

Impacto del cambio climático sobre la aptitud del cultivo de café en Costa Rica



Oriana Ovalle Rivera
oriana.ovalle@gmail.com
07 de Febrero de 2018



RESEARCH PROGRAM ON
Climate Change,
Agriculture and
Food Security



1 CONTENIDO

2	Lista de tablas	3
3	Lista de figuras	4
4	Resumen	5
5	Introducción	6
6	Área de estudio	7
7	Metodología	8
8	Resultados	11
9	Conclusiones y Recomendaciones	21
10	Bibliografía	22

2 LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas para determinar el impacto del cambio climático en el cultivo de café.....	9
Tabla 2. Cambio de precipitación acumulada promedio anual y la temperatura promedio anual del territorio cafetalero de Costa Rica bajo 4 escenarios de emisión para los años 2050 y 2080.	12

3 LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área y regiones cafeteras de Costa Rica.	7
Figura 2. Patrones de precipitación y temperatura promedio mensual para la región cafetalera de Costa Rica bajo diferentes escenarios de emisión en los años promedios de 2050 y 2080.....	13
Figura 3. Cambio en la precipitación acumulada promedio anual (mm) para 4 escenarios de emisión y siete regiones cafetaleras de Costa Rica.....	14
Figura 4. Cambio en la precipitación acumulada promedio anual (mm) para 4 escenarios de emisión y siete regiones cafetaleras de Costa Rica.....	15
Figura 5. Cambio de meses secos para el 2050 en las regiones cafetaleras de Costa Rica.	15
Figura 6. Área bajo la curva e índice de Kappa.	16
Figura 7. Impacto del cambio climático en la adaptabilidad del cultivo de café para Costa Rica bajo cuatro escenarios de emisión en el periodo de 2050 y 2080.....	17
Figura 8. Variaciones de adaptabilidad del cultivo de café para Costa Rica bajo cuatro escenarios de emisión y dos períodos (2050 y 2080.)	18
Figura 9. Cambio de adaptabilidad del cultivo de café para siete regiones cafetaleras de Costa Rica bajo cuatro escenarios de emisiones y dos periodos de años.....	20

4 RESUMEN

El presente estudio pretende utilizar los datos de cuatro escenarios de emisión (RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5) en dos periodos de tiempo (2050 y 2080) para determinar el impacto del cambio climático en el cultivo de café para las regiones cafetaleras de Costa Rica. El estudio se realizó con los puntos georeferenciados obtenidos de ICAFE y utilizando el modelo MaxEnt como simulador de la adaptabilidad del cultivo de café.

Los resultados muestran que hay diferencias entre escenarios, pero existen tendencias como es en el caso de la temperatura que aumenta en todos los escenarios mientras que la precipitación tiene a bajar con excepción de Turrialba que aumenta entre un 60 y 160mm acumulados promedio anual.

El cultivo de café en promedio tiende a disminuir adaptabilidad siendo el Valle Central y Occidental las regiones cafetaleras más afectadas, las regiones de Tarrazú y Pérez Zeledón aumentan con valores de 13 % y 15% en zonas con una altitud alta.

Innovaciones agroforestales y manejo oportuno y adecuado del cultivo son unas de las estrategias de mitigación y adaptación del cambio climático en el cultivo de café, brindando herramientas y conocimiento al caficultor para ser resiliente frente al cambio.

Palabras claves: RCPs, Café, cambio climático, *Costa Rica*.

5 INTRODUCCIÓN

El cambio del comportamiento de cultivo de café frente al clima se ha venido evidenciando a través de los años por lo cual diferentes organizaciones de clima han desarrollado diferentes modelos de circulación global ya que este fenómeno afecta a cultivos de interés económico, la población y desarrollo de los países, así como la fauna y flora del planeta. El cultivo de café es importante ya que emplea millones de familias y es parte de la cultura y economía Costarricense. En vías de mejorar y prepararse para el evidente cambio de clima el sector caficultor investiga bajo sus diferentes líneas estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático por lo cual este estudio es importante ya que pretende dar un panorama general de las regiones cafetaleras frente al cambio de clima y que sirva para priorizar esfuerzos en pro de adaptarse y mitigarse al cambio de clima incrementando la capacidad de resiliencia de los caficultores de Costa Rica.

6 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en siete regiones cafeteras según el informe sobre la actividad cafetera de Costa Rica (ICAPE, 2015): Coto Brus, Los Santos, Pérez Zeledón, Turrialba, Valle Central, Valle Occidental y Zona Norte (figura 1).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) que realizó durante el año 2014, reportó 84133.1 ha en 26527 fincas cafeteras en todo el territorio costarricense de los cuales Los Santos y el Valle Occidental son las dos regiones con más área de café y más número de fincas como se muestra en la figura 1.

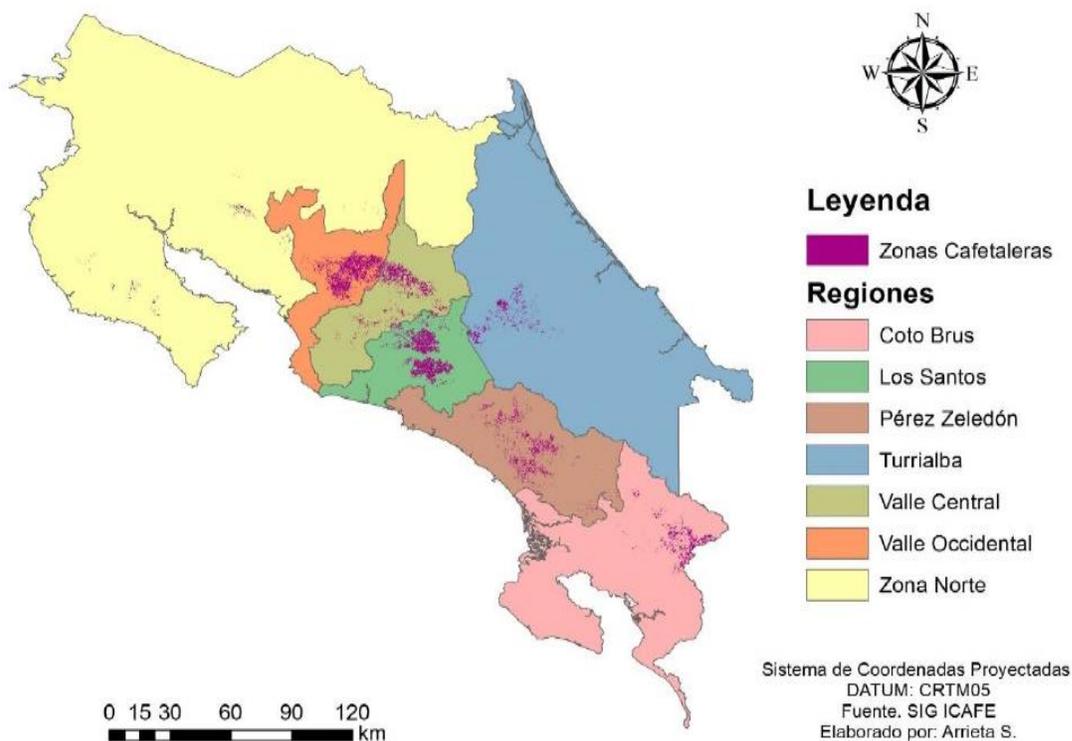


Figura 1. Área y regiones cafeteras de Costa Rica.

Para el estudio se tomó de manera general tres tipos de sistemas de café: pleno sol, monocultivo de sombra y policultivo comercial (Moguel and Toledo, 1999)

7 METODOLOGÍA

Para calcular el impacto del cambio climático en el cultivo de café en Costa Rica se utilizaron los datos de presencia del cultivo obtenidos de ICAFE, las cuatro trayectorias de concentraciones de gases efecto invernadero adoptado en el quinto reporte (AR5) del IPCC y se hizo modelaciones de distribución de especies y nichos utilizando MaxEnt.

Datos de distribución de café y selección de la muestra

Los datos del cultivo de café fueron obtenidos de la información proporcionada por el Instituto de Café de Costa Rica (ICAFE), cerca de 44500 puntos de presencia distribuidos en las siete regiones cafeteras del país (Figura 1). Para evitar un sesgo por la sub o sobre representación de algunos lugares se seleccionaron 314 puntos para la región cafetera de Costa Rica. Los datos muestran que la temperatura media anual en promedio es de 20.9 °C con un máximo de 25.4°C y un mínimo de 14.7°C, precipitación media anual con valores promedios de 2800mm con un máximo de 4346mm y mínimos de 1671. Valores de temperatura que se ajustan a los indicados en la tabla de descripción fisiológica del cultivo de café de ECOCROP, mientras que la precipitación máxima presenta valores cercanos a los absolutos.

Figura 1. Mapa de puntos de presencia de café

Datos del clima

Clima actual

Las capas ambientales tenidas en cuenta comprenden 19 variables bioclimáticas obtenidas de la base de datos de Worldclim (www.worldclim.org). Desarrollado por Hijmans et al. 2005, recolectaron, entre el periodo comprendido de 1960 y 1990, miles de datos de estaciones meteorológicas alrededor de todo el mundo, realizando una interpolación para crear capas ambientales (rasters) del promedio de temperatura con 24542 locaciones, de la temperatura máxima y mínima 14835 locaciones y 47554 locaciones de precipitación, todas calculadas por mes, a una resolución de un 1km cuadrado.

Las variables bioclimáticas son derivadas de los valores mensuales de temperatura y precipitación con el propósito de generar variables biológicamente significativas e indispensables para que el cultivo se desarrolle adecuadamente. Representan las tendencias anuales, estacionalidad, los cuartos periodos de tres meses y factores ambientales limitantes o extremos y son frecuentemente usadas en la modelación de nichos ecológicos.

Tabla 1. Variables bioclimáticas utilizadas para determinar el impacto del cambio climático en el cultivo de café.

Variable	Descripción
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO2	Rango promedio diario (promedio mensual (max temp – min temp))
BIO3	Isotermalidad (°C) (BIO2/BIO7) * 100)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO7	Rango anual de Temperatura (BIO5-BIO6) (°C)
BIO8	Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso (°C)
BIO9	Temperatura promedio del cuatrimestre más seco (°C)
BIO10	Temperatura promedio de cuatrimestre más cálido (°C)
BIO11	Temperatura promedio del cuatrimestre más frío (°C)
BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso (mm)
BIO14	Precipitación del mes seco (mm)
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del cuatrimestre más lluvioso (mm)
BIO17	Precipitación del cuatrimestre más seco (mm)
BIO18	Precipitación del cuatrimestre más cálido (mm)
BIO19	Precipitación del cuatrimestre más frío (mm)

Clima futuro

El clima del futuro está basado en los modelos del quinto informe de evaluación del IPCC (AR5) que fueron optimizados por el equipo CCAFS-Climate para que sean útiles a escalas más pequeñas. Se utilizaron 26, 31, 19 y 33 modelos climáticos globales (GCMs) bajo RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5, respectivamente.

Un 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 (IPCC, 2011). Los modelos numéricos (GCM), que representan los procesos físicos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la superficie terrestre, son las herramientas más avanzadas disponibles actualmente para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2011).

La resolución espacial de los resultados de los modelos es inapropiada para el análisis de los impactos en la agricultura. Esto es especialmente un problema en paisajes heterogéneos, tales como zonas de alta montaña, donde, en algunos lugares, una celda puede cubrir toda la amplitud del rango. La reducción de escala es por tanto, necesaria para proporcionar superficies de mayor resolución de los climas futuros esperados para que los impactos probables del cambio climático en la agricultura sean pronosticados con mayor precisión.

Se utilizó un método simple de reducción de escala (llamado método delta), basado en la suma de las anomalías interpolados a las superficies de alta resolución mensuales para clima de WorldClim. El método, produce una superficie suavizada (interpolación) de los cambios en los climas (deltas o anomalías) y luego se aplica esta superficie interpolada al clima de referencia (WorldClim), teniendo en cuenta el posible sesgo debido a la diferencia en las líneas de base. El método supone que los cambios en los climas sólo son relevantes a escala gruesa, y que las relaciones entre las variables se mantienen hacia el futuro (Ramirez & Jarvis, 2010).

Las sendas Representativas de concentración (RCP, se sus siglas en inglés) se identifican por su forzamiento radiativo total para el año 2100. Que va desde 2.6 a 8.5 Wm^{-2} , algunos de los escenarios contemplan los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático en el siglo 21.

	Forzamiento	Tendencia del forzamiento	[CO ₂] en 2100
RCP2.6	2,6 $W m^{-2}$	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 $W m^{-2}$	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 $W m^{-2}$	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 $W m^{-2}$	creciente	936 ppm

Fuente. Rodríguez E.(2013)

Modelación predictiva con MaxEnt

Existen muchos modelos predictivos de distribución de especies que pueden ser generados de forma determinística o geoestadística esto depende del tipo de datos que se quiere usar climáticos, topográficos y ecológicos atribuidos al área de estudio.

La máxima Entropía es un método general para realizar predicciones o inferencias a partir de información incompleta (Jaynes, 1957). La idea de MaxEnt es estimar la probabilidad de un objetivo de distribución para encontrar la probabilidad de distribución de máxima entropía (es decir, que es el más extendido, o más cerca de uniforme). La información disponible sobre el objetivo de distribución a menudo se presenta como un conjunto de variables de valores reales, llamadas "características", y las limitaciones que es el valor esperado de cada elemento debe adaptarse a la media empírica (valor medio de un conjunto de puntos de muestreo tomado de la distribución de destino) (Phillips et al. 2006).

El algoritmo comienza con una distribución de probabilidad e iterativamente altera el peso en cada momento para lograr alcanzar la distribución óptima que sea una combinación lineal de todas las variables y que varíe entre 0 y 1.

Validación del modelo

Se usaron 25 repeticiones para validar el modelo y para cada corrida con los modelos de circulación global en los cinco RCPs. Se usaron dos medidas para validar la habilidad del modelo: el área bajo la curva (AUC) (Peterson et al. 2008) y Kappa (Manel et al. 2001). El área bajo la curva es una herramienta útil para evaluar la precisión de un modelo estadístico (Zou *et al.* 2007). Además de seleccionar los modelos posiblemente óptimos y subóptimos. El índice de Kappa representa la proporción de acuerdos observados más allá del azar respecto del máximo acuerdo posible más allá del azar (Abraira, nd).

8 RESULTADOS

Los resultados se dividen en tres partes: (I) Impacto del cambio del clima en las regiones cafeteras (II) Parametrización, validación del modelo e incertidumbres, (III) predicción de la adaptabilidad del cultivo de café en las regiones cafetaleras de Costa Rica.

Impacto del cambio de clima en las regiones cafeteras de Costa Rica

En los cuatro escenarios de emisión existen incertidumbres y varían de un escenario a otro. La tabla 2 muestra que en el RCP 2.6 la precipitación aumenta entre 84 a 110mm acumulados promedio anual. Mientras que en los RCPs 4.5, 6.0 y 8.5 la precipitación disminuye y es más drástica en el RCP 8.5 teniendo hasta 273mm menos para el año 2080. La temperatura promedio anual tiende a subir entre 1.2 a 3.6°C de la cual el escenario 2.6 es el valor más bajo y el escenario 8.5 el más alto.

Tabla 2. Cambio de precipitación acumulada promedio anual y la temperatura promedio anual del territorio cafetalero de Costa Rica bajo 4 escenarios de emisión para los años 2050 y 2080.

Variable climática	RCPs							
	2.6		4.5		6.0		8.5	
	2050	2080	2050	2080	2050	2080	2050	2080
Precipitación acumulada anual	109.19	84.97	-96.66	-90.59	21.57	-195.06	-97.70	-273.48
Temperatura promedio anual	1.29	1.27	1.59	1.93	1.52	1.94	2.23	3.64

La figura 2 muestra la distribución de la precipitación y temperatura promedio anual bajo los 4 escenarios de emisión. En los RCPs 4.5, 6.0 y 8.5 se puede notar como los meses húmedos se vuelven más secos y los meses secos se mantienen así o aumentan un poco la precipitación. La temperatura aumenta en los escenarios y en todos los meses. El coeficiente de variación de los predictores de temperatura entre modelos es bajo menor a 2%. Mientras que los coeficientes de variación de los predictores de precipitación son inferiores a 16%. Los predictores de temperatura y precipitación fueron uniformes entre los modelos y por consiguiente no fueron detectados valores atípicos para todos los escenarios.

En general el clima se vuelve más estacional en términos de variabilidad a través del año en temperatura y más estacional en precipitación mientras que en RCP 6.0 son menos estacionales en temperatura y más estacional en precipitación y en el RCP 2.6 el clima es más estacional en términos de variabilidad en temperatura y menos estacional en precipitación.

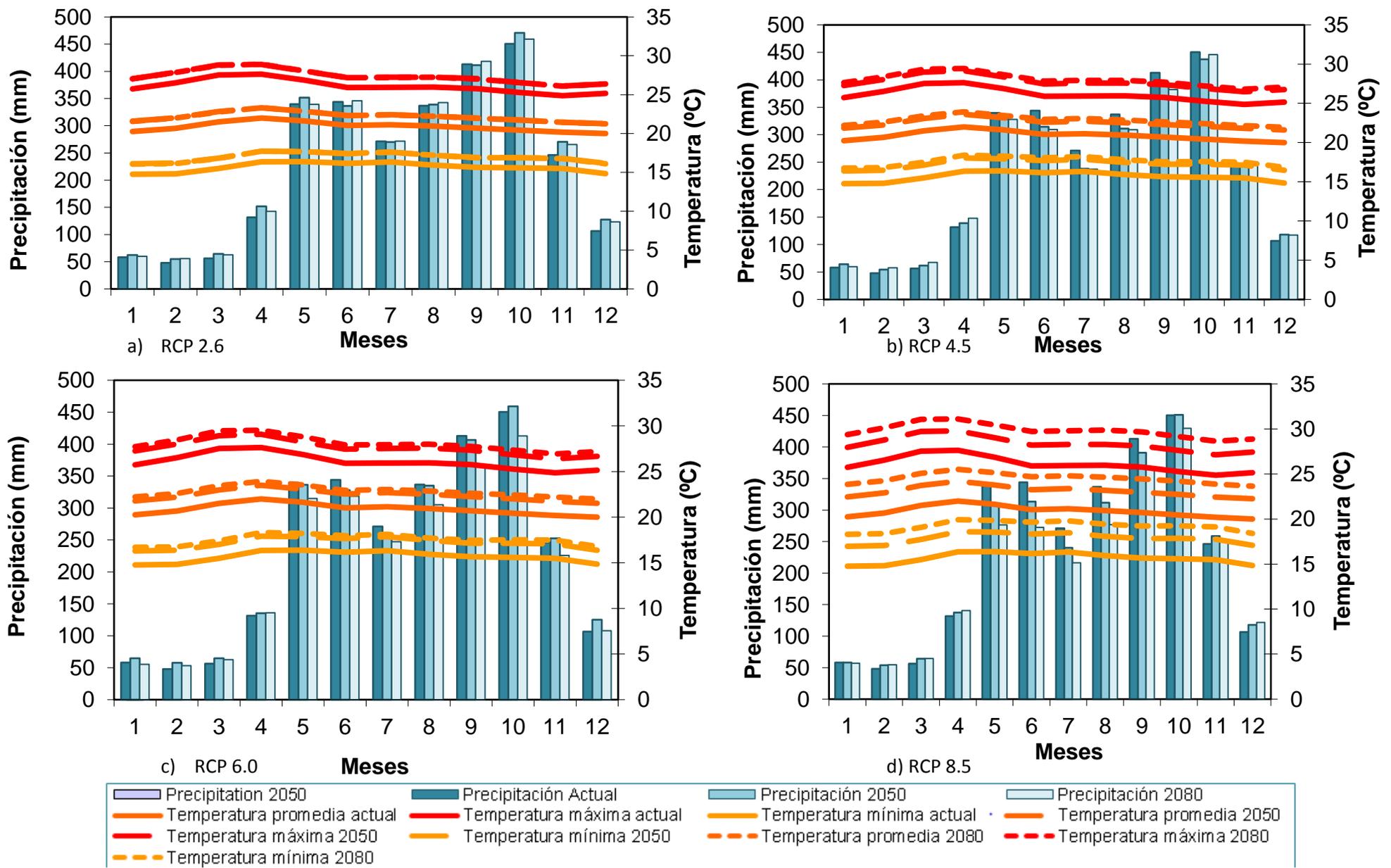


Figura 2. Patrones de precipitación y temperatura promedio mensual para la región cafetalera de Costa Rica bajo diferentes escenarios de emisión en los años promedios de 2050 y 2080.

Para las siete regiones cafeteras en Costa Rica en general disminuye la precipitación acumulada promedio anual a excepción del RCP 2.6 que aumenta la precipitación en ambos rangos de años y en todas las regiones cafeteras. En la región de Turrialba los escenarios predicen que en promedio aumenta la precipitación entre 60 a 167mm acumulados en el año mientras que el escenario 8.5 predice una reducción de la precipitación con un valor máximo de 177mm.

El RCP 8.5 presenta los valores más bajos de disminución de precipitación acumulada promedio anual para casi todas las regiones cafetaleras siendo la zona Norte y Occidental las más afectadas con valores de 357mm. (Figura 2).

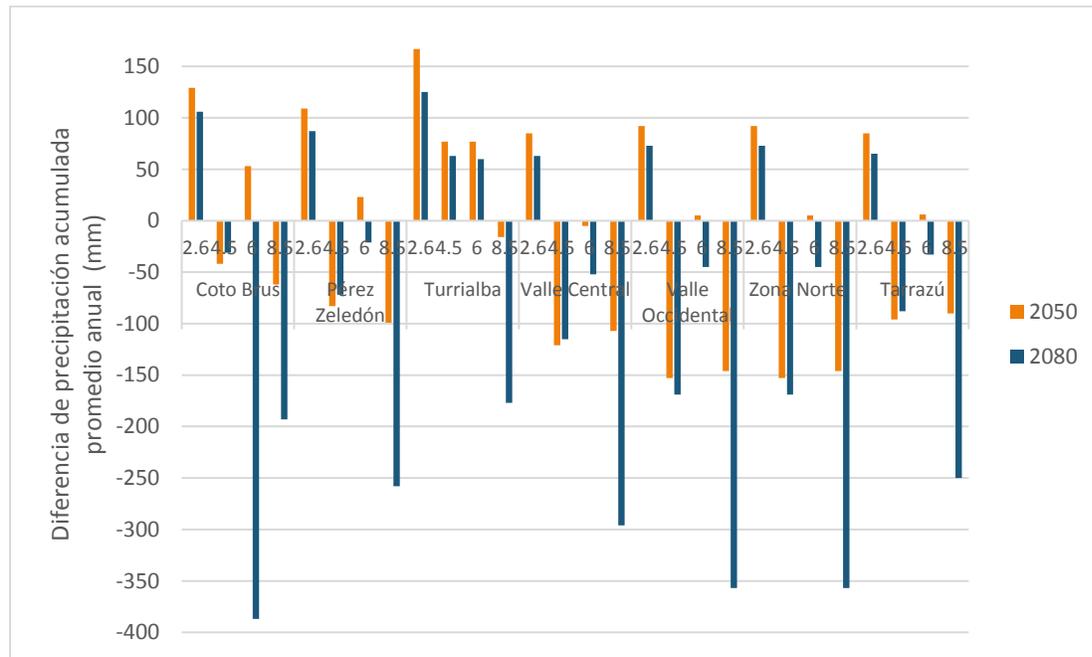


Figura 3. Cambio en la precipitación acumulada promedio anual (mm) para 4 escenarios de emisión y siete regiones cafetaleras de Costa Rica.

La temperatura promedio anual para todos los escenarios aumenta siendo el más drástico el RCP 8.5 con valores que superan los 3.4°C para el año 2080, el valor más bajo de aumento de temperatura lo presenta el RCP 2.6 con un valor de 1.2 °C en la región de Turrialba para el año 2050. En general para todas las regiones cafeteras se presenta mayor aumento de temperatura promedio anual para el año 2080 que en el 2050 con excepción del escenario 2.6. (Figura 3.)

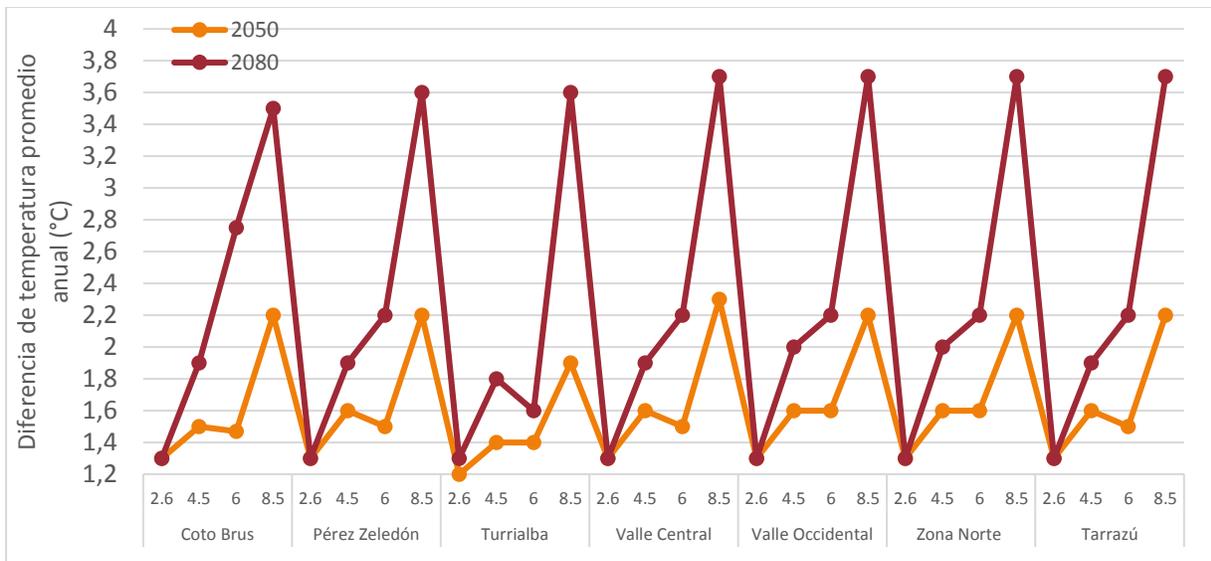


Figura 4. Cambio en la precipitación acumulada promedio anual (mm) para 4 escenarios de emisión y siete regiones cafetaleras de Costa Rica.

Los meses secos disminuyen un mes en todos los escenarios y años con excepción del RCP 8.5 que presenta valores entre 0.5 a 1.3 meses. Los meses húmedos se mantienen igual y en algunas ocasiones disminuye la precipitación mientras que los meses más secos se vuelven húmedos. (Figura 5.).

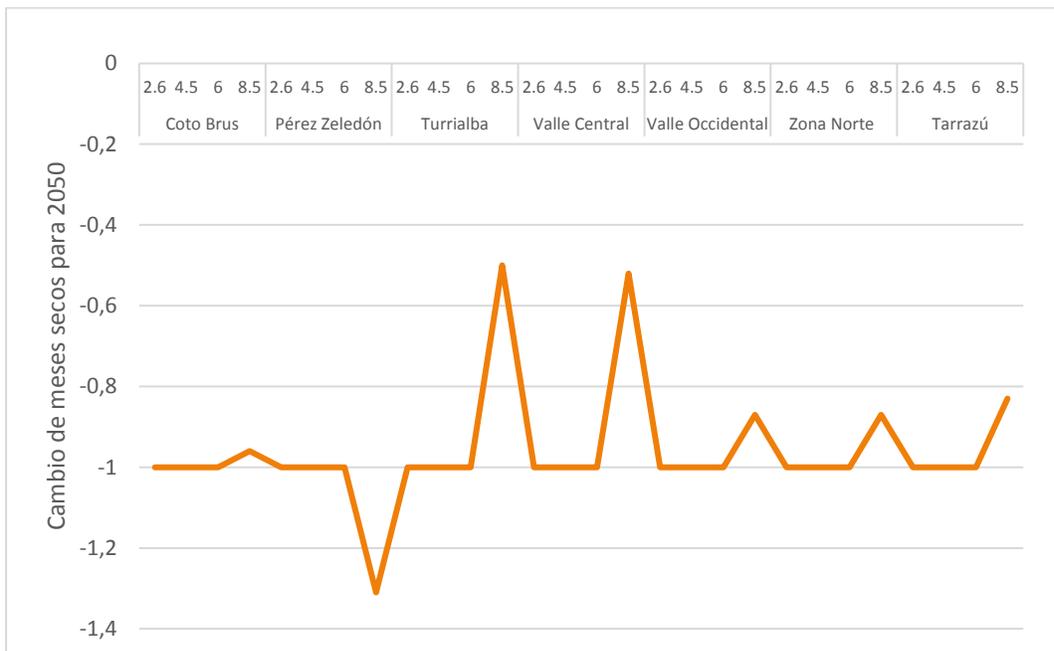


Figura 5. Cambio de meses secos para el 2050 en las regiones cafetaleras de Costa Rica.

Parametrización, Validación del modelo e incertidumbres

El rendimiento del modelo MaxEnt fue alto con valores de entrenamiento (80% de los datos de presencia de la especie) con un AUC de 0.93 y valores de prueba (20%) de 0.95. Los valores de Kappa son superiores a 0.75 por lo cual apunta a que el modelo es concordante. El número máximo del Kappa es 1. Esto indica que las incertidumbres de los modelo es bajo.

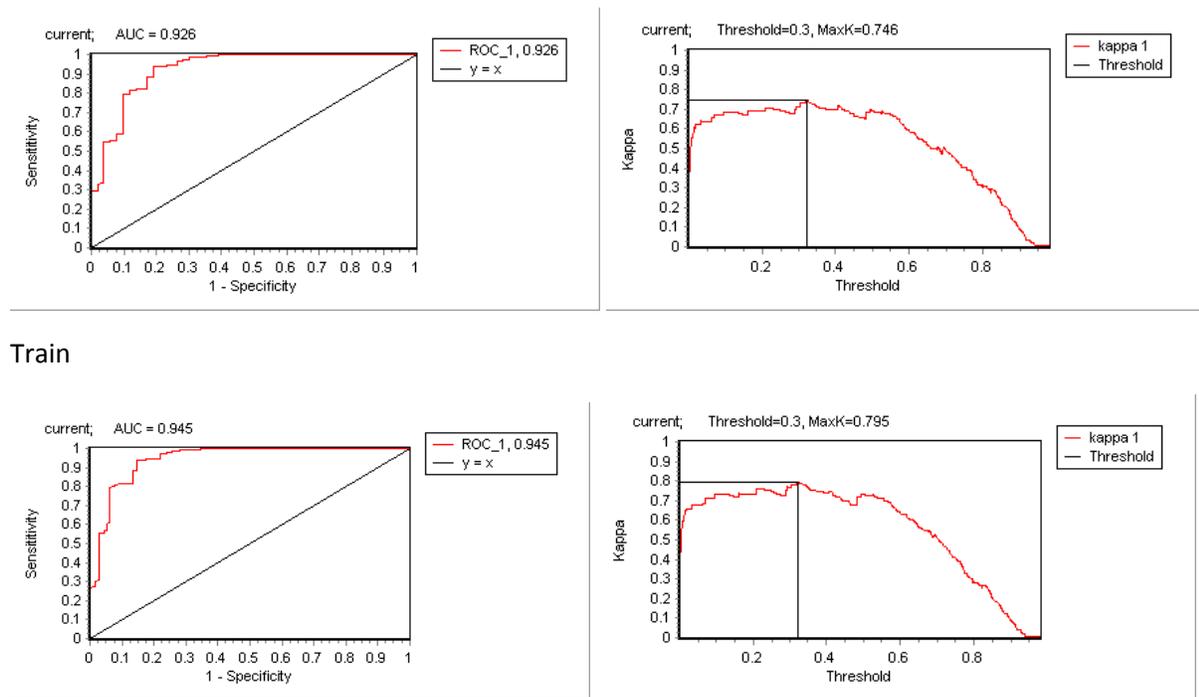


Figura 6. Área bajo la curva e índice de Kappa.

Predicción de la adaptabilidad del cultivo de café en las regiones cafetaleras de Costa Rica.

La aptitud del cultivo del café en promedio tiene un porcentaje del 70 presentando valores máximos del 98% y mínimos del 45% a través del territorio cafetalero de Costa Rica. Con el RCP 2.6 el café presenta una adaptabilidad reducida en promedio del 21% mientras que con el RCP 8.5 la adaptabilidad del cultivo puede verse afectada en promedio hasta en un 50% siendo el más afectado para el periodo de 2080 mientras que en 2050 se reduce en promedio el 35% de la adaptabilidad del cultivo.

Para el RCP 4.5 se reduce en promedio la adaptabilidad en 29% y 35% para los años de 2050 y 2080, respectivamente. Mientras que para el escenario 6.0 disminuye en promedio la adaptabilidad 25% y 37% en el mismo orden de años. (Figura 7 y 8.).

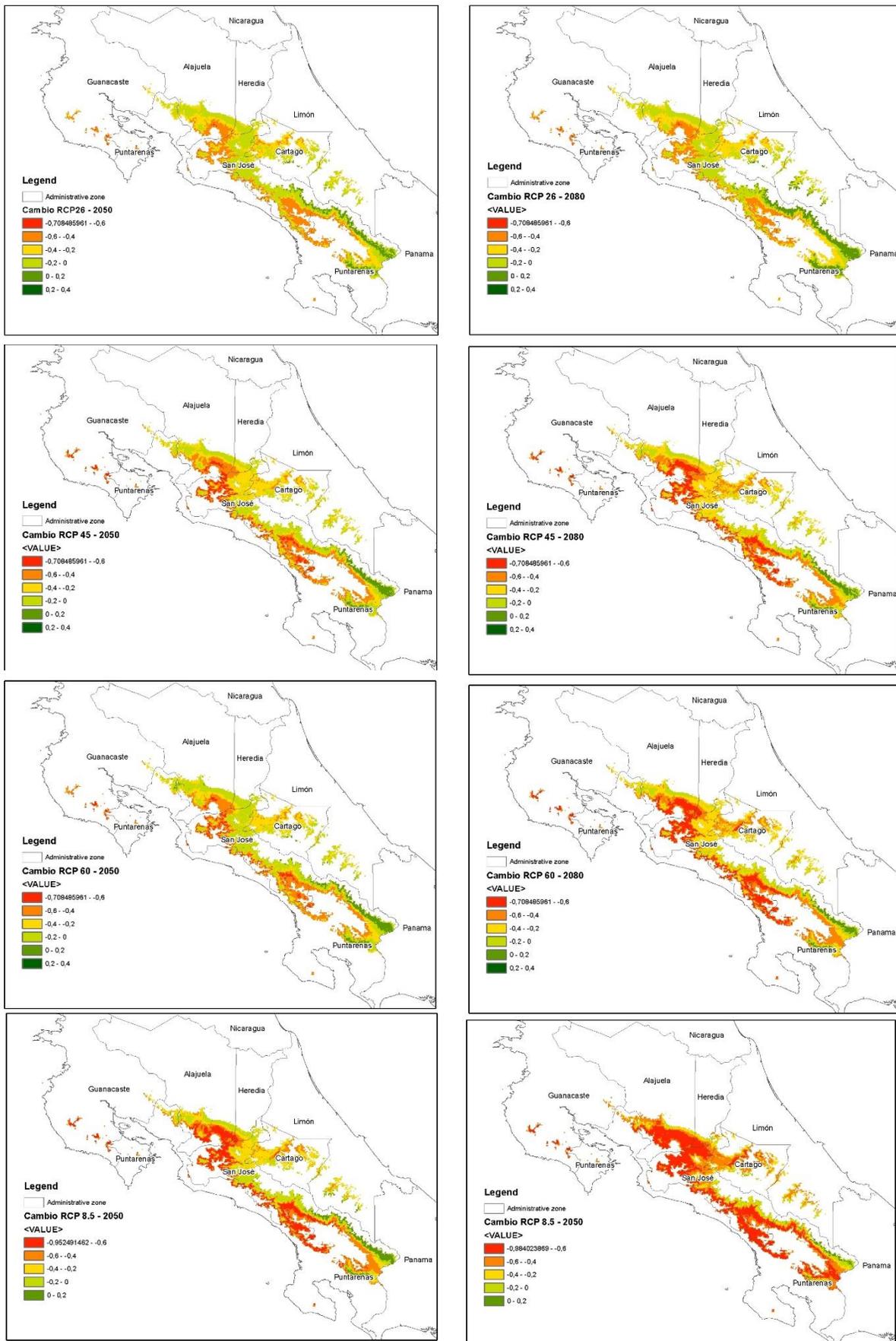


Figura 7. Impacto del cambio climático en la adaptabilidad del cultivo de café para Costa Rica bajo cuatro escenarios de emisión en el periodo de 2050 y 2080.

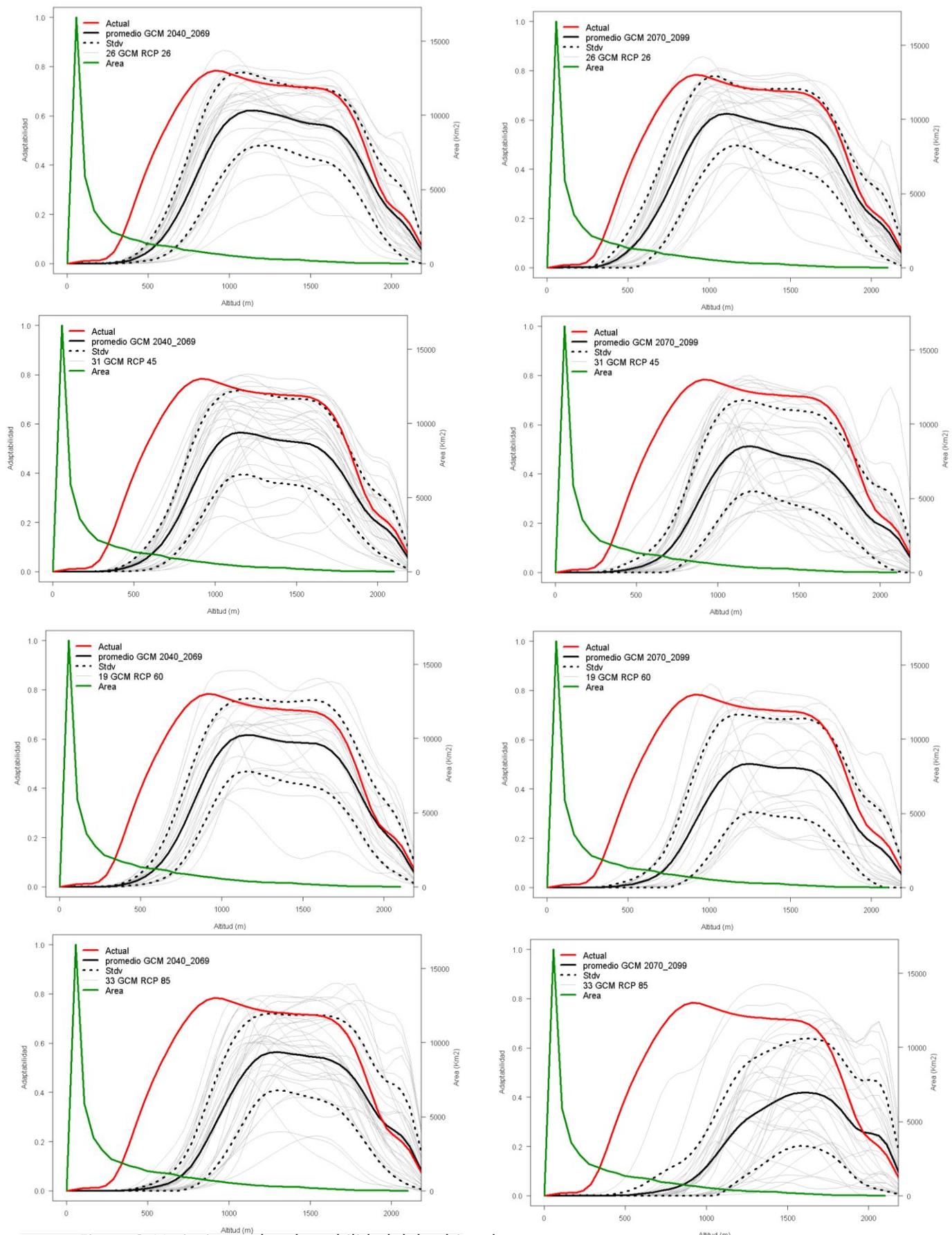


Figura 8. Variaciones de adaptabilidad del cultivo de care para costa rica bajo cuatro escenarios de emision y dos periodos (2050 y 2080.)

La región que disminuye un alto porcentaje de adaptabilidad es la Occidental y Central con un 64% para el RCP 8.5 en el 2080 y un 45% para el 2050. Le sigue la Pérez Zeledón con un 57% de disminución de adaptabilidad del cultivo de café para el 2080 y 47% para el 2050. En contraste la región de la zona Norte y Turrialba presentan la menor disminución promedio con 36% y 41% respectivamente para el año 2080 con el RCP 8.5.

Perez Zeledón es la región que más aumenta adaptabilidad de hasta un 15% en el RCP 6.0 para el año 2080 así como Tarrazú con un 13% para el RCP 8.5 en el 2080. Tarrazú presenta valores extraños por lo cual sería conveniente descartar algunos puntos para hacer la estadística descriptiva de los datos y también presentó mayor variabilidad entre escenarios como se muestra en la figura 9.

En general la adaptabilidad de cultivo tiende subir en gradiente altitudinal y genera mayor presión en las áreas protegidas sin embargo Costa Rica no presenta grandes áreas para expandir el cultivo hacia zonas altas sin tocar zonas protegidas.

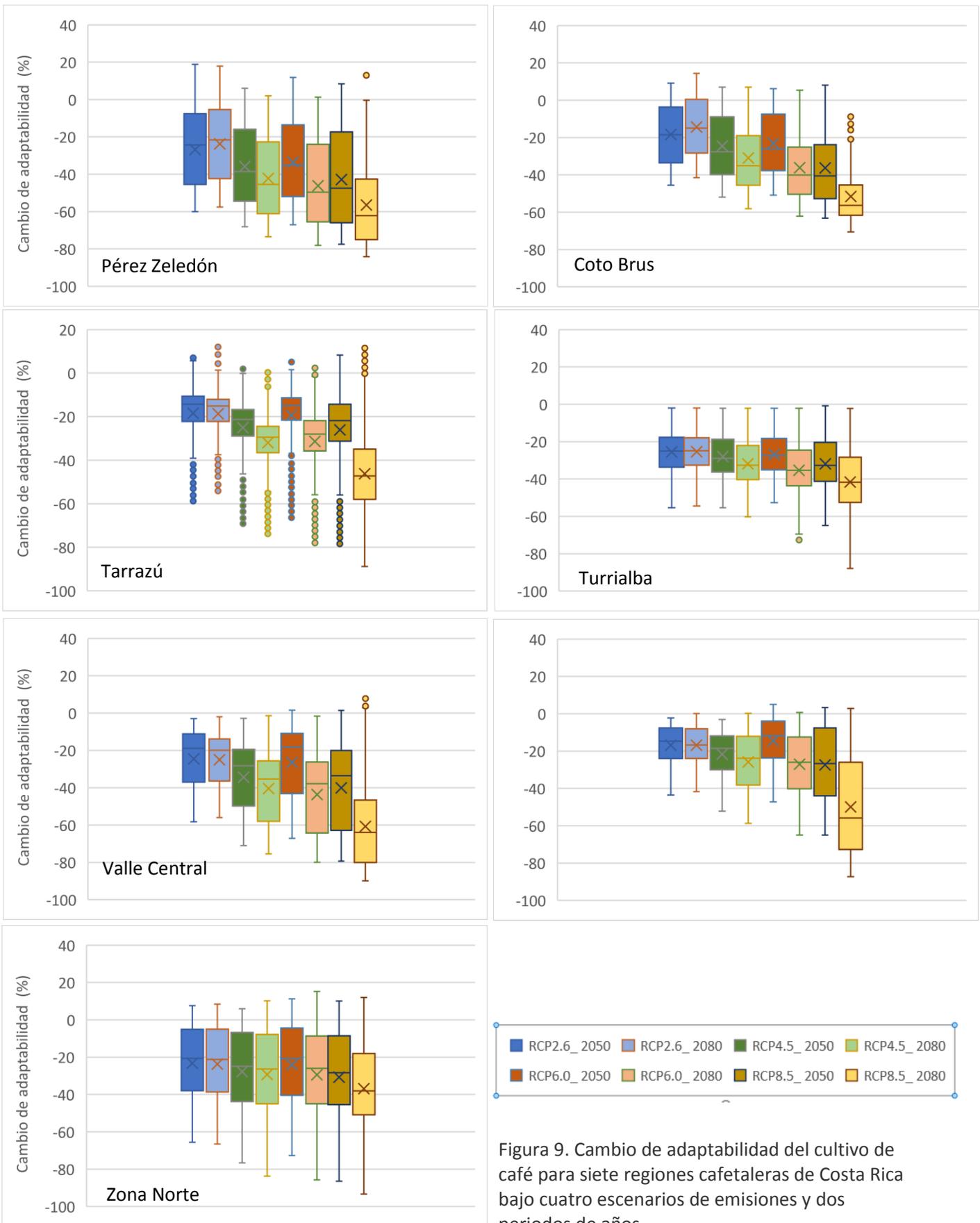


Figura 9. Cambio de adaptabilidad del cultivo de café para siete regiones cafetaleras de Costa Rica bajo cuatro escenarios de emisiones y dos periodos de años.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general la precipitación tiene a bajar y los meses húmedos se vuelven más secos y los meses secos se mantienen igual o aumentan de forma leve. La región de Turrialba es la excepción ya que en tres escenarios de emisión aumenta la precipitación promedio acumulada anual.

La temperatura en todos los escenarios aumenta y esta varía entre 1.3°C a 3.6°C, dependiendo del periodo, la región y el escenario de emisión.

La simulación del modelo no tiene en cuenta el efecto del árbol bajo sistemas agroforestales con café por lo cual el porcentaje de disminución de adaptabilidad podría variar de forma positiva en las regiones que manejan estos sistemas.

Para mitigar el efecto del cambio climático y adaptarse a estas nuevas condiciones existen una serie de prácticas y manejos que sirven de guía para ser resilientes y manejar asertivamente el sistema de producción de café.

Las innovaciones agroforestales con café en general capturan diferentes tasas de carbono dependiendo del arreglo y la especie en cada región cafetera y ayudan a mitigar los efectos de cambio climático. Por lo cual es recomendable hacer un estudio para identificar las principales especies que benefician en múltiples servicios y bienes al productor y el cultivo.

Las buenas y oportunas prácticas agrícolas como manejo de coberturas amigables para el cultivo evita la pérdida de agua por evaporación, aporta nutrientes al suelo (dependiendo de la especie), ayudan a la microbiología de suelo, y reducen la temperatura de suelo entre otras favorecen a que un productor se adapte a los cambios de temperatura y precipitación del sitio además de otras variables climáticas.

Otras practicas interesantes para el cultivo que ayudan a la adaptación y mitigación son variedades mejoradas, fertilización oportuna teniendo en cuenta análisis de suelo, podas oportunas al cafeto y al árbol de sombra, entre otras.

Dependiendo de la región así mismo se regula el nivel de sombra adecuada para cada cultivo además de la posición del cultivo y de las horas luz que el cafetal recibe. Por lo cual muchas de las estrategias de adaptación y mitigación ya están siendo difundidas por parte de las organizaciones nacionales e internacionales involucradas en el sector sin embargo se requiere de control y calidad de la información suministrada para no doblegar esfuerzos y el mensaje sea claro y coherente entre instituciones.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Arrieta Bolaños, S., Virginio Filho, E. de M., Roupsard, O., Rapidel, B., 2015. Diseño de piloto de sistemas agroforestales en el ámbito de la NAMA-CAFÉ Costa Rica. Tecnologías de sistemas agroforestales con café para validación en regiones cafeteras de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
- ICAFFE, 2015. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
- IPCC, 2006. Agriculture, in: Eggleston, H., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japon.
- Moguel, P., Toledo, M., 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conserv. Biol.* 13, 11–21.
- Ramirez-Villegas J., Jarvis A. & Läderach P. (2011) Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*. In press. Doi: 10.1016/j.agrformet.2011.09.005.
- Andrade. J, H., Marin. M, L., Pachón. P, D., 2014. Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro* 26, 127–132.
- Andrade, H., Segura, M., Somarriba, E., Villalobos, M., 2008. Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca , Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 46, 45–50.
- Cairns, M.A., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world ' s upland forests 1–11.
- Espinoza-Domínguez, W., Krishnamurthy, L., Vázquez-Alarcón, A., Torres- Rivera, A., 2012. Almacén de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café. *Rev. Chapingo Ser. Ciencias For. y del Ambient.* XVIII, 57–70. doi:10.5154/r.rchscfa.2011.04.030
- IMN, 2016. Factores de emisión gases efecto invernadero. San José, Costa Rica.
- Killian, B., Rivera, L., Soto, M., Navichoc, D., 2013. Carbon Footprint across the Coffee Supply Chain : The Case of Costa Rican coffee. *Agric. Sci. Technol.* 3, 151–170.
- Magaña, S.D.M., Harmand, J.M., Hergoualc, K., 2004. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa aérea y el mantillo en sistemas agroforestales de café en el suroeste de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 41–42, 98–104.
- Muschler, R. G. (1997). Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discussion. ICAFFE. Memorias del 18th Simposia Latinoamericano de Caficultura. San José,

Costa Rica: Instituto Nacional de Café.

Ovalle-Rivera, O., 2016. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café en Costa Rica. San José, Costa Rica.

Rueda Sánchez, A., Gallegos Rodríguez, A., González Eguiarte, D., Ruiz Corral, A., Benavides Solorio, J. de D., López Alcocer, E., Acosta Mireles, M., 2015. Estimación de biomasa aérea en plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King. *Rev. Mex. Ciencias For.* 5, 8–17.

Salgado, J., 2010. Fijación de carbono en biomasa aérea y rentabilidad financiera de sistemas agroforestales con café en Turrialba, Costa Rica y Masatepe, Nicaragua.

Schroth, G., D'Angelo, S.A., Teixeira, W.G., Haag, D., Lieberei, R., 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *For. Ecol. Manage.* 163, 131–150. doi:10.1016/S0378-1127(01)00537-0

Segura, M., Kanninen, M., Suárez, D., 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agrofor. Syst.* 68, 143–150. doi:10.1007/s10457-006-9005-x

Zou KH, O'Malley AJ, Mauri L. (2007). Receiver-operating characteristic analysis for evaluating diagnostic tests and predictive models. *Circulation*, 6;115(5):654-7

Rodríguez C, E. (2013). Respuestas desde la comunicación y la educación frente al cambio climático. X seminario. Octubre 2013.