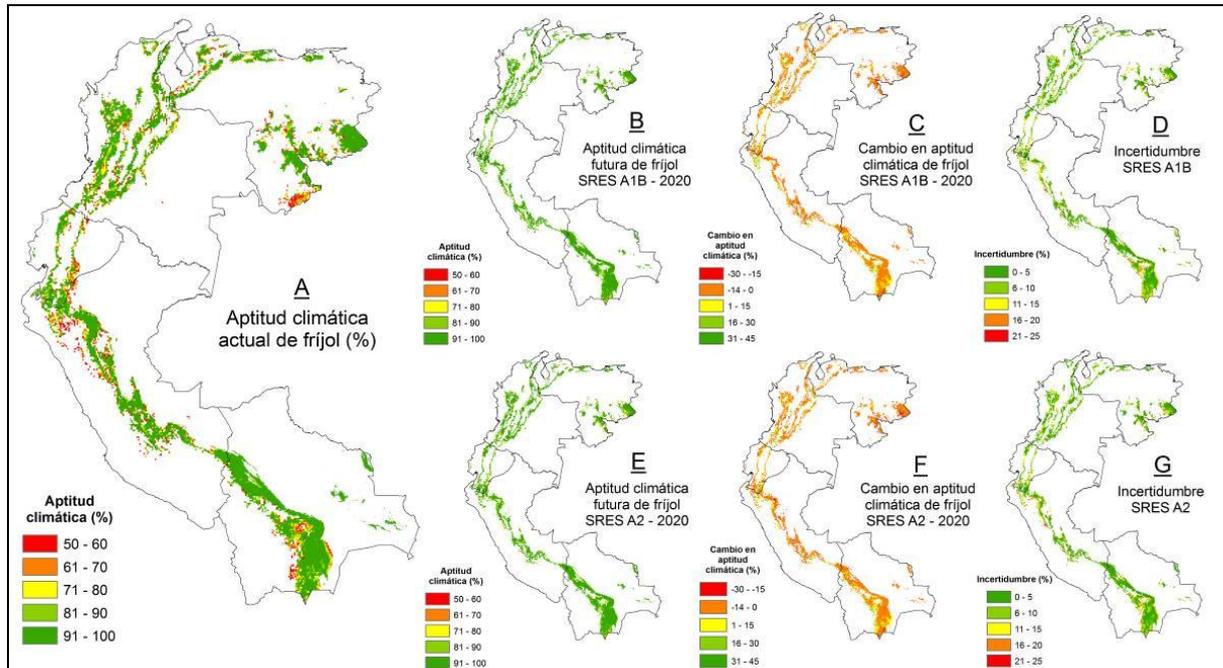


Figura 36. Aptitud climática de frijol usando EcoCrop

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

La Figura 36 demuestra que, según las proyecciones de EcoCrop (A), el cultivo de frijol se adapta muy bien en la actualidad entre los 1,100 y 1,800 msnm, es por tal razón Andes Tropicales cuentan con condiciones de aptitud idóneas para que el cultivo crezca. Algunas áreas dispersas sobre el sur de Venezuela, noroccidente de Perú y Sur de Bolivia manifiestan aptitud climática en los rangos que van desde 50% a 80%, las mismas que a futuro (B y E) desaparecerían según las proyecciones del modelo. Las figuras C y F son un claro ejemplo de la pérdida en aptitud climática descrita hasta el momento, según estas figuras la mayor parte del área involucrada estaría en el rango de cambio en aptitud climática comprendido entre -14% y 0%.

El cultivo del frijol presentaría pérdidas de aptitud climática a futuro dentro del rango de cambio comprendido entre -14%

En términos de incertidumbre, podría existir confianza en que los modelos apuntan hacia la misma dirección del promedio, dado que mayor parte del área proyectada como apta para el crecimiento del cultivo en la actualidad y a futuro cuenta con baja incertidumbre (0 - 5%)

La Figura 37 ayuda a comprender la disminución en la aptitud climática del cultivo, ilustrando que entre los 1,100 y 1,800 msnm la aptitud climática del frijol es aproximadamente de 83% y bajaría hasta 78% sobre los 1,800 msnm (2050), viéndose involucradas aproximadamente 118 millones de hectáreas (área física) por este cambio negativo en la aptitud climática.

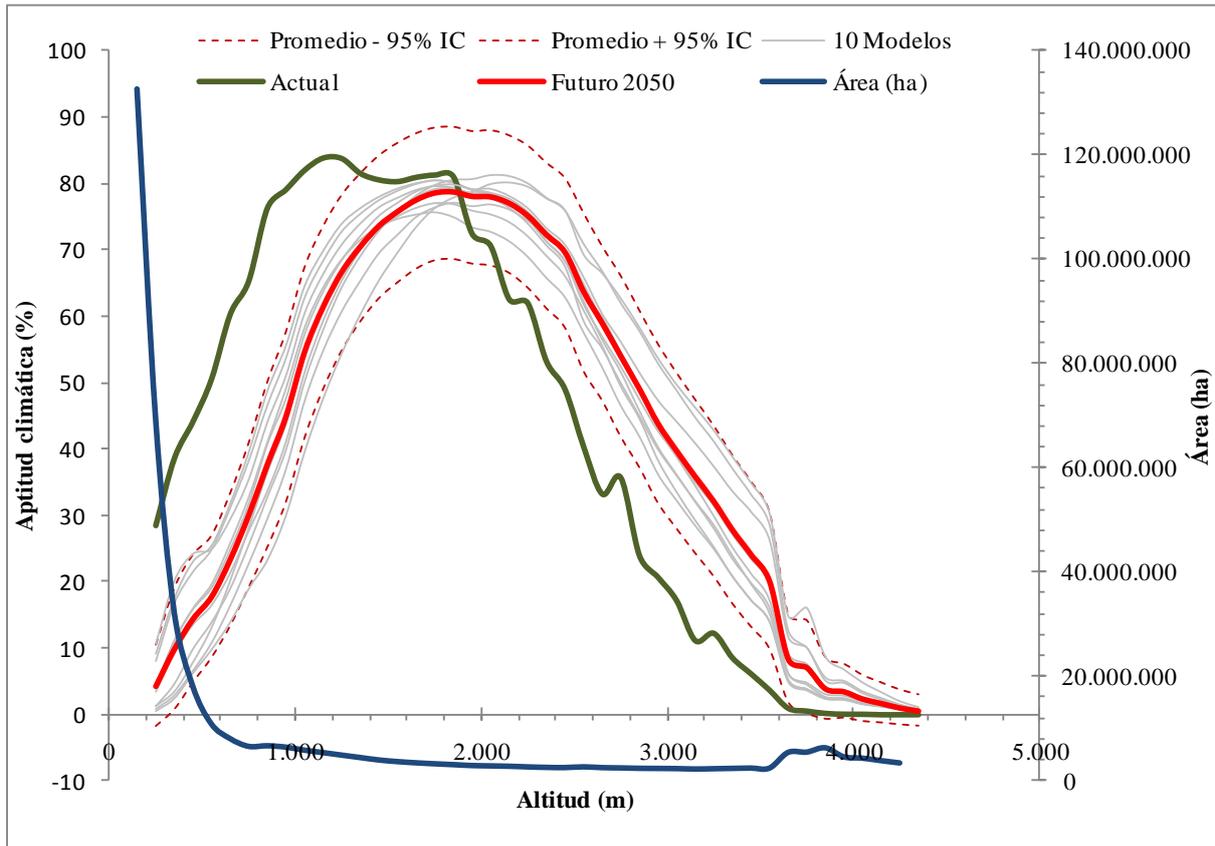


Figura 37. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de frijol

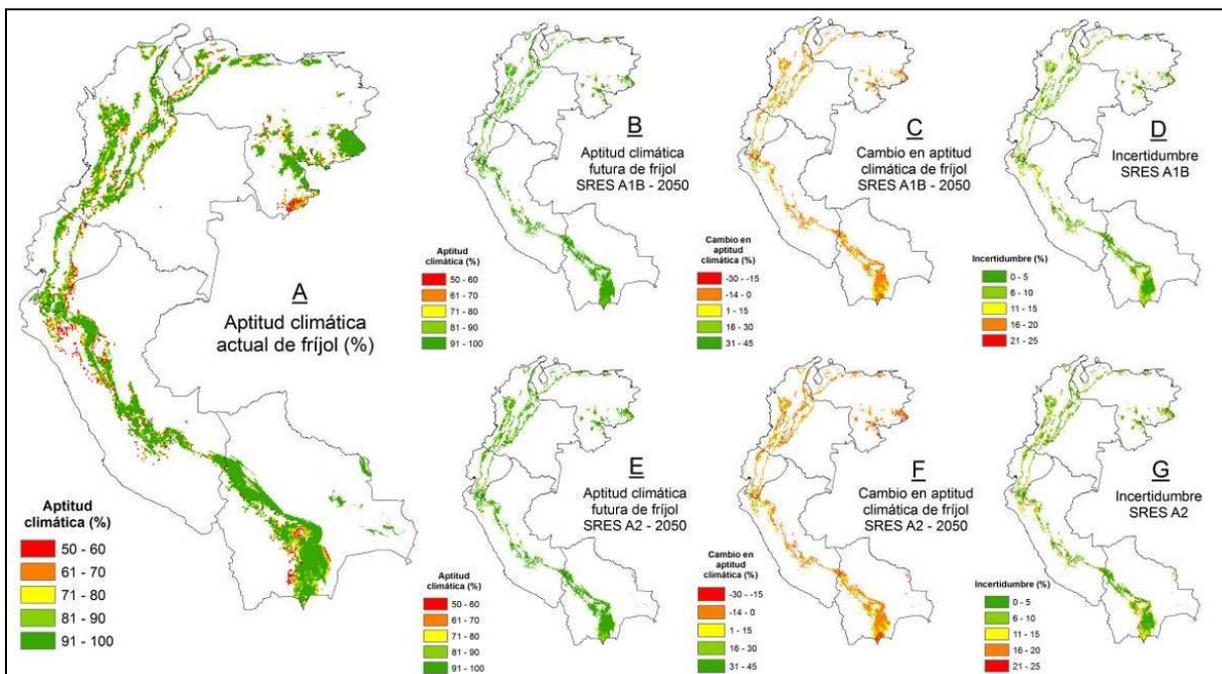


Figura 38. Aptitud climática de frijol usando EcoCrop

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

En el año 2050 (Figura 38) los cambios en aptitud climática serían muchos más drásticos, principalmente sobre el sur de Bolivia y centro-oriente de Venezuela (C y F), donde dicho cambio llegaría a ser incluso de -30% en el SRES-A2. La incertidumbre (D y G) continuaría siendo baja en las proyecciones, dando a entender que podría existir confianza en lo que proyectan los modelos.

Resultados de Maxent para frijol

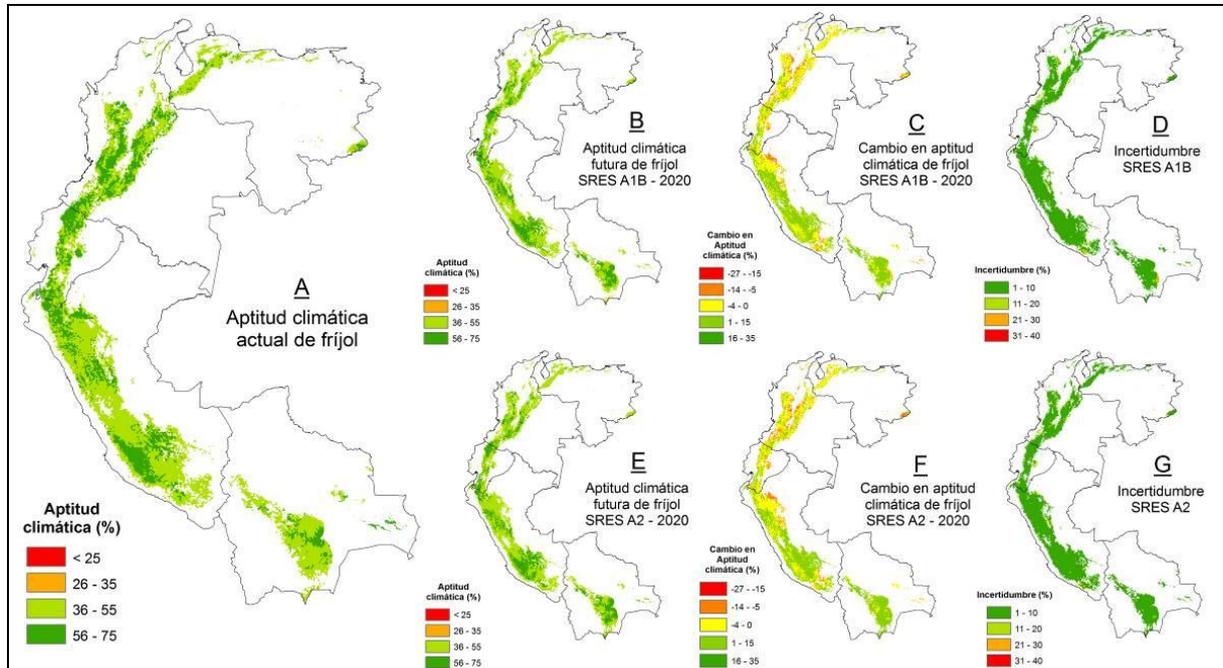


Figura 39. Aptitud climática de frijol usando Maxent

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

La Figura 39 detalla las proyecciones para el cultivo de frijol (A) señalan como áreas aptas para el crecimiento del cultivo los sitios más altos de los Andes Tropicales con porcentajes de aptitud climática que varían entre 36% y 75. A futuro (B y E) no se presentarían muchos cambios respecto de la situación actual, excepto por algunas áreas que disminuirían notablemente su aptitud climática sobre el oriente de Venezuela. Los mapas de cambio (C y F) en dejan claro la tendencia a la pérdida de aptitud climática (-4% a 0%) en prácticamente la totalidad de los Andes Tropicales, exceptuando el centro-occidente y suroccidente de Perú y el sur de Bolivia, en ambos escenarios de emisiones. En términos de incertidumbre, las proyecciones de escenarios de emisiones indican que ésta sería baja, en el orden del 1% al 10%.

Los mapas de cambio en dejan claro la tendencia a la pérdida de aptitud climática (-4% a 0%) en prácticamente la totalidad de los Andes Tropicales, exceptuando el centro-occidente y suroccidente de Perú y el sur de

La Figura 40, por su parte señala que B y E describen una situación un poco más grave para el cultivo en el año 2050, dado que serían considerables los sitios que bajarían del rango más alto de aptitud climática a rango entre 36% y 55%. En términos de cambio en aptitud climática las figuras C y F exponen áreas con cambios negativos principalmente en

Venezuela, Colombia, Ecuador y norte de Perú. La incertidumbre de estas proyecciones sería baja, estarían en el orden de 1% al 10%.

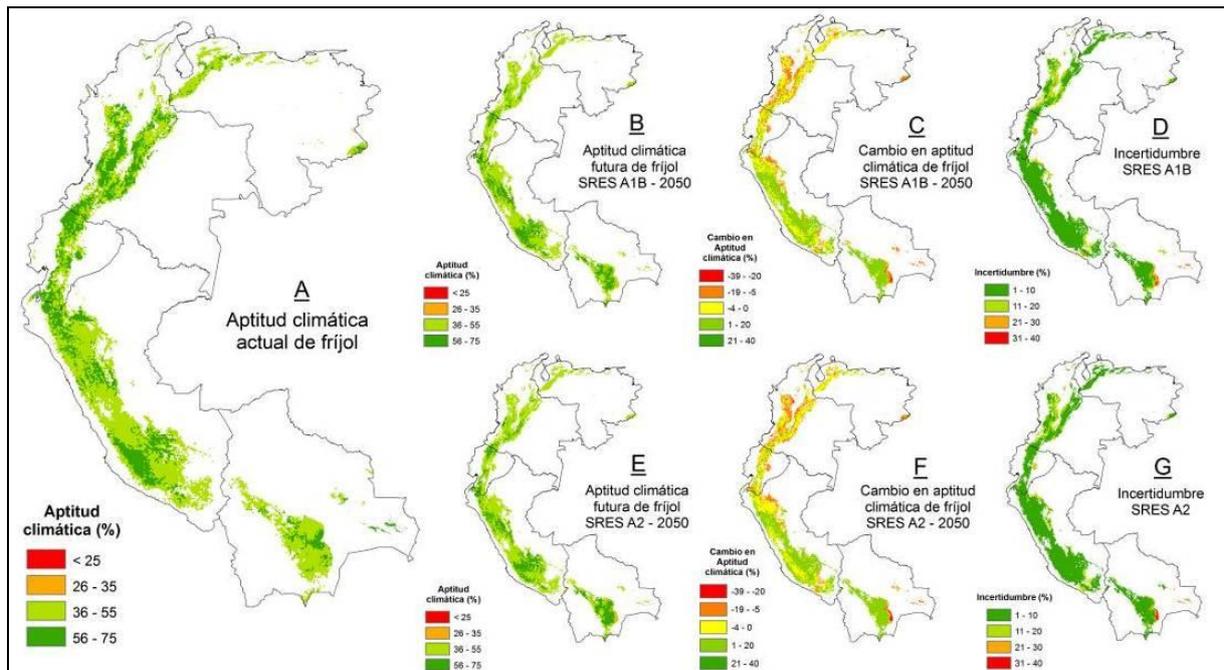


Figura 40. Aptitud climática de frijol usando Maxent

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

La Figura 41 demuestra como a futuro no habrían beneficios para el cultivo de frijol, pues la aptitud climática del cultivos en 2050 se mantendría casi que a la par de la aptitud climática actual.

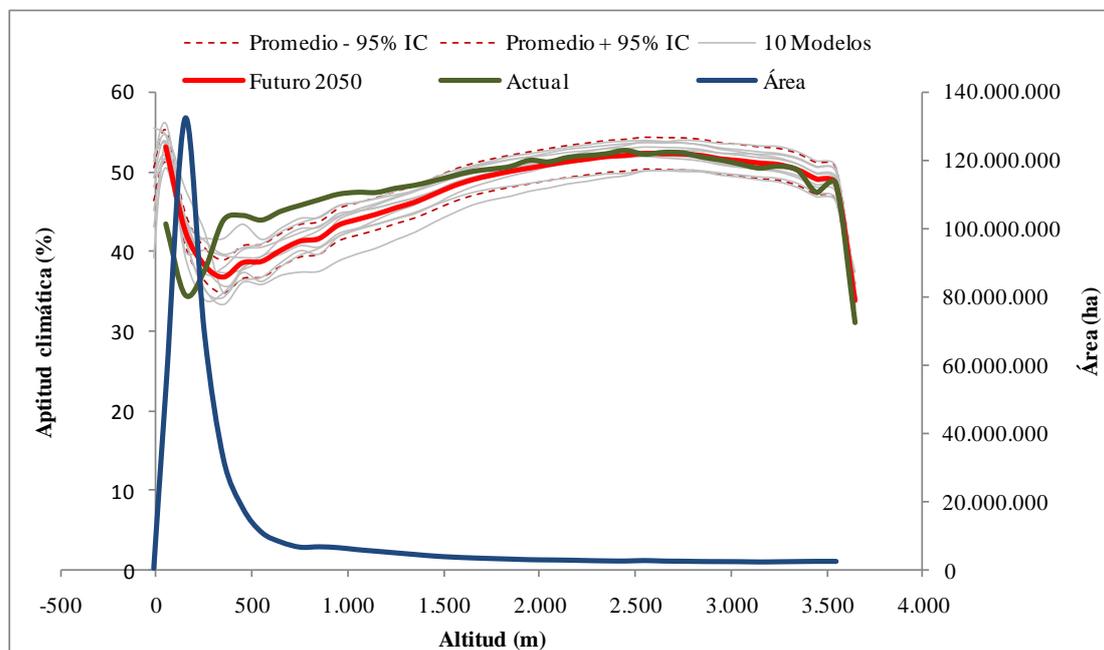


Figura 41. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de frijol según Maxent

IMPACTOS SOBRE EL CULTIVO DE CAFÉ

Resultados de EcoCrop para café

En la Figura 42, los Andes Tropicales en general presentan condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo (A). Estas condiciones se encuentran en áreas donde las alturas no superan los 2,000 msnm. Se observa como en el centro de Ecuador y el sur de Perú existen áreas sin aptitud para el cultivo, al igual que hacia el sur de Bolivia, donde las condiciones para el crecimiento del cultivo son buenas pero se mantienen rangos que van del 50% al 80% de aptitud climática.

A futuro (B y E), sobre el centro de Venezuela, sur de Bolivia y noroccidente de Perú, sería notable la pérdida de áreas que se encontraban en los rangos de aptitud climática comprendidos entre 50% al 80%. Las figuras C y F de cambio en aptitud climática validan lo dicho anteriormente, pues muestran que prácticamente la totalidad de las áreas aptas en la actualidad pasarían a perder aproximadamente 4% de su aptitud. La confianza en las proyecciones es alta dado que los valores de incertidumbre son bajos en las áreas donde los modelos hacen sus señalamientos. Estos valores de incertidumbre se encuentran entre 0% y 5%.

La confianza en las proyecciones es alta dado que los valores de incertidumbre son bajos, entre 0% y 5%.

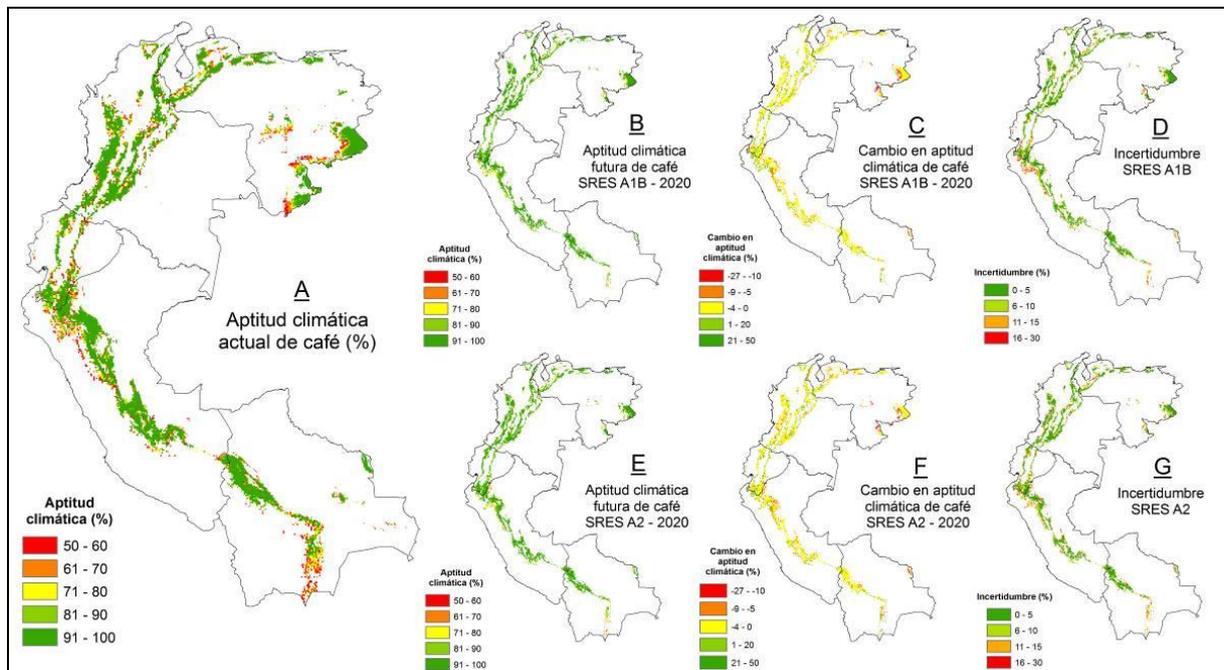


Figura 42. Aptitud climática de café usando EcoCrop

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2020-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B
- D. Incertidumbre en 2020-A1B
- E. Aptitud climática en 2020-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2020-A2
- G. Incertidumbre en 2020-A2

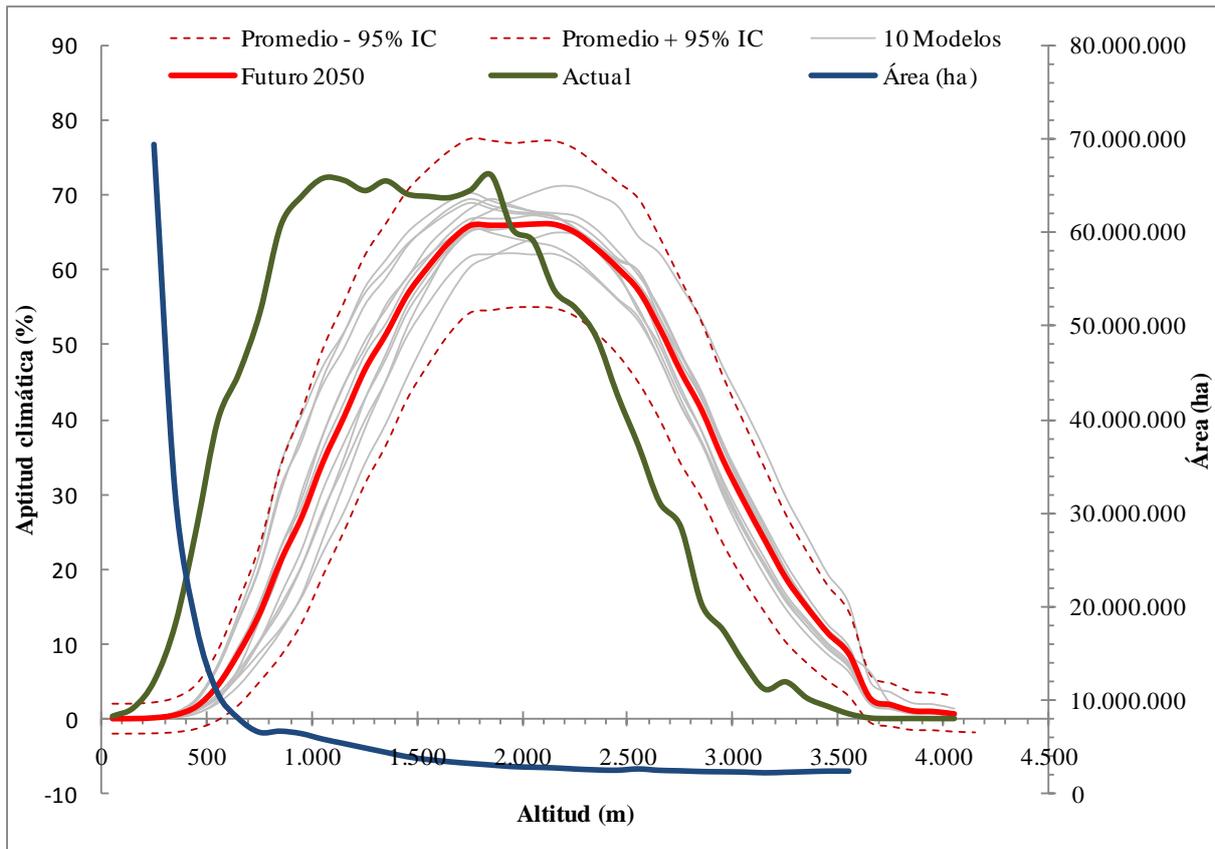


Figura 42. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de café

La Figura 43 muestra la pérdida en aptitud climática del cultivo sobre su nicho actualmente óptimo, el cual se encuentra entre los 1,000 y 1,850 msnm (áreas con 70% de aptitud climática) donde, además, aproximadamente 64 millones de hectáreas (área física) se verían afectadas por dicho cambio. Es clara la tendencia a la disminución en aptitud climática, no obstante, entre los 2,000 y 2,200 msnm aparecería un nuevo nicho para el cultivo y aproximadamente 60 millones de hectáreas se encontrarían en condiciones adecuadas para el crecimiento del café. Figura 44 - Por su parte, la situación hacia el año 2050 deja claro que los impactos negativos sobre el cultivo aumentarían (B y E), haciéndose aún más evidentes la pérdida de áreas con condiciones idóneas para el crecimiento del cultivo, además de que el cambio en aptitud climática (C y F) se agravaría, encontrándose cada vez más áreas donde el rango de cambio estaría entre -20 y 0% de aptitud climática.

Es clara la tendencia a la disminución en aptitud climática; no obstante, entre los 2,000 y 2,200 msnm aparecería un nuevo nicho para el cultivo y aproximadamente 60 millones de hectáreas.

Por su parte, la incertidumbre (D y G) continua siendo baja, pues la mayoría de áreas dentro de las proyecciones se mantendrían en el rango 0 a 5%. Estos resultados son muy similares en los dos escenarios de emisiones, sin embargo, el SRES-A2 tiende a ser levemente más drástico que SRES-A1B.

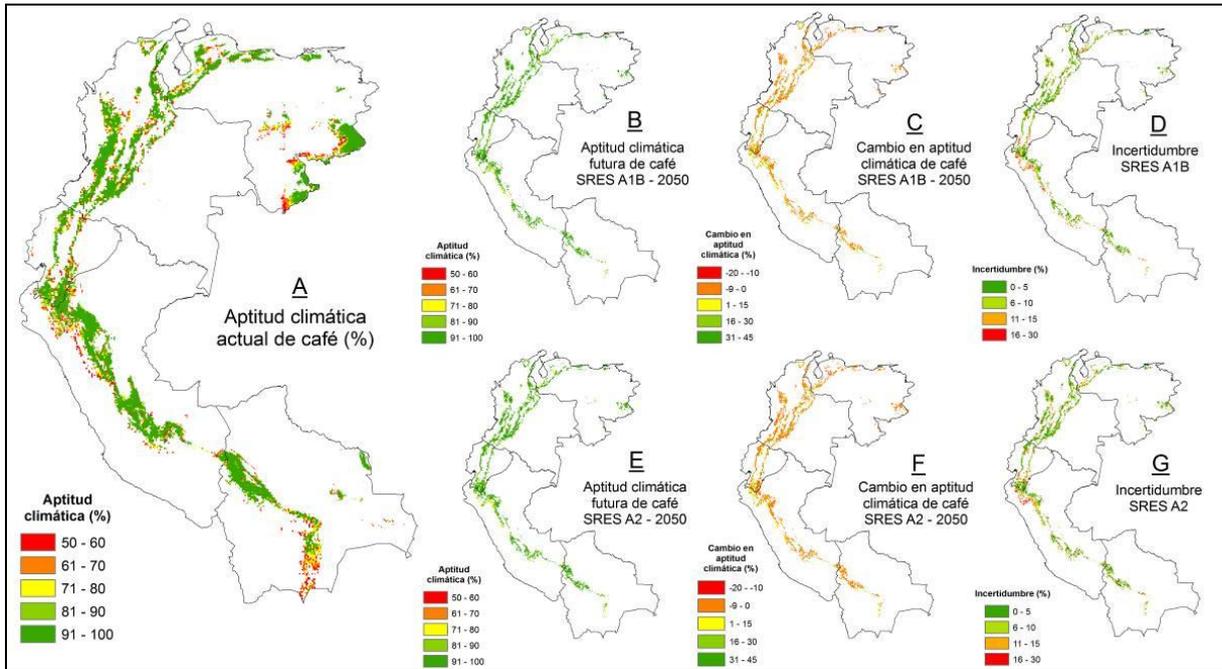


Figura 44. Aptitud climática de café usando EcoCrop

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

Resultados de Maxent para café

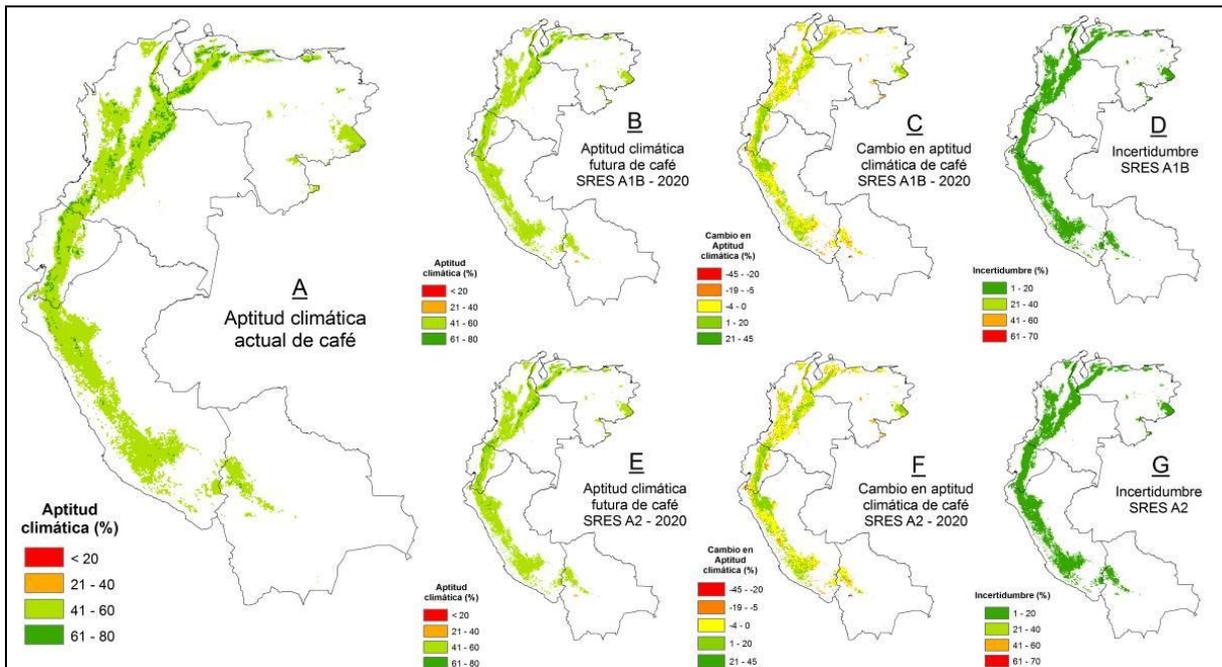


Figura 45. Aptitud climática de café usando Maxent

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2020-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B
- D. Incertidumbre en 2020-A1B
- E. Aptitud climática en 2020-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2020-A2
- G. Incertidumbre en 2020-A2

En la Figura 45 es considerablemente importante el área física con aptitud climática en el rango 41% a 60% en la actualidad (A). A futuro (B y E) no se observarían cambios importantes en la aptitud del cultivo. En términos de cambio (C y F) la mayor parte de las áreas presentarían pérdidas (-4% a 0%), excepto en Ecuador y norte de Perú, donde la aptitud climática se incrementaría incluso hasta el 20%.

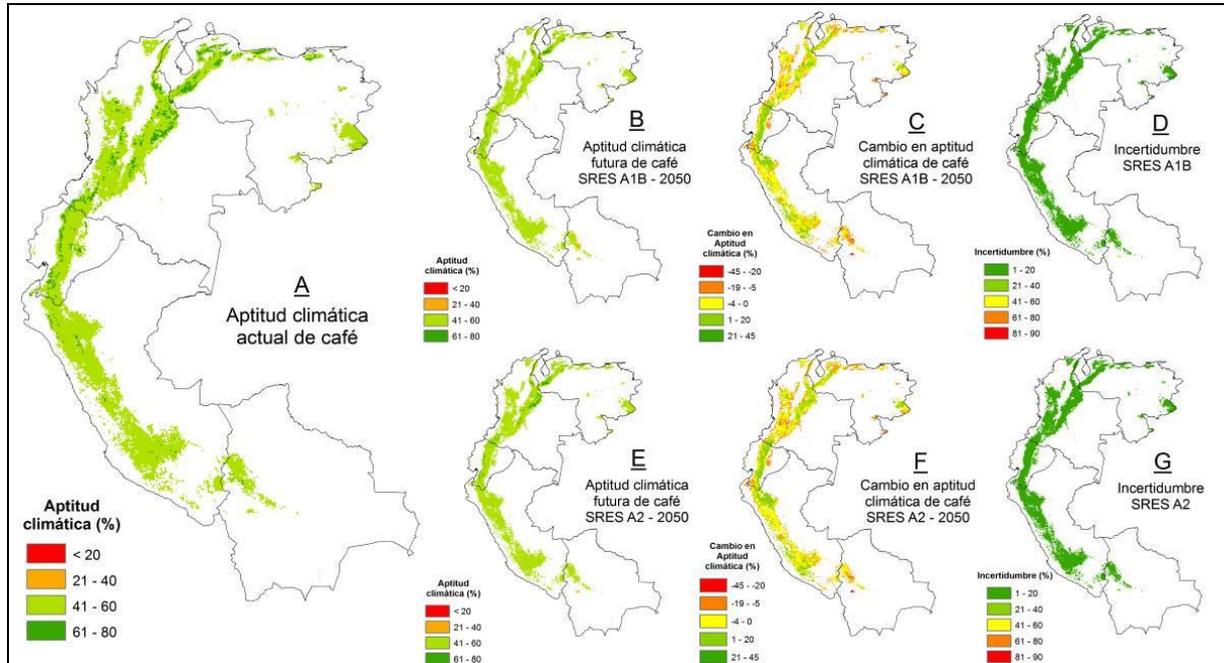


Figura 46. Aptitud climática de café usando Maxent

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2050-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B
- D. Incertidumbre en 2050-A1B
- E. Aptitud climática en 2050-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2050-A2
- G. Incertidumbre en 2050-A2

La incertidumbre por su parte sería relativamente baja, pues la mayoría de áreas proyectadas por los modelos hablan de un valor de 1 a 20%. Como sería de esperarse, para el año 2050 (Figura 46) los impactos negativos serían un poco más drásticos excepto en Ecuador (C y F), pero la incertidumbre continuaría siendo baja (1% - 20%).

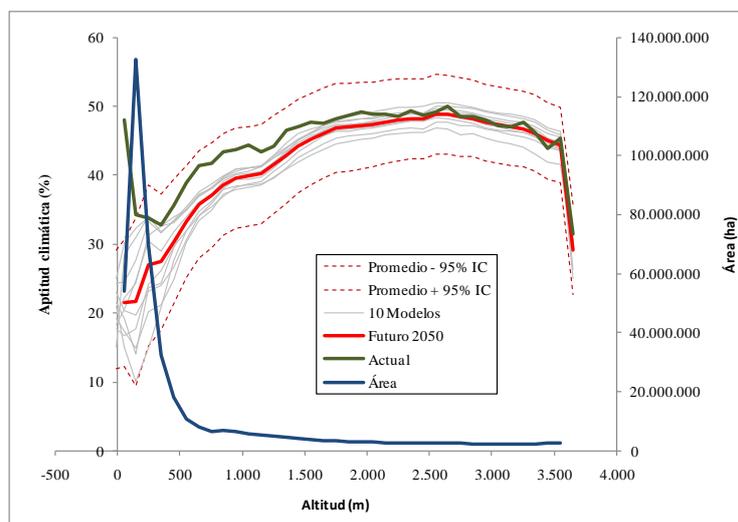


Figura 47. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de café según Maxent

La Figura 47 demuestra como a futuro no habrían beneficios para el cultivo de café, pues la aptitud climática del cultivos en 2050 se mantendría casi que a la par de la aptitud climática actual.

IMPACTO SOBRE EL CULTIVO DE PAPA

Resultados de EcoCrop para Papa

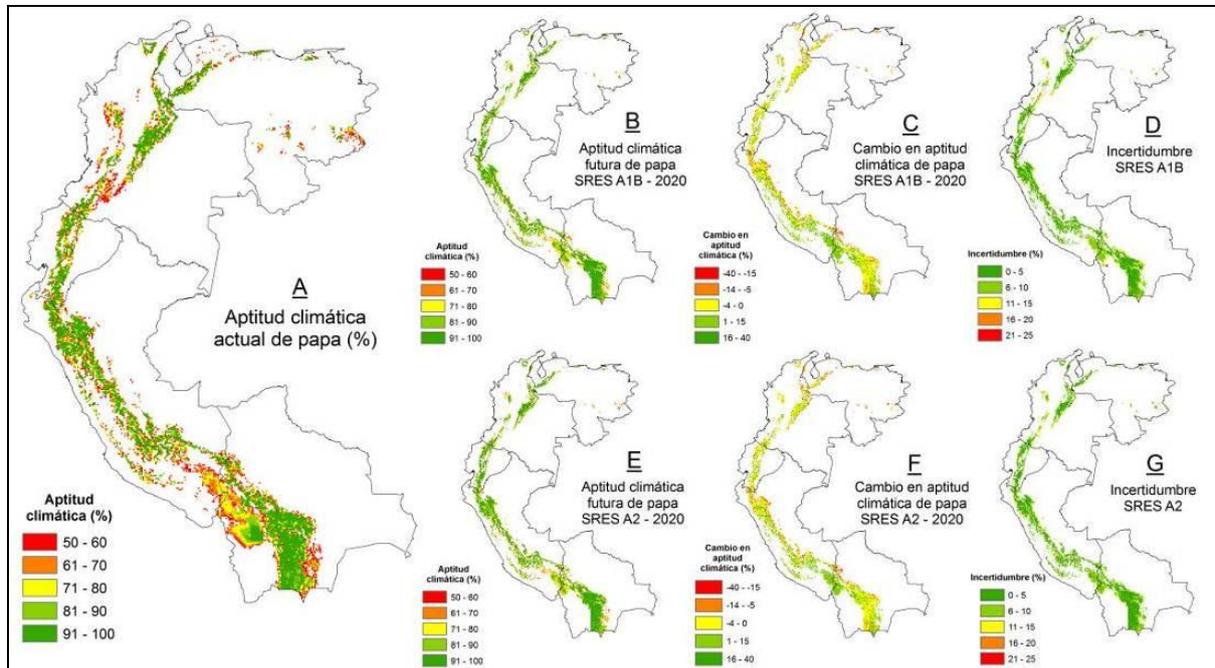


Figura 48. Aptitud climática de papa usando EcoCrop

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2020-A2 |
| B. Aptitud climática en 2020-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2020-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B | G. Incertidumbre en 2020-A2 |
| D. Incertidumbre en 2020-A1B | |

La Figura 48 detalla el cultivo de papa crece muy bien a través de todos los Andes Tropicales (A). Según lo proyectado por EcoCrop, los países con mayor aptitud climática para el cultivo serían Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, con una cantidad de áreas significativamente importante, donde el rango de aptitud climática estaría entre 91% y 100. Sin embargo, son también significativas las extensiones de área que mantienen condiciones un poco menos adecuadas para el cultivo (60 a 80%), esto es observable principalmente al occidente de Bolivia y suroccidente de Colombia. Hacia el futuro (B y E), la mayoría de las zonas dentro de los rangos más bajos de aptitud climática desaparecerían en Bolivia y Colombia, pero los nichos óptimos se mantendrían, lo cual indica que desaparecerían los cultivos de las zonas más bajas. Por su parte, el cambio en aptitud climática (C y F) sería en gran parte negativo (-4% - 0%), sin dejar de existir zonas donde la aptitud del cultivo tendería a incrementar, siendo el caso de la frontera entre Perú y Bolivia, donde las condiciones mejorarían (1% - 15%). En términos de incertidumbre, se podría considerar que los modelos brindan confianza

La mayoría de las zonas dentro de los rangos más bajos de aptitud climática para la papa desaparecerían en Bolivia y Colombia, pero los nichos óptimos se mantendrían, lo cual indica que desaparecerían los cultivos de las zonas más bajas.

en ambos escenarios, pues la mayoría del área involucrada presentaría una incertidumbre de 0% a 5%.

La Figura 49 por su parte, las figuras B y E describen una situación similar a la presentada en el año 2050 pero el cambio en aptitud climática manifiesta mayores pérdidas en Bolivia, Perú y Colombia, pero un aumento significativo en la frontera entre Perú y Bolivia, donde los beneficios están por el orden de 16% al 40%. Otro punto a favor de las proyecciones realizadas por EcoCrop, es que la incertidumbre continúa siendo baja para área de estudio (0 y 10%).

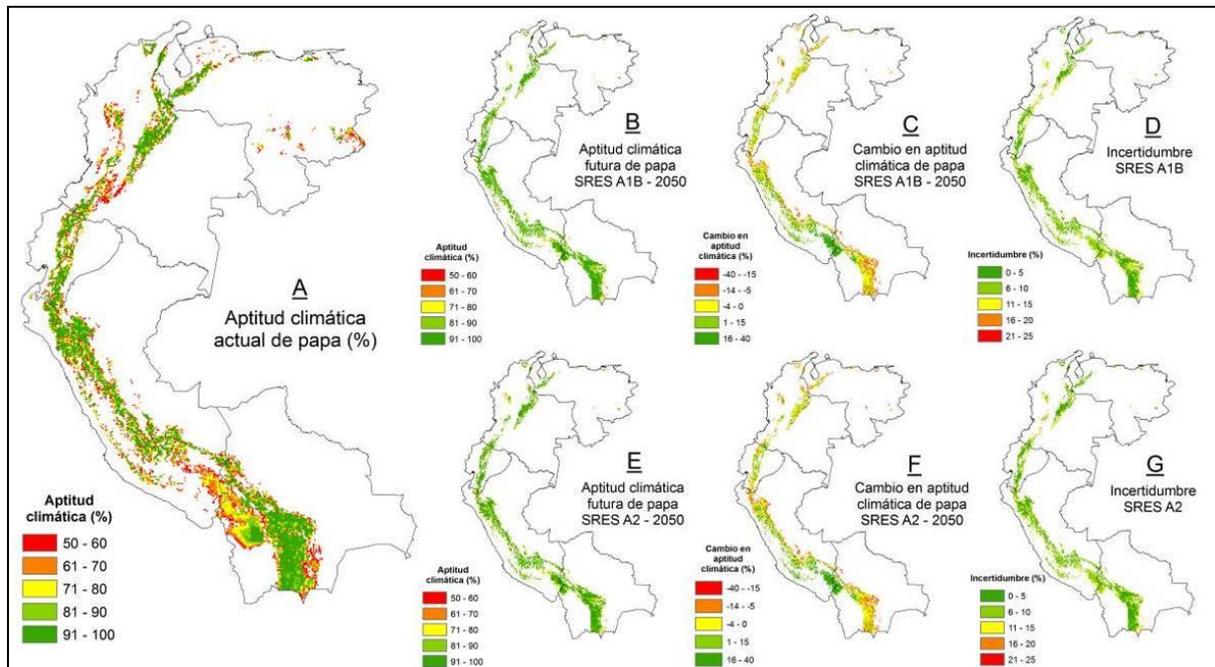


Figura 49. Aptitud climática de papa usando EcoCrop

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2050-A2 |
| B. Aptitud climática en 2050-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2050-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B | G. Incertidumbre en 2050-A2 |
| D. Incertidumbre en 2050-A1B | |

La Figura 50 establece un rango óptimo (80% - 86%) para el crecimiento del cultivo entre los 2,200 y 3,400 msnm donde el área involucrada es aproximadamente 16 millones de hectáreas (área física). En general se reporta pérdida en adaptabilidad para dicha zona, sin embargo, hacia 2050 aparecería un nuevo nicho para el cultivo entre los 3,000 y 3,600 msnm con adaptabilidad entre 82% y 84%.

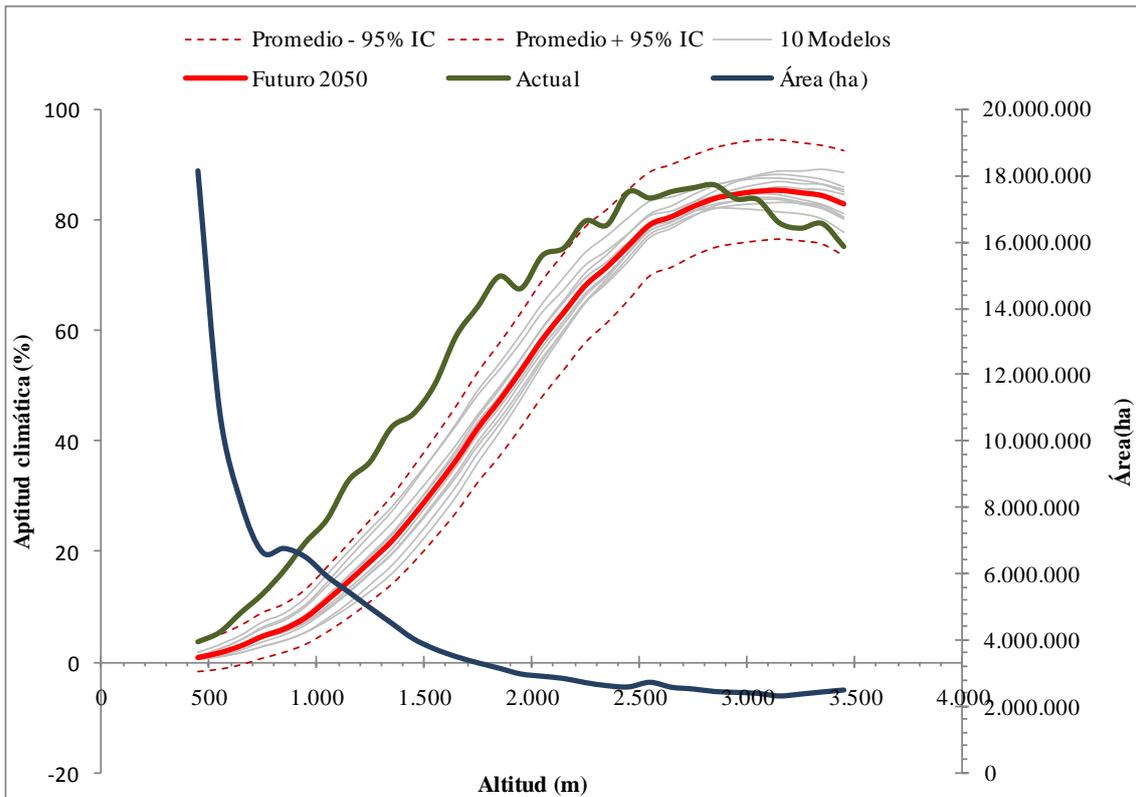


Figura 50. SRES-A1B: aptitud climática actual y futura (2050) de papa

Resultados de Maxent para papa

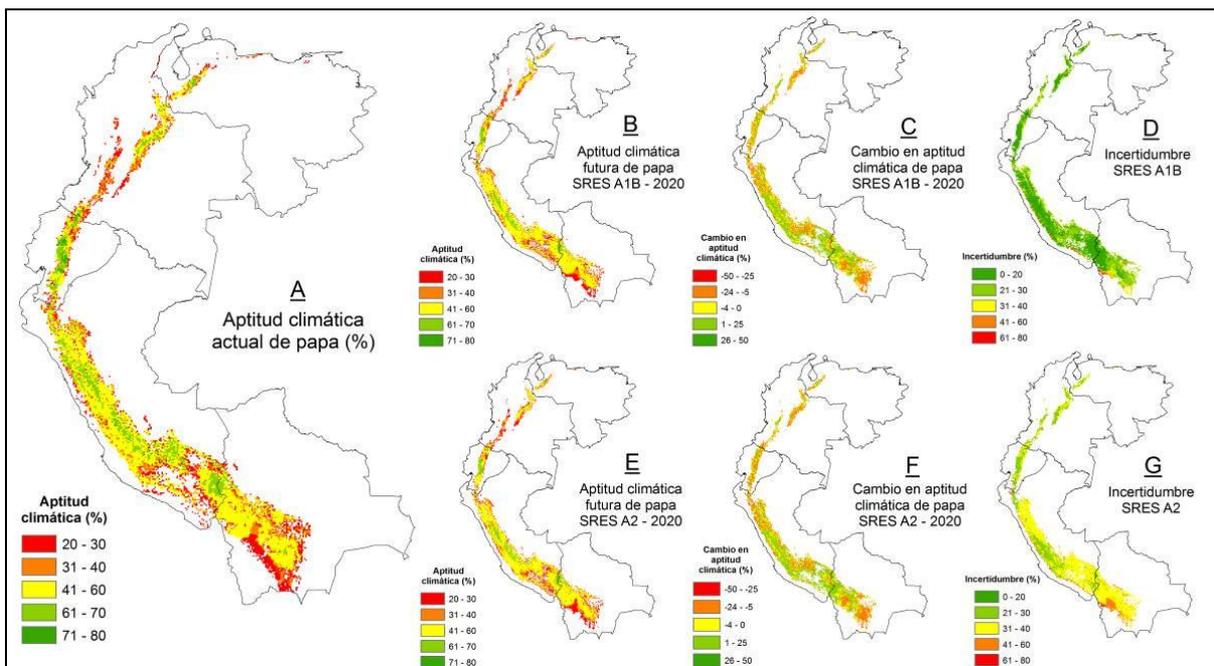


Figura 51. Aptitud climática de papa usando Maxent

- A. Aptitud climática actual
- B. Aptitud climática en 2020-A1B
- C. Cambio en aptitud climática en 2020-A1B
- D. Incertidumbre en 2020-A1B
- E. Aptitud climática en 2020-A2
- F. Cambio en aptitud climática 2020-A2
- G. Incertidumbre en 2020-A2

En la Figura 51, la aptitud climática del cultivo de papa es significativamente importante en la mayor parte del área involucrada en la modelación (A), variando entre 41% y 80%, principalmente sobre Perú y Ecuador, que son los países fuente de la mayoría de puntos de evidencia. En el año 2020 (figuras B y E) la aptitud climática del cultivo se mantendría en gran parte de las áreas, logrando así que el cambio negativo no sea tan impactante, sobre todo en Perú y occidente de Bolivia. La incertidumbre para el SRES-A1B es baja (entre 0 y 20%) mientras que para el SRES-A2 es significativa, dado que gran parte del área cuenta con incertidumbre por encima de 21% hasta 40%, cuestión que se observa claramente en Perú y Bolivia. Figura 52 - El panorama del año 2050 lo describen las figuras B y E, ahí se expone una situación donde se acentúan los efectos negativos y positivos, es decir, áreas que perdían aptitud climática continuarían haciéndolo y las áreas que ganaban aptitud climática harían lo mismo. Los mapas de cambio así lo reflejan, pues muestran ganancias en las zonas comprendidas desde el centro de Perú hacia el sur, incluso hasta llegar a Bolivia. Sin embargo, son también significativas las áreas que se ven impactadas negativamente, probablemente áreas más bajas. La incertidumbre sería menor para las proyecciones del SRES-A1B, donde gran parte del área involucrada se encuentra en el rango 0% - 20%. El SRES-A2 presenta mayor tasa de incertidumbre (21% y 40% para la mayoría de sus áreas).

En el año 2020 la aptitud climática del cultivo se mantendría en gran parte de las áreas, logrando así que el cambio negativo no sea tan impactante, sobre todo en Perú y occidente de Bolivia.

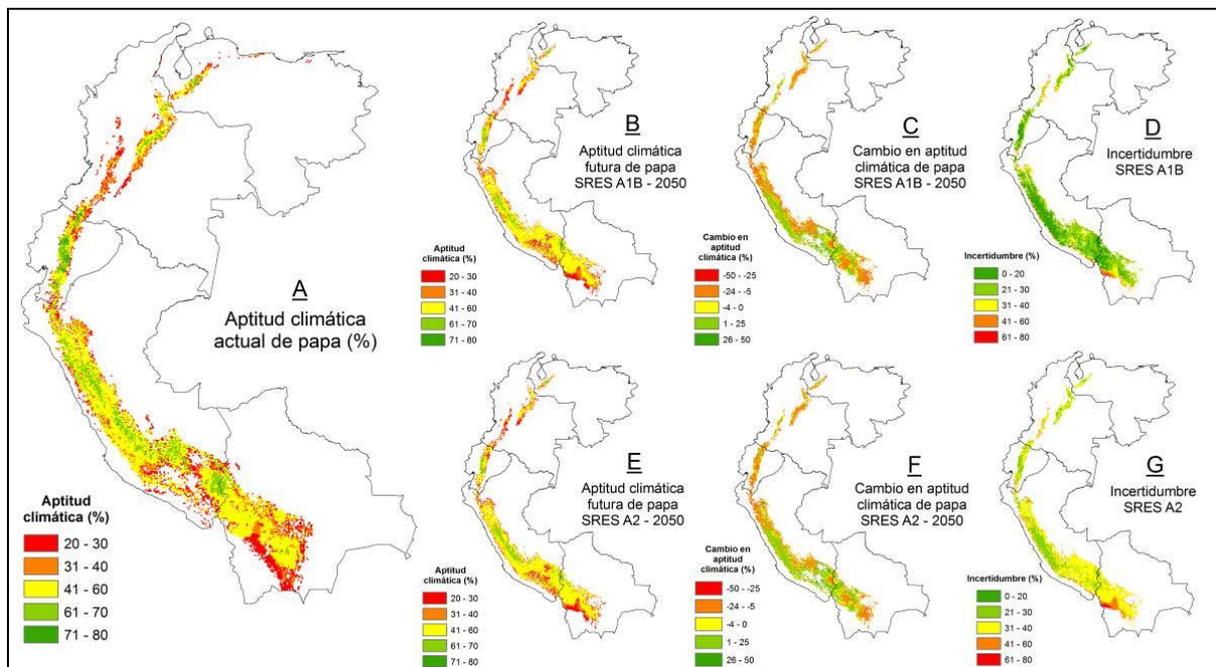


Figura 52. Aptitud climática de papa usando Maxent

- | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| A. Aptitud climática actual | E. Aptitud climática en 2050-A2 |
| B. Aptitud climática en 2050-A1B | F. Cambio en aptitud climática 2050-A2 |
| C. Cambio en aptitud climática en 2050-A1B | G. Incertidumbre en 2050-A2 |
| D. Incertidumbre en 2050-A1B | |

La aptitud climática presentada por el cultivo sobre los 3,000 y 3,600 msnm es la óptima (Figura 53). A futuro, esa misma zona pasaría de un rango de aptitud climática que varía entre 42% y 49% (actualidad) a uno que está entre 34% y 41%.

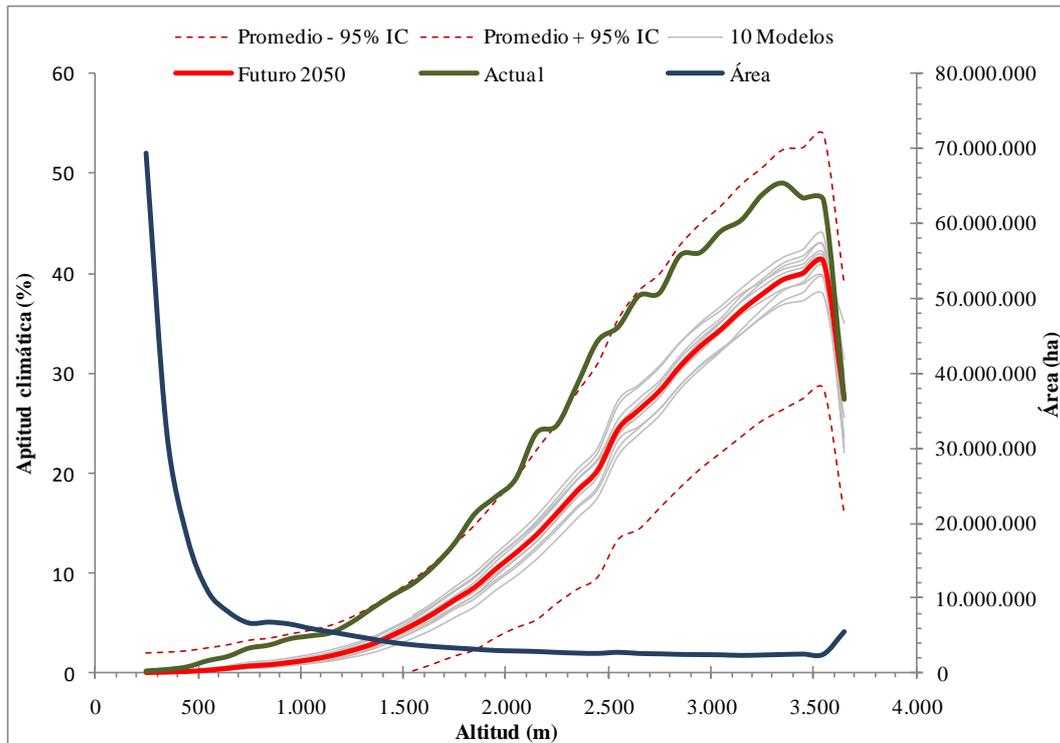


Figura 53. SRES-A2: aptitud climática actual y futura (2050) de papa en área de estudio PA

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

SITUACIÓN A ESCALA REGIONAL

En términos de área cosechada, los cultivos que se verían más afectados por los efectos del cambio climático de aquí al año 2050 serían papa (645,474 hectáreas; representa un 14.7% de la cosecha actual) y café (1.5 millones de hectáreas, o 5.5% del área cosechada actual). Por el lado de la producción, la situación de la

papa también sería la más grave, con una pérdida proyectada de más de 1.3 millón de toneladas. El segundo cultivo más afectado según las estimaciones de producción sería el café, con una pérdida proyectada de casi 57 mil toneladas. En cuanto al valor económico de la producción, el café tiene la pérdida proyectada más grande—USD⁹\$1.93 billones—no obstante, esta cifra representa solamente el 4.8% del valor actual del cultivo. En cambio, los impactos económicos para trigo serían menores en números crudos —USD\$1.57 billones— lo que representa más de un cuarto (25.5%) del valor actual.

Las peores situaciones económicas a escala regional serían las de café y papa.

⁹ Todas las cifras económicas en dólares americanos se refieren a los años 1999-2001.

SITUACIÓN A ESCALA DE PAÍSES

En esta sección también se realizará una descripción de la gravedad de la situación económica por país empezando desde el caso potencialmente más crítico hasta el de menores consecuencias negativas. La intención de esta sección es enfatizar en los países, y los cultivos dentro de estos, que necesitarían mayor atención.

Es importante aclarar, además, que los resultados aquí descritos resultaron de las estimaciones proyectadas EcoCrop para el año 2050 y el SRES-A1B. Se tomó este escenario como referencia dado que es el de menores consecuencias negativas y con el ánimo de obtener cifras que se adecúen a la probable realidad de un futuro a largo plazo, como lo es 2050.

COLOMBIA

Colombia tendría las mayores pérdidas en comparación con los demás países. Por área cosechada y producción, la papa sería el cultivo más afectado. Un poco más que 2/3 del área cosechada y 60% de la producción serían impactadas negativamente. No obstante, en términos de pérdidas del valor económico (Figura 54), la papa tiene las peores proyecciones (USD\$417 millones), seguida del café con una pérdida estimada a USD\$56 millones, sin embargo, dicho valor representa una parte relativamente pequeña (4.2%) de la cosecha actual.

Colombia presenta la peor situación de los países de la región, café y papa los más afectados.

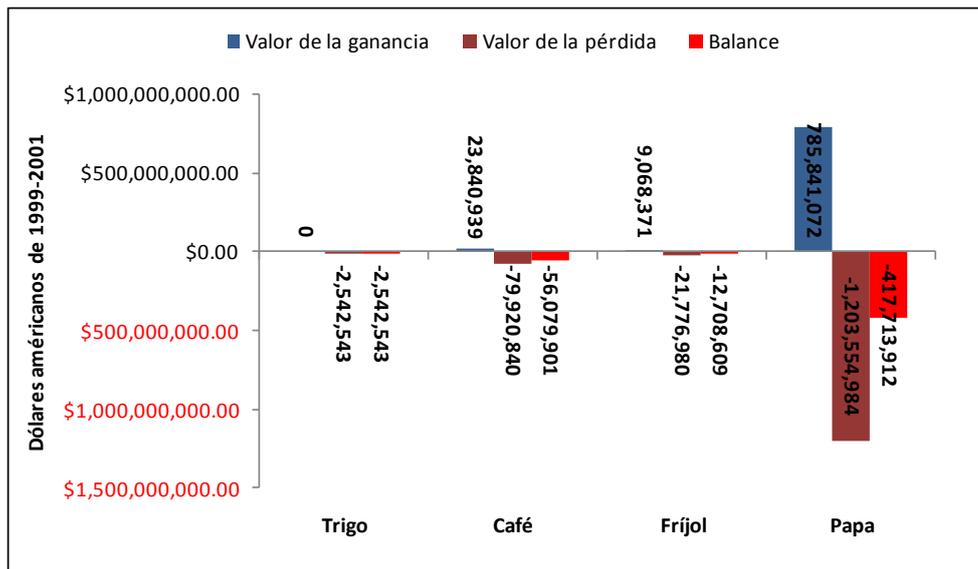


Figura 54. Valor de la ganancia, pérdida y balance para trigo, café, frijol y papa en Colombia

Por su parte, la Figura 55 ilustra en términos relativos el impacto por cultivo en Colombia. En este caso se describe la situación para café, frijol, papa y trigo. Sobresale el impacto significativo sobre los cultivos de papa (-78%) y trigo (-24.7%).

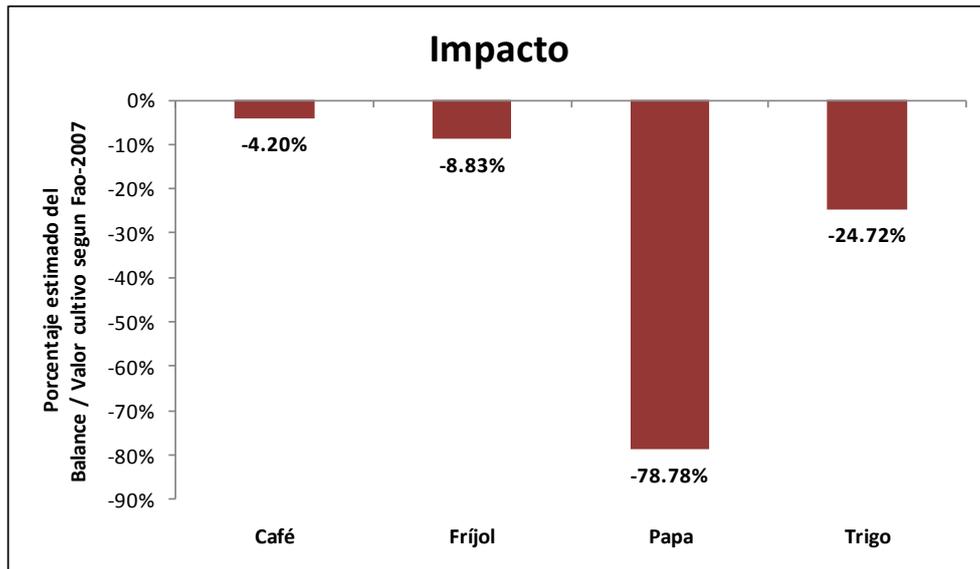


Figura 55. Impacto económico porcentual por cultivo en Colombia

VENEZUELA

Para empezar, es importante decir que para el cultivo de trigo no hubo coincidencia entre las proyecciones de EcoCrop y los datos de SPAM. También, como en el caso de los demás países, no se pudieron realizar estimaciones para tomate dado que la información de referencia proveniente de SPAM no contiene datos para dicho cultivo. Por su parte, el café sería el cultivo que más perdería en área cosechada (23,559 ha), mientras que por producción y valor económico, la papa sería el cultivo más afectado (60,609 toneladas y USD\$37.1 millones (Figura 56). El café por su parte tendría una pérdida de USD\$18.6 millones.

Cultivos más afectados serían café y papa. No se registran ganancias para ninguno de los cultivos situaciones económicas a escala regional serían las de café y papa.

La Figura 57 ilustra en términos relativos el impacto por cultivo en Venezuela. En este caso se describe la situación para café, frijol y papá, y es claramente observable que los cultivos más afectados son café (-10%) y papá (-11.2%).

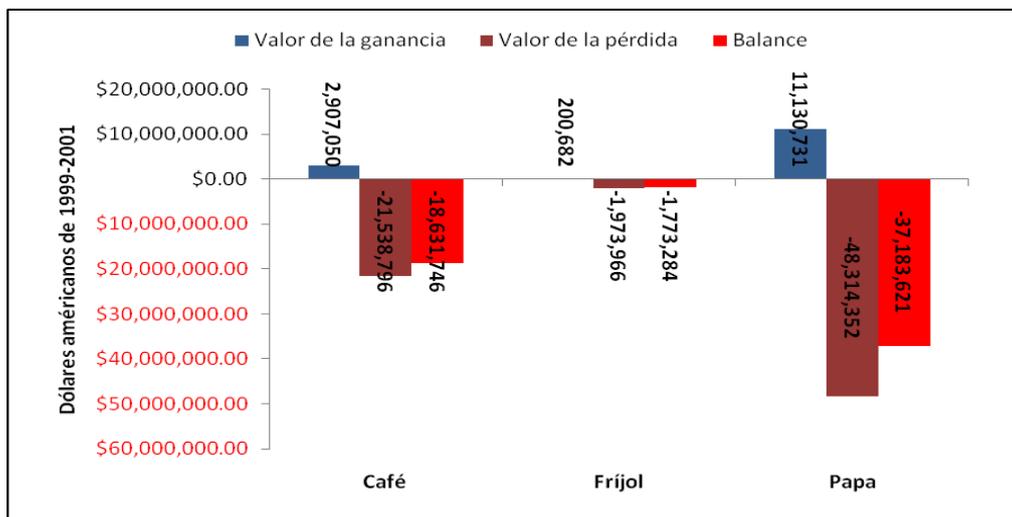


Figura 56. Valor de la ganancia, pérdida y balance para café, frijol y papa en Venezuela

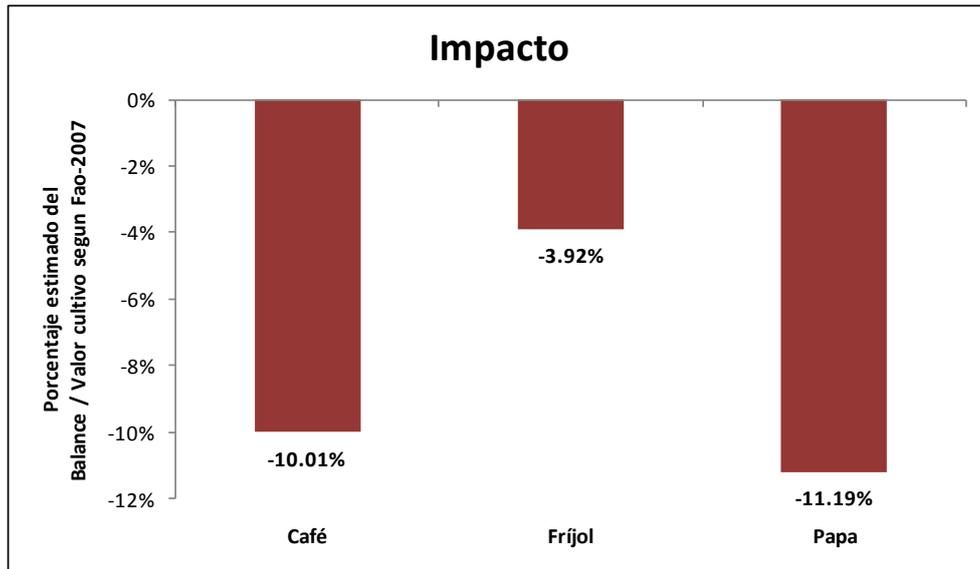


Figura 57. Impacto económico porcentual por cultivo en Venezuela

BOLIVIA

Según todas las estimaciones de área cosechada y producción, la papa es el cultivo que perdería más: según las proyecciones, 137,000 ha (o el 24.5% de la cosecha actual) y 176,968 toneladas (o el 24.1% de la producción actual). En cuanto al valor económico de la producción, la papa y el trigo experimentarían las peores pérdidas, ambos perderían aproximadamente USD\$37 millones (Figura 58).

Las peores situaciones serían las de papa, trigo y ningún cultivo tendría ganancias.

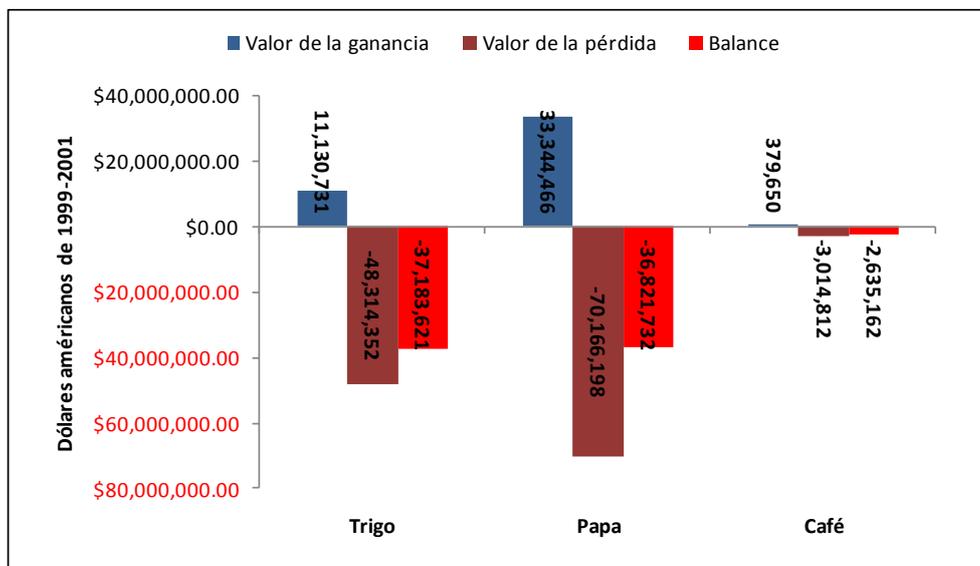


Figura 58. Valor de la ganancia, pérdida y balance para trigo, papa y café en Bolivia

La Figura 59 ilustra en términos relativos el impacto por cultivo en Bolivia. En este caso se describe la situación para café, frijol y papá, y el segundo de entre estos sería el de la situación más grave, con un impacto de -25%. Tanto el café como la papa registrarían impactos del 11% aproximadamente.

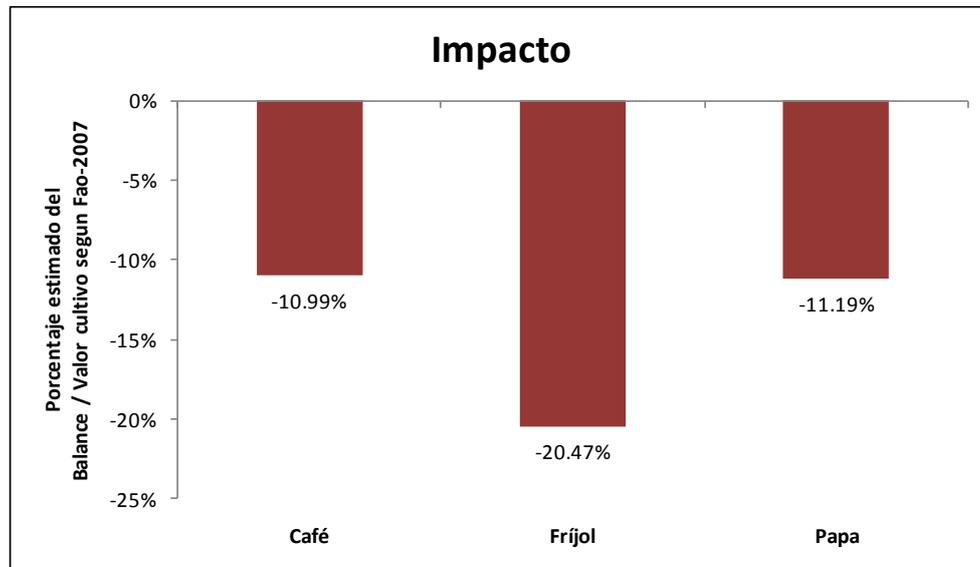


Figura 59. Impacto económico porcentual por cultivo en Bolivia

ECUADOR

El trigo con 5,470 ha y 16,065 toneladas y el café con 4,273 ha y 10,101 toneladas serían los cultivos más afectados en términos de área cosechada y producción, respectivamente. Dado que la producción existente de trigo es bastante pequeña, los impactos sobre el cultivo representan una gran parte de la cosecha y producción actual: 48.5% del área cosechada y 45.7% de la producción. En términos de valor económico (Figura 60) las pérdidas más grandes son para café (USD\$1.1 millones) y trigo (USD \$934 mil). A pesar de las pérdidas, Ecuador también tiene mucha posibilidad de adaptar y migrar sus cultivos para aprovechar las áreas que ganan aptitud climática. Las ganancias potenciales para papa podrían ser tan grandes que superarían las pérdidas. Los aumentos de aptitud climática para este cultivo tendrían un valor de USD\$3.7 millones.

Trigo y café tendrían las mayores pérdidas económicas, papa por su parte, tendría importantes ganancias.

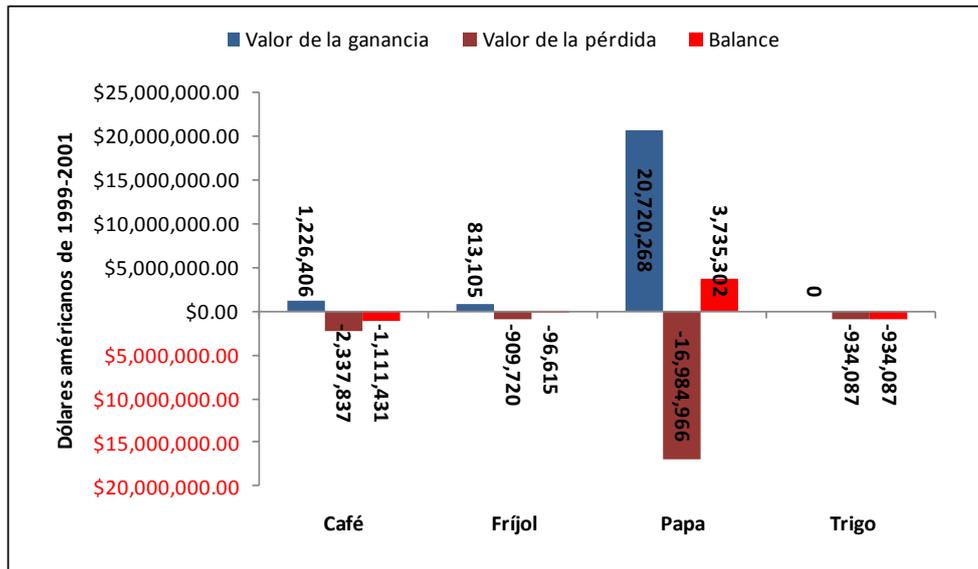


Figura 60. Valor de la ganancia, pérdida y balance para café, frijol, papa y trigo en Ecuador

La Figura 61 describe en términos relativos el impacto por cultivo en Ecuador. Como casos sobresaliente se tiene que la papa tendría un impacto positivo del 9.3%, mientras que el trigo un impacto negativo de -37.3%.

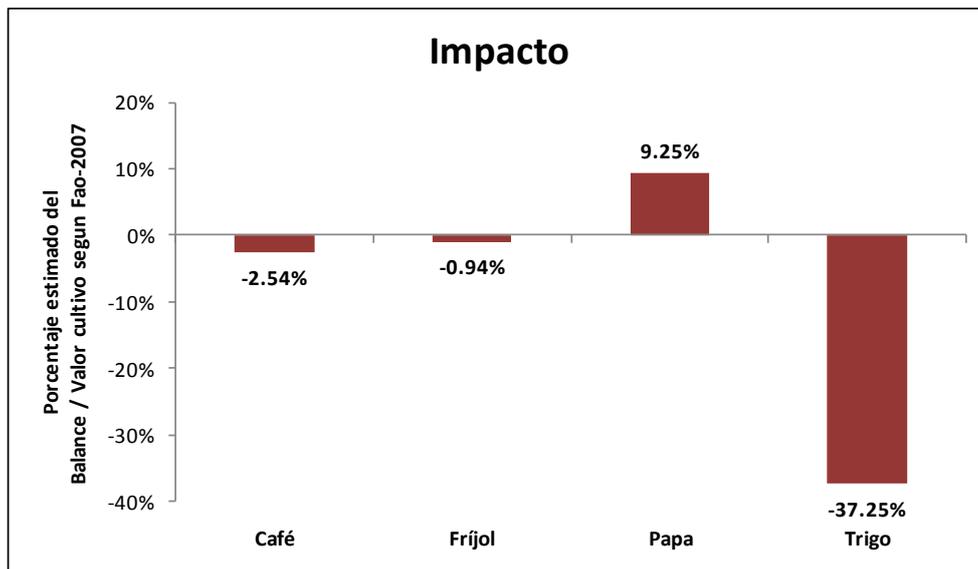


Figura 61. Impacto económico porcentual por cultivo en Ecuador

PERÚ

Por el lado del área cosechada, los cultivos más afectados serían el café (13,949 ha) y el trigo (12,244 ha), aunque para este último, dicho valor representaría una parte mucho más grande que el área actualmente sembrada del cultivo (el 8.47%, versus el 4.30% para el café). En términos de producción, el trigo también sería el más afectado, con una pérdida proyectada de 16,065 ha, o 8.85% de la producción actual. En

Cultivos como café y trigo expresarían las mayores pérdidas, mientras que el frijol y la papa tendrían balances positivos.

cuanto al valor económico del cultivo (Figura 62), el café tendría una pérdida económica de USD\$14 millones. Sin embargo, como en el caso de Ecuador, Perú también experimentaría aumentos en aptitud climática para ciertos cultivos, lo que significaría USD\$87.9 millones para papa y USD\$2.2 millones para frijol.

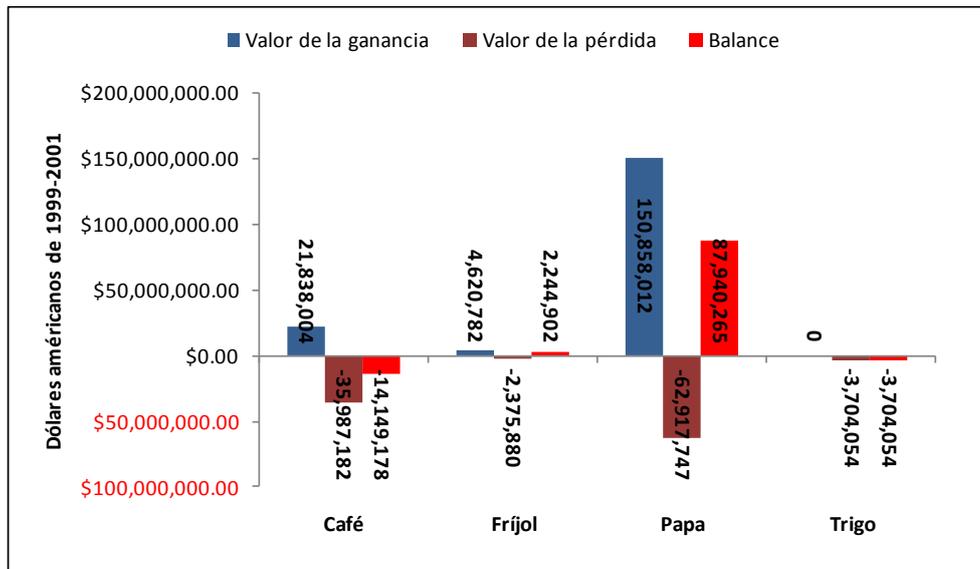


Figura 62. Valor de la ganancia, pérdida y balance para café, frijol, papa y trigo en Perú

La Figura 63 describe en términos relativos el impacto por cultivo en Perú. Por un parte, la papa y el frijol representan la cara positiva de la situación de país, reportando porcentajes del 18% y 4.3% de impacto positivo. De otra parte, el trigo y el café son la cara negativa de la situación pues registran porcentajes de 7.8% y 4.1% de impacto negativo.

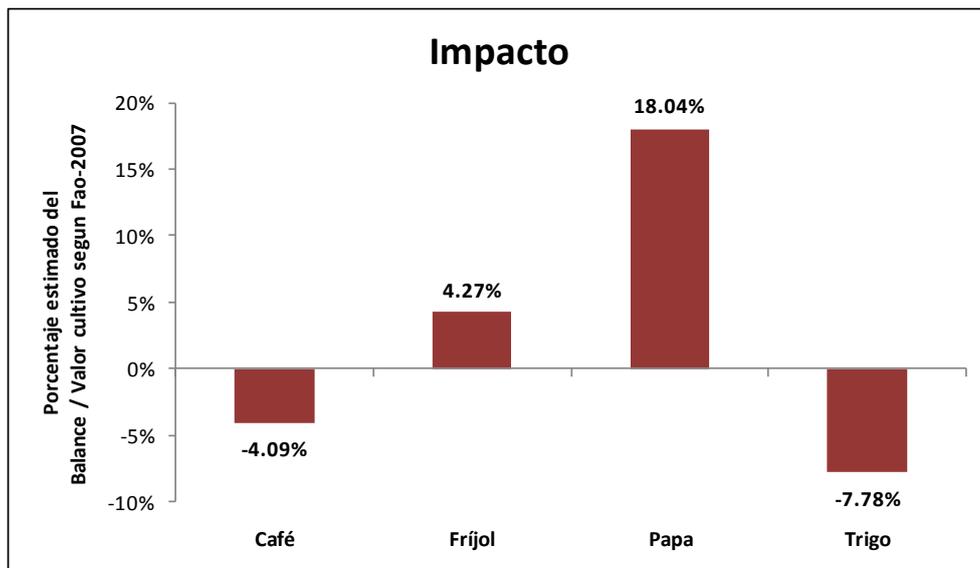


Figura 63. Impacto económico porcentual por cultivo en Perú

ESTIMACIÓN DE NÚMERO DE PERSONAS VIVIENDO BAJO LA LÍNEA DE POBREZA EN ÁREAS AFECTADAS POSITIVA Y NEGATIVAMENTE.

Las proyecciones de número de pobres involucrados en áreas que perderían o incrementarían su aptitud climática únicamente fueron realizadas para el periodo 2050 para el escenario de emisiones A1B (Figura 64). Se usaron los resultados del modelo de nicho EcoCrop:

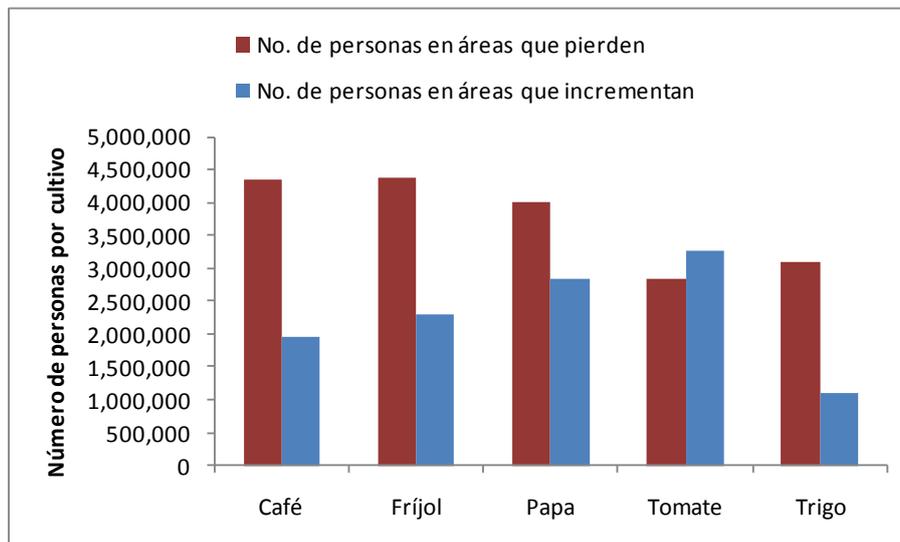


Figura 64. Número de personas bajo la línea de pobreza en áreas que pierden e incrementan aptitud climática por cultivo según EcoCrop – SRES-A1B 2050

El total de personas bajo la línea de pobreza en los países de los Andes Tropicales es 24.9 millones. Teniendo en cuenta dicha cifra, y considerando que este número se mantendría constante hacia futuro, fueron estimados el número de personas en tal condición viviendo en áreas donde existiría un incremento o pérdida potencial de aptitud climática hacia el año 2050. Es por tal razón que se quiso mostrar de manera sintética cuál sería la situación para la región, sólo a manera de ejemplo. En este sentido, la Figura 64 resume la situación en la que se verían los países de los Andes Tropicales, pues se vería involucradas un importante número de personas que viven bajo la línea pobreza (menos dos dólares americanos diarios - US\$ 2.00). La situación para el cultivo de café que el número de persona en áreas con pérdida de aptitud climática sería 4.3 millones y en áreas que incrementa su aptitud climática 2 millones de personas, en términos porcentuales 68.9% y 31.1%, respectivamente. El cultivo de frijol presentaría cifras similares 4.4 (65.6%) y 2.2 (34.4%) millones de personas en áreas que pierden e incrementa su aptitud climática, respectivamente. Las cifras para el cultivo de papa son 4 (58.4%) y 2.8 (41.6%) millones de personas en áreas que pierden e incrementa su aptitud climática, respectivamente. El cultivo de tomate reportaría 2.8 (46.5%) y 3.3 (53.5%) millones de personas en áreas que pierden e incrementa su aptitud climática, respectivamente, demostrando particularmente que habrían más personas en la condición de pobreza en áreas con incremento en aptitud climática. Y finalmente el cultivo de trigo reportaría las siguientes cifras: 3 (73.9%) y 1.1 (26.1%) millones de personas en áreas que pierden e incrementa su aptitud climática, respectivamente.

El total de personas bajo la línea de pobreza en los países de los Andes Tropicales es 24.9 millones.

5. CONCLUSIONES

En el análisis de los 25 cultivos se identificaron los países con situaciones más críticas y se describió desde la peor situación hasta la mejor, obteniendo como resultado el siguiente orden: Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú. Sin embargo, los casos de Ecuador y Perú podrían verse como positivos dado que en ambos casos 17 de los 25 cultivos analizados presentarían cambios en aptitud climática positivos en uno o ambos escenarios de emisiones (A1B o A2) en el año 2050. Por el lado de la modelación de los cinco cultivos, cabe anotar que el tomate sería el caso más crítico por sus pérdidas en aptitud climática, seguido del trigo, el frijol, el café y la papa. Este último tendría muchas posibilidades de mantenerse en países como Ecuador y Perú.

En términos económicos se debe mencionar que Colombia y Venezuela son los países mayormente afectados, siendo los cultivos de café y papa los protagonistas de las peores situaciones. El país con la peor situación económica después de los antes mencionados es Bolivia. De otro lado, Ecuador y Perú tendrían beneficios al menos para uno de los cultivos en análisis. En el caso de Ecuador sería la papa con una ganancia USD\$3.7 millones y en Perú sería de nuevo la papa y el frijol, cada uno con USD\$87.9 y USD\$2.2 millones, respectivamente.

Los resultados generados por EcoCrop son muy generales y pueden sólo ser usados para describir tendencias generales en tiempo y espacio. Mientras que los resultados de Maxent se limitan únicamente a los países que concentran los puntos de evidencia. Por tal razón tales resultados podrían sub-estimar tanto la presencia actual de los cultivos, como el impacto del cambio climático sobre dicha presencia. Los valores de área afectada negativamente en toda la región serían significativamente mayores a los de área afectada positivamente. El sustento de tal aseveración lo registran todas las tablas y figuras que recogen la complejidad del análisis.

En caso de Café, al comparar los resultados de los dos modelos (EcoCrop y Maxent) es evidente que ambos apuntan al sur de Ecuador como una de las áreas que presentan (en la actualidad) y presentarían (2020 y 2050) condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo. No obstante, es en esta misma zona, donde los cambios serían significativamente negativos. Además, la tendencia a la pérdida de aptitud climática es innegable, ambos modelos coinciden que el nicho óptimo del cultivo se encuentra aproximadamente entre los 1,200 y 1,850 msnm pero a la vez, describen una baja progresiva en la aptitud climática en los periodos 2020 y 2050. Por otra parte, el cultivo de café estaría en gran peligro de desaparecer en algunas áreas bajas si las condiciones del clima mantienen la tendencia registrada por los dos modelos usados en el análisis, sería prudente pensar en algunas medidas de mitigación (tales como sombrero o migración) que influyeran directamente en el control de la temperatura. De otro lado, el cultivo de frijol registra una evidente tendencia a la disminución de su aptitud climática, principalmente en las zonas donde hubo ausencia de puntos de evidencia. Las proyecciones de EcoCrop son mucho más amplias que las presentadas por Maxent. Las proyecciones de ambos modelos apuntan a que las áreas con mejor aptitud climática están por encima de los 1,100 msnm. Mientras que EcoCrop se restringe a zonas entre 1,100 y 1,800 msnm, Maxent estima que las zonas con mejor aptitud climática se están entre 1,800 y 2,600 msnm.

De otro lado, para el cultivo de papa tanto Maxent como EcoCrop describen buenas condiciones hacia el futuro. Ambos modelos coinciden en señalar las áreas de los Andes Tropicales encima de los 3,000 msnm como aptas para el crecimiento del cultivo. Tal como con los demás cultivos, EcoCrop demuestra que el tomate puede ser cultivado en la actualidad a través de los Andes entre los 500 y los 1,200 msnm. En términos generales, la incertidumbre frente a las proyecciones de ambos modelos es baja, principalmente para EcoCrop. En el caso Maxent los valores más altos están por el orden del 40%. Es evidente el descenso en la aptitud climática del cultivo de trigo entre la situación actual y la futura (2050). Es claro además, que a futuro no sobresaldrían áreas alternas que con condiciones de idoneidad para el crecimiento del cultivo.

6. RECOMENDACIONES

Se podrían dividir en tres grandes segmentos los senderos de adaptación para hacer frente al cambio climático: 1) la gestión del riesgo (corto plazo), 2) la adaptación al cambio climático progresivo (largo plazo) y 3) la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI). El trabajo principal de los investigadores debería ser examinar y mejorar el conocimiento sobre las sinergias potenciales entre los tres segmentos y las compensaciones existentes entre los mismos.

LA GESTIÓN DEL RIESGO (CORTO PLAZO)

El en mundo entero la gran mayoría de productores son pequeños y de escasos recursos. Lo mismo ocurre en los Andes Tropicales, por tal razón, son y serán más vulnerables a los efectos del clima. A pesar de las medidas que los pequeños productores puedan tomar en la actualidad con el propósito de contrarrestar el riesgo, continúan expuestos a los impactos del clima que pueden resultar en afecciones sobre la salud, ataques hacia los activos productivos e incluso hacia la infraestructura de trabajo – efectos que se mantienen mucho después de la instancia del choque –. La incertidumbre que rodea la variabilidad del clima y el miedo hacia estos eventos debilitantes impiden la inversión en tecnologías agrícolas o en oportunidades de mercado, las cuales por lo general son rentables. Por eso el clima podría limitar los ingresos incluso en los años cuando no se presenten efectos negativos. Las innovaciones tales como transferir el riesgo financiero como seguro basado en índices (esto es vinculados a la lluvia); el microcrédito y los subsidios para aportes como abonos, pesticidas y mejores semillas, son algunas de las herramientas que pueden ayudar a enfrentar los antiguos obstáculos de implementación y superar restricciones relacionadas con el riesgo a la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza rural. En algunos casos, cuando no existan incentivos suficientes para el sector privado, el gobierno tendría que encabezar esos esfuerzos. Además de ayuda financiera, los productores necesitarán un mejor flujo de información climática para anticipar los impactos agrícolas en las temporadas entrantes. En particular, sistemas de pronósticos y alerta temprana podrían enseñar a los productores cuáles son las mejores opciones a seguir (*e. g.*, invertir cuando las condiciones están favorables y protegerse cuando el riesgo es alto). Estos sistemas no solamente ayudarían a los productores en sí, sino también a los vendedores e intermediados

Los productores necesitarán un mejor flujo de información climática para anticipar los impactos agrícolas en las temporadas entrantes.

que podrían usar los pronósticos de clima y producción para manejar mejor el almacenaje, intercambio y distribución de alimentos; y a los gobiernos para dirigir mejor la asistencia alimentaria en tiempos de emergencia.

Los productores también podrían iniciar cambios en cuanto a sus prácticas de cultivo y la manera como gestionan suelo y del agua con el propósito de minimizar riesgo. Además, los productores podrían aprovechar las variedades o cultivos que son más

La diversificación a otros tipos de agricultura (por ejemplo a ganadería o acuicultura) o a otras fuentes de ingreso no relacionados con agronomía (por ejemplo ecoturismo) podrían proveer un seguro.

resistentes o apropiados a diferentes contextos, así como escalonar el calendario de siembra y cosecha para disminuir el riesgo. Se podría hacer esto individualmente o aunar recursos y hacerlo como comunidad. Del mismo modo, la diversificación a otros tipos de agricultura (por ejemplo a ganadería o acuicultura) o a otras fuentes de ingreso no relacionados con agronomía (por ejemplo ecoturismo) podrían proveer un seguro. La labranza de conservación presentaría una opción de cultivar con menos insumos (como agua y fertilizante), mientras que sistemas de riego y de capturar o “cosechar” agua reduciría estreses hídricos al mismo tiempo que aumentaría las cosechas y los ingresos.

Estas medidas reflejan mayormente las posibles soluciones “sin pesar”, que ayudarían a los pequeños productores a hacer frente a los riesgos sobre la agricultura y a los choques ordinarios de clima, aún en la ausencia del cambio climático. Con toda seguridad, sería necesario aplicar estas soluciones de ganar-ganar junto a las técnicas de adopción más transformacionales requeridas para enfrentar el cambio climático antropogénico.

LA ADAPTACIÓN (LARGO PLAZO)

El desafío del cambio climático impulsado por causas antropogénicas representa una versión acelerada de un desafío más o menos familiar. Por siglos, los campesinos y los sistemas productivos han hecho frente al fenómeno y han encontrado en respuesta un clima dinámico. No

Paralelo del cambio climático, el mundo está experimentando un gran aumento poblacional y demandas de alimentación.

obstante, nunca antes en la historia había cambiado el clima con la velocidad y magnitud de la actualidad. Además, en paralelo del cambio climático, el mundo está experimentando un gran aumento poblacional y demandas de alimentación. La mejora en los ingresos, especialmente en Asia, ha resultado en cambios de preferencias alimentarias que requieren más aportes (por ejemplo carne y alimentos procesados). El desplazamiento hacia abajo de la curva de oferta causada por la disminución de aptitud climática de los cultivos, combinado con el desplazamiento hacia arriba de la curva de demanda causada por el crecimiento poblacional y los cambios en los gustos, interaccionan para poner en riesgo la seguridad alimentaria. Entonces, más de la cobertura del riesgo, el cambio climático acelerado requiere de una adaptación acelerada. Sin duda, lograr este objetivo involucrará el desarrollo de tecnologías que mejoren las cosechas y aumenten la resistencia a estreses relacionados con el clima (por ejemplo inundación, sequía y calor). En las últimas décadas, el fitomejoramiento y el desarrollo de cultivos transgénicos han demostrado ser medios eficaces para enfrentar estreses abióticos y incrementar la producción de alimentos. Fue entonces, cuando apareció otro reto y oportunidad; la agro-biodiversidad. En el pasado, mientras que los programas de mejoramiento multiplicaron las cosechas en algunos cultivos, también redujeron la diversidad genética, con la consecuencia de hacer cultivos más vulnerables a un clima en proceso de

cambios. Entonces, hacia el futuro, se debería conservar la diversidad de características en agricultura, tanto en los bancos de germoplasma como en el campo. Por consiguiente, la agro-biodiversidad juega un gran crucial en la adaptación frente al cambio climático.

Además, son necesarios mejoramientos en la infraestructura física y comunitaria. En particular, debido a la variabilidad de la precipitación y aumentos del nivel del mar, los recursos hídricos merecen un enfoque especial. Es necesario instalar o mejorar las tecnologías de captación (“cosecha”) y distribución de agua, por ejemplo a través de sistemas extensos de riego. Para contrarrestar las temporadas de sequía y otros impactos del clima, también se necesitaría infraestructura de almacenamiento de agua y cereales.

La agro-biodiversidad es una de las oportunidades de adaptación en la actualidad.

Si bien existen muchos senderos de adaptación, en algunos casos más críticos y dado a los cambios de clima, no será posible cultivar en el mismo suelo. En estos lugares, será necesario facilitar la migración a otras zonas donde el cambio climático ha abierto posibilidades de cosechar u ofrecer senderos para entrar en otros sectores de trabajo. Respecto a la primera opción (migración), las investigaciones en “análogos” de clima sería útil. Los análogos se presentan cuando las condiciones de clima, suelo y otras variables de un lugar específico, después de sufrir efectos del clima en un año determinado (por ejemplo 2003) son similares a las condiciones climáticas de otro lugar en la actualidad. Es decir, los análogos señalan cómo el clima “migrará,” por lo tanto podrían ser usados para crear una cadena de conocimientos a través de los productores, y más tarde, compartir estrategias de adaptación e información sobre cultivos específicos. También serían útiles para los responsables políticos a nivel macro, pues la identificación de los análogos facilitaría incentivar la movilidad de campesinos y migrar cultivos a sitios donde crecerían en mejores condiciones.

Los análogos se presentan cuando las condiciones de clima, suelo y otras variables de un lugar específico, después de sufrir efectos del clima en un año determinado.

MITIGACIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

Por otra parte, en algunos casos, es posible explotar las sinergias existentes entre la mitigación de GHGs y la gestión del riesgo o el aumento de capacidad de adaptación, por ejemplo a través de:

1. *Intensificación de sistemas*: producir más cultivos en la misma unidad de tierra permitiría el logro de ambas metas, pero se tendría que revisar los costos medioambiente de algunos métodos de intensificación (por ejemplo el uso de abonos, pesticidas e insecticidas). Por lo general son preferidos los cultivos genéticamente modificados y otras estrategias de cultivo que minimicen gastos. En todos los casos, tanto los pobres como los pequeños productores tienen menor acceso a tales tecnologías o al conocimiento de cómo intensificar sus sistemas, así que las políticas de apoyo a los agricultores de bajos recursos serían claves.

Elementos claves para los esfuerzos de mitigación: intensificación de sistemas y pago por servicios ecosistémicos.

2. *Pagos por servicios ecosistémicos*: pagar a los productores para cultivar sosteniblemente o implementar sistemas agroforestales sería una solución ideal que aprovecharía de las sinergias entre adaptación y mitigación. Esta medida funcionaría porque estaría basada en

incentivos económicos. Sin embargo, existen varios factores que actualmente limitarían su alcance, incluyendo la falta de mejoras en herramientas de medición y seguimiento, definiciones más concretas de cómo medir los servicios ecosistémicos (esto es, por hectárea, secuestro de carbono, tomando en cuenta las especies de plantas o no, entre otros) y, por supuesto, fuentes confiables de financiamiento.

ENTONCES, ¿CUÁL SERÍA EL ROL DE LA POLÍTICA?

Es necesario encontrar la manera de usar la gestión de riesgo a corto plazo como base de la adaptación a largo plazo. En algunos casos, se podrían construir senderos sistemáticos que incentiven ciertos cambios, en otros casos se podrían implementar compensaciones, por ejemplo en zonas donde, en el próximo medio-siglo, no sería posible cultivar. Por lo tanto, es imperativo seguir realizando investigaciones y evaluaciones holísticas para encontrar las opciones a las cuales podrían ser dirigidos los fondos (que por cierto son limitados). Dichas evaluaciones deberían tomar en cuenta no sólo el papel de la ciencia climática sino la relación costo-rendimiento, la viabilidad, la escalabilidad y la sostenibilidad. Es decir, es necesario encontrar senderos de adaptación que sean eficaces no sólo en la teoría sino también en la práctica. Por definición, ese objetivo requeriría vinculaciones entre el desarrollo de tecnología, sistemas productivos y los responsables políticos.

Es necesario encontrar la manera de usar la gestión de riesgo a corto plazo como base de la adaptación a largo plazo.

Muchos de los ejemplos antes mencionados exigen el apoyo de la fuerza política para su financiamiento. Tales políticas deberían estar dirigidas a:

- Financiar la infraestructura: para agua (sistemas de cosecha y irrigación) y almacenaje de alimentos.
- Reducir los costos de acción colectiva: para organizar los recursos compartidos (por ejemplo siembra colectiva, mejoras en infraestructura, sistemas de información meteorológica) al nivel comunitario.
- Mejorar la movilidad: para facilitar la migración de cultivos.
- Crear los incentivos correctos (por subsidios, entre otros): buscando involucramiento del sector privado; para que los productores usen las semillas y tecnología en los procesos agrícolas.
- Invertir en la investigación: fitomejoramiento, evaluaciones holísticas, búsquedas de análogos, entre otros.

Los sectores público y privado deberían trabajar en colaboración para asegurar que los planes y estrategias de adaptación estén coordinados a lo largo de las cadenas de valor y alimentación. Se debería tener cuidado de no caer en una mal-adaptación al integrar políticas e inversiones que entren en conflicto, teniendo en cuenta que se trabaja bajo escenarios de incertidumbre.

EN RESUMEN, LOS TRES MENSAJES CLAVES SON:

- 1) Para reducir la incertidumbre climática y llenar los vacíos de información es necesario invertir más en la investigación (por ejemplo mejores proyecciones de clima, mejores modelos de cultivo, mejores datos de entrada).
- 2) Ante la incertidumbre de la magnitud y velocidad del cambio climático, existe la necesidad de una acción conjunta y *ex ante*, pues los impactos proyectados tendrían consecuencias drásticas y muchas veces los planes y las investigaciones toman tiempo para transformarse en acciones concretas. Este objetivo también requerirá mejores vinculaciones entre las esferas científica, política, académica y demás partes interesadas.
- 3) Además de los desafíos que presenta el cambio climático, también existen oportunidades para intensificar los sistemas de producción y mejorar las cosechas. Es decir, si bien en algunos lugares los cultivos pierden aptitud climática, existen otros que brindan posibilidades de migración.

Sin una adaptación acelerada, el cambio climático intensificaría los ciclos de pobreza, la degradación de los recursos naturales, la vulnerabilidad y la dependencia de asistencia externa.

7. REFERENCIAS

- Bukasov SM. 1930. The potatoes of South America and their breeding possibilities. Bulletin of Applied Botany of Genetics and Plant-Breeding Suppl. 58. 192.
- Busby JR. 1991. BIOCLIM – a bioclimatic analysis and prediction system. Plant Protection Quarterly. 6. 8-9.
- Eengel F. 1982. Quince años de actividad antropológica del Centro de Investigaciones de Zonas Aridas o UNA. Zonas Aridas N° 1. pp. 17-36. Mendoza, Argentina.
- FAO. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- FAO. 2001. Quinia (*Chenopodium quinoa Willd.*): ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro. Santiago de Chile.
- Hijmans RJ, Guarino L, Jarvis A, O'Brien R, Mathur P, Bussink C, Cruz M, Barrantes I, Rojas E. 2005a. DIVA-GIS Version 5,2. Manual.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005b. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology. 25: 1965-1978.
- Hijmans RJ, Graham CH. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. Global Change Biology 12:2272-2281.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. IPCC special report. Emissions scenarios: summary for policymakers. IPCC. Geneva
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001. IPCC. Geneva.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. IPCC. Geneva.
- Laderach P, Collet L, Oberthür T, Pohlan J. 2005. Café especial y sus interacciones con factores de producción. En J, Pohlan, ed. Memoria del 2° diplomado sobre cafecultura sustentable. Tuxtla Gutiérrez. Mexico.
- Laderach P, Vaast P, Oberthür T, O'Brien R, Nelson A, Estrada LDL. 2006a. Geographical analyses to explore interactions between inherent coffee quality and production environment. 21st International Conference of Coffee Science ASIC 2006 Montpellier.
- Laderach P, Oberthür T, Niederhauser N, Usma H, Collet L, Pohlan J. 2006b. Café Especial: Factores, dimensiones e interacciones. p, 141-160. En J, Pohlan, et al. eds. El cafetal del futuro: Realidades y Visiones. Shaker Verlag Aachen. Germany.

- Monfreda, C., N. Ramankutty, and J. A. Foley. 2008. Farming the planet: Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochem. Cycles* 22: GB1022 doi:10.1029/2007GB002947.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Phillips SJ, Dudik M. 2008. Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and Comprehensive Evaluation. *Ecography* 31: 161-175.
- You L, Crespo S, Guo Z, Koo J, Ojo W, Sebastian K, Tenorio MT, Wood S, Wood-Sichra U. Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2000 Version 3 Release 2. <http://MapSPAM.info> (Accessed Sept. 2010).



Con el apoyo de

