Análisis de los impactos de cambio climático sobre cultivos andinos

Emmanuel Zapata-Caldas[1], Andy Jarvis[1, 2], Julián Ramirez[1, 2, 3], Charlotte Lau[2]

[1]Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia
[2]CGIAR Challenge Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, CCAFS
[3]Institute for Climatic and Atmospheric Science, School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK

Resumen

La evaluación de los impactos probables del cambio climático (CC) sobre la agricultura, y la identificación de senderos de adaptación para hacer frente a dichos impactos, son elementos imprescindibles para medir el grado de vulnerabilidad del sector agrícola en los Andes tropicales. El trabajo consistió en evaluar el impacto del CC sobre 25 de los cultivos más importantes en los Andes tropicales (desde Venezuela hasta Bolivia), y ayudó a 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. Ante tal panorama, es obvio que el sector agrícola de la región enfrentaría un gran reto dentro de 40 años. Otras cifras alarmantes son las siguientes, en términos de área cosechada, los cultivos más afectados por los efectos del CC 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, la región podría ser menos vulnerable. Como estrategia a mediano y largo plazo (10 a 40 años) un enfoque multidisciplinar (agronómico, económico, social) en el sector agrícola de los Andes tropicales, contribuiría en los emprendimientos de adaptación a los efectos del CC. 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. Sumado a esto, 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 temas relacionados con CC y agricultura. De esta manera, se evitaría el abandono de las tierras agrícolas y propender por la creación de un modelo de desarrollo sostenible y pensado para enfrentar el fenómeno de cambio climático.

Introducción

Es evidente que el mundo 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 CC 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 CC sobre la distribución potencial (actual y futura) y el área cosechada de los 25 cultivos más importantes en la región. Se trabajó bajo los escenario 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. 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).

1. Análisis

1.1. 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 FAOSTAT[1] 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). 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 xanthorriza) 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.

1.2. Datos climáticos

Los datos históricos del clima se obtuvieron de la base de datos WorldClim (Hijmans et al. 2005, disponible en www.worldclim.org). Entre tanto, para las proyecciones 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).

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

1.3. Modelos de nicho ecológico

1.3.1. 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 & 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 (*i.e.* 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.

1.3.2. 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 (ºC), Tmin: temperatura mínima absoluta en que el cultivo tiene un desarrollo marginal (ºC),

Topmin: temperatura óptima mínima del cultivo (ºC), Topmax: temperatura óptima máxima del cultivo (ºC), Tmax: temperatura máxima absoluta en que el cultivo tiene un desarrollo marginal (ºC), 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) y 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.

2. Resultados

2.1. Impactos por región y por país/cultivos

En cuanto a la región, la figura 2 demuestra que 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, y en el año 2050; 32% y 49% de pérdida e incremento, respectivamente (figura 3), lo cual señala cierto equilibrio, teniendo

en cuenta que porcentajes son altos, mas no muy alejados en términos de cuánto de pierde y cuánto se incrementa.

Venezuela (figura 4) es el caso más grave de los países de los Andes tropicales, 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 climática (< -10%) hacia el año 2050 para el SRES-A2 serían arveja, cebada, lechuga, repollo y ulluco.

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 5). 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.

En Bolivia (figura 6) 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). 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.

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 7). Los cultivos con cambios negativos serían

arracacha, 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.

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 8), 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.

3. 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 fríjol, 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 fríjol, 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.

4. Material grafico

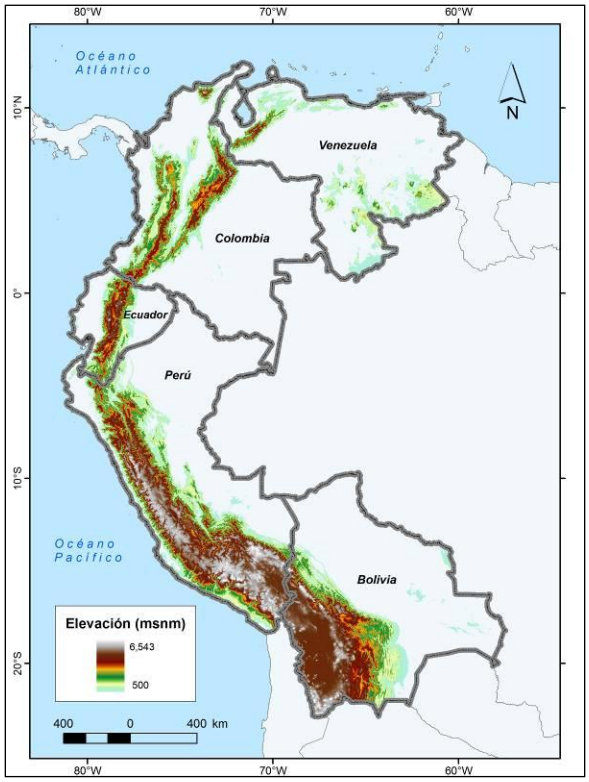

Figura 1. Área de estudio: Andes tropicales

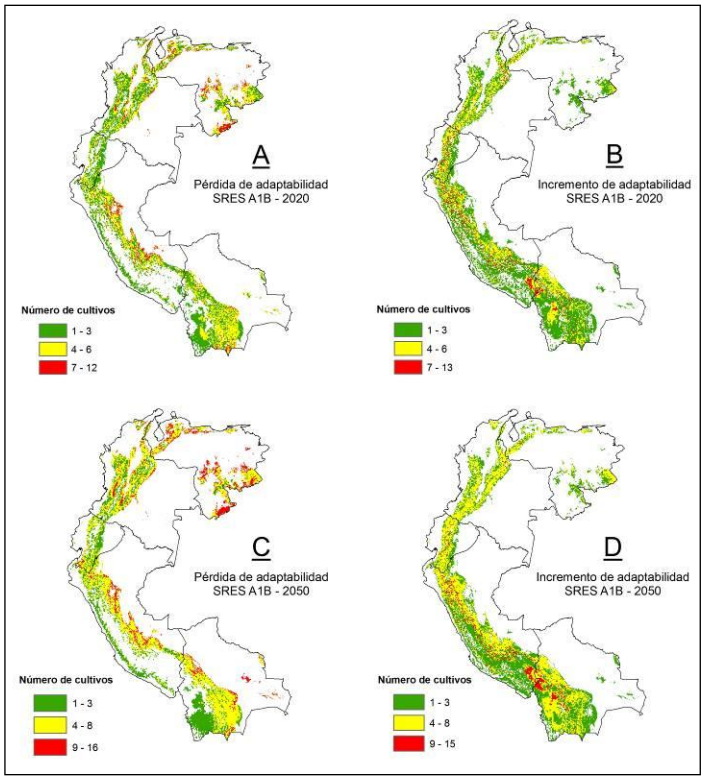

Figura 2. Número de cultivos con pérdida e incremento de aptitud climática según EcoCrop – SRES-A1B: (A) pérdida en 2020, (B) incremento en 2020, (C) pérdida en 2050, (D) Incremento en 2050.

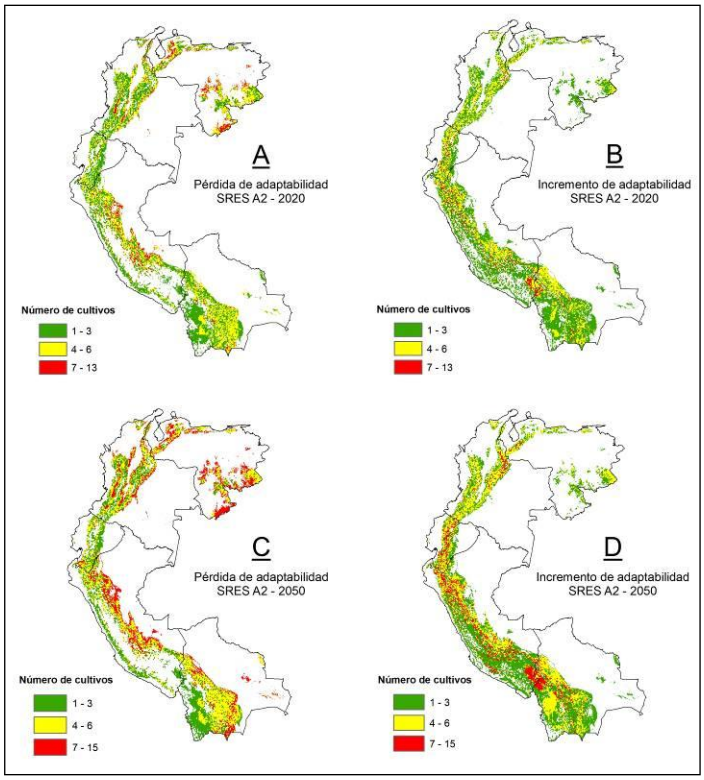

Figura 3. Número de cultivos con pérdida e incremento de aptitud climática según EcoCrop – SRES-A2: (A) pérdida en 2020, (B) incremento en 2020, (C) pérdida en 2050, (D) Incremento en 2050.

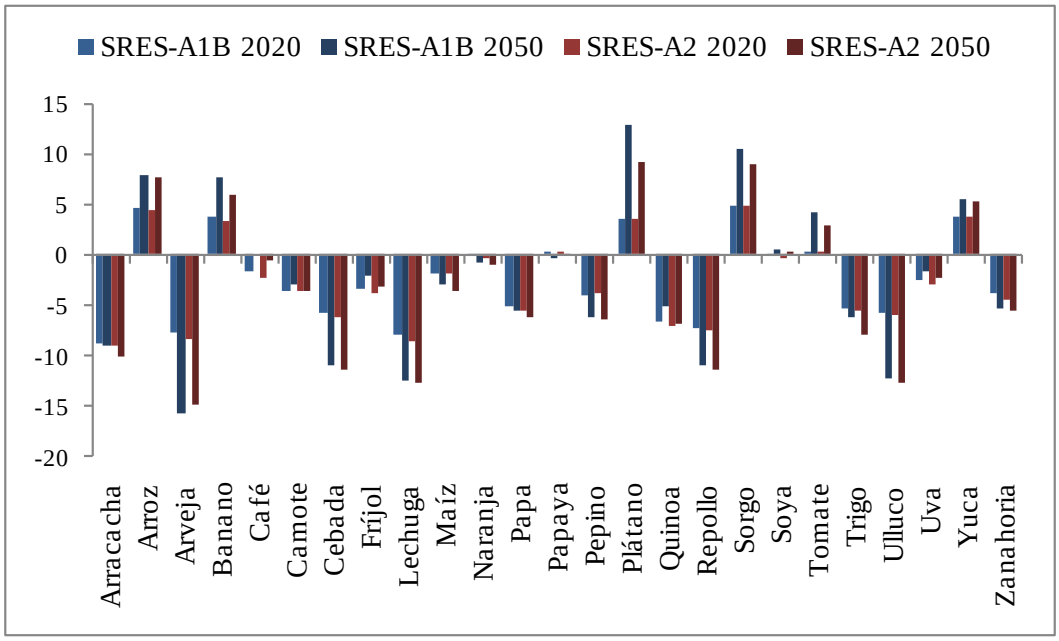

Figura 4. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Venezuela

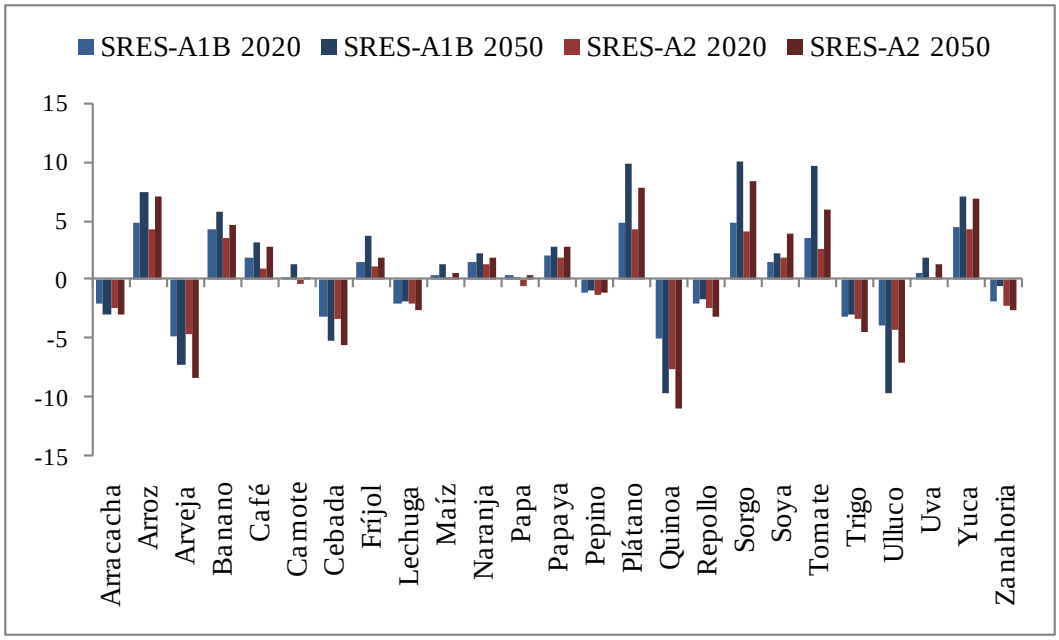

Figura 5. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Colombia

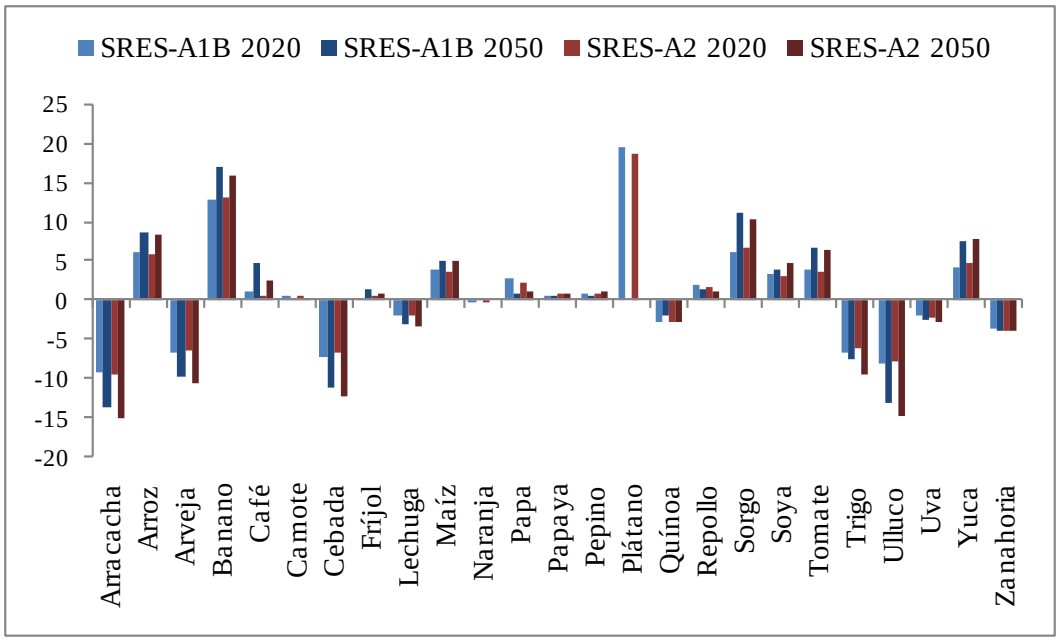

Figura 6. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Bolivia

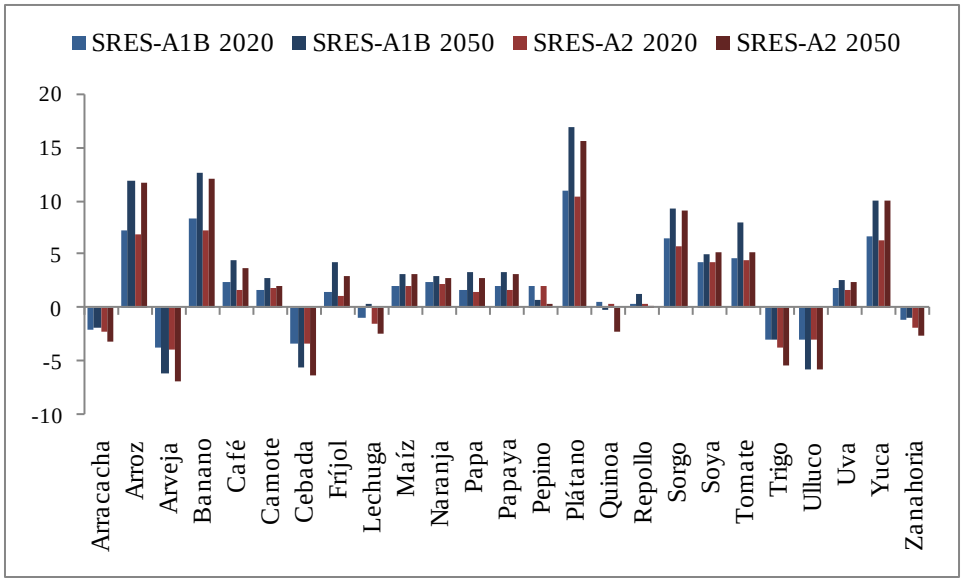

Figura 7. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Ecuador

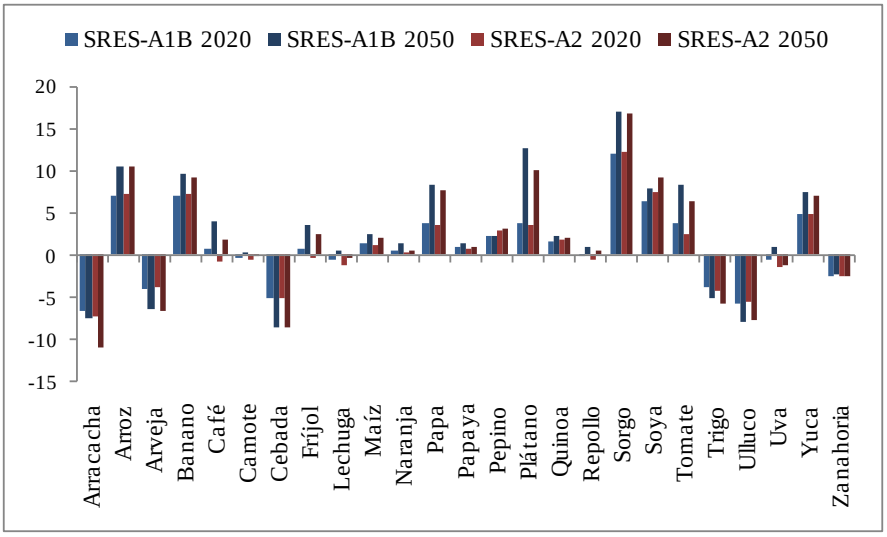

Figura 8. Porcentaje de cambio en aptitud climática por cultivo en Perú

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

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

1. Referencias

Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas, International Journal of Climatology. 25: 1965-1978.

Hijmans, R.J., L. Guarino, A. Jarvis, R. O'Brien, P. Mathur, C. Bussink, M. Cruz, I. Barrantes and E. Rojas, 2005a. DIVA-GIS Version 5.2. Manual.

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.

Phillips, S.J., R.P. Anderson and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190:231-259.

Phillips S.J. and Dudik M. 2008. Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and Comprehensive Evaluation. Ecography 31: 161-175.