

ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA APTITUD DE LOS CULTIVOS DE MARAÑÓN, MANGO, JOCOTE Y CARAMBOLA PARA HONDURAS, CON ÉNFASIS EN LA ZONA DE CHOLUTECA Y VALLE



CHOLUTECA,
HONDURAS
MARZO DE 2020.

Por mandato de:

Implementado por:



Canada



SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA



© Swisscontact, 2020.

Pablo Siles; Carlos Andara; Jenny Wiegel; Diego Obando; Carlos Suazo; David Gómez y Juan Carlos Alvarado. (2020). Análisis del impacto del cambio climático sobre la aptitud de los cultivos de marañón, mango, jocote y carambola para Honduras, con énfasis en la zona de Choluteca y Valle. Swisscontact y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.



Este documento se publica bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Licencia Internacional (CC BY 4.0).

La presente publicación ha sido elaborada con el apoyo financiero de la Unión Europea a través del proyecto Progresía y del Global Affairs Canada (GAC) mediante el proyecto Oportunidades Rurales en el Golfo de Fonseca, ambos, ejecutados por Swisscontact. Su contenido es responsabilidad exclusiva de Swisscontact y no necesariamente refleja los puntos de vista de la Unión Europea, tampoco del GAC o de las instituciones socias.

Fotografía: Marco Vásquez y Mario Urrutia.

El Proyecto Oportunidades Rurales en la región Golfo de Fonseca es auspiciado por Global Affairs Canada (GAC) e implementado por Swisscontact.

El Proyecto PROGRESA es auspiciado por la Unión Europea y ejecutado por Swisscontact en conjunto con el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), Molinos de Honduras y las Alcaldías de Danlí y Namasigüe.

Para más información dirigirse a:

Swisscontact. Lomas del Guijarro, calzada Llama del Bosque, #602 | Tegucigalpa, Honduras. Tel. +504 2239-8846. Correos electrónicos: info@proyectoprogresia.org y progresia@swisscontact.org.



CONTENIDO

I.	Resumen ejecutivo	4
	A. Marañón	6
	B. Mango	7
	C. Jocote	8
	D. Carambola	8
II.	Antecedentes y objetivos del estudio	9
	A. Cambio climático en la región centroamericana	10
III.	Metodología	14
	A. Los datos climáticos	15
	B. Modelación de la aptitud climática del cultivo	16
IV.	Resultados del impacto de cambio climático sobre cultivos frutales	18
	A. Impacto del cambio climático sobre el cultivo de marañón (<i>Anacardium occidentale</i>)	19
	B. Impacto del cambio climático sobre el cultivo de mango (<i>Mangifera indica</i>)	23
	C. Impacto del cambio climático sobre el cultivo de jocote (<i>Spondias purpurea L.</i>)	26
	D. Impacto del cambio climático sobre el cultivo de carambola (<i>Averrhoa carambola</i>)	30
V.	Conclusiones	33
VI.	Referencias	35
VII.	Anexos	37

I. RESUMEN EJECUTIVO

El marañón es un cultivo que se ha promovido en las áreas del corredor seco en Honduras como una alternativa a las condiciones de baja precipitación.

Este estudio muestra el impacto del cambio climático sobre la aptitud de los cultivos de marañón (*Anacardium occidentale*), mango (*Mangifera indica*), jocote (*Spondias purpurea*) y carambola (*Averrhoa carambola*) en Honduras; país que está entre los más vulnerables al cambio climático al igual que otros países de Centroamérica como Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Adicionalmente, el corredor seco se considera especialmente más vulnerable que otras regiones, puesto que comprende un área con cuatro a seis meses secos, en la cual se pueden desarrollar uno o dos ciclos de cultivo al año, especialmente de granos básicos como maíz y frijol.

Los cultivos frutales perennes han sido promovidos recientemente en Honduras como una fuente adicional de ingresos para las familias más vulnerables de la región 13 Golfo de Fonseca. En el proyecto Oportunidades Rurales se ha promovido el fortalecimiento de la cadena de marañón para la producción de nuez, en la cual, mujeres y jóvenes, tienen una participación importante en la producción y el procesamiento. Adicionalmente, se espera que otras cadenas de valor, sobre todo frutales, tengan un impacto importante en aumentar el ingreso de mujeres y jóvenes.

Para realizar el modelaje de la aptitud de los cultivos en este estudio se usaron dos Rutas Representativas de Concentración (RCP por sus siglas en inglés): RCP 8.5 que representa un escenario pesimista y el RCP 4.5 que representa un escenario intermedio. De esta forma, para el año 2050 con el RCP 4.5, se espera un aumento importante en la temperatura media anual entre 1.5 y 2°C, mientras que, para 2070, el aumento esperado es de 2 a 2.5°C. Por otra parte, los cambios esperados en la precipitación son menos claros. En algunas zonas se espera una reducción potencial de hasta 20% mientras que, en otras regiones, como la región 13, se esperan pocos cambios a causa del aumento del 15 al 20% en la precipitación anual promedio. Así, a pesar de que los productores mencionan la reducción de precipitación como una consecuencia del cambio climático, las proyecciones muestran poco impacto de éste sobre la precipitación.



Del futuro de los cultivos frutales depende el sustento de miles de familias.

En el presente estudio se pretende determinar la aptitud actual de los cultivos de marañón, mango, jocote y carambola en Honduras, así como determinar la distribución futura de zonas aptas para estos cultivos e identificar zonas potenciales para inversiones en estos cultivos en la región 13. De esta forma, se espera contribuir al diseño de inversiones a través de información sobre el impacto futuro del clima sobre la idoneidad de estos cultivos en diferentes zonas. En este estudio se usaron modelos de nicho ecológico, especialmente Maxent (Máxima Entropía) para predecir la aptitud actual y futura de los diferentes cultivos, basándose en la combinación de clima actual y predicciones de clima futuro del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2014). La fuente para datos actuales o línea base (1970-2000) la constituyen los datos del Worldclim y para el clima futuro se usaron los datos de temperatura y precipitación, principalmente de las Rutas Representativas de Concentración RCP 4.5 y 8.5.

A partir de los datos climáticos mensuales de temperaturas (mínima y máxima) y de precipitación se generaron 20 variables bioclimáticas (con una resolución de un kilómetro cuadrado). El modelaje de zonas aptas para los cultivos se basa en puntos de presencia de los cultivos, los cuales fueron obtenidos en el sitio web de la flora mesoamericana www.floramesoamericana.org, la que contiene registros de las colecciones de las especies vegetales tratadas y datos de presencia, facilitadas por técnicos de Swisscontact. Estos modelos permiten generar mapas que muestran geográficamente las zonas de aptitud climática para los diferentes cultivos en la actualidad y para el futuro.

A. MARAÑÓN

El cultivo de marañón se desarrolla en regiones caracterizadas por una alta temperatura y una precipitación baja e irregular, estas zonas en Centroamérica son típicas del corredor seco. Actualmente, este cultivo se ha establecido en al menos nueve municipios, en los departamentos de Choluteca y Valle; donde está el mayor número de productores, para quienes el cultivo es una fuente importante de empleo y subsistencia familiar. Los puntos de presencia utilizados en este estudio muestran que la temperatura media anual para el cultivo de marañón varía entre los 22 y 28°C, con la mayor presencia en los valores de 25 a 28° C. La precipitación anual para el cultivo varía entre 800 a 2500 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1500 a 2000 mm, con cuatro a seis meses secos al año.

Los resultados de la modelación muestran que, bajo el clima actual, los departamentos de Choluteca y Valle son las áreas que presentan condiciones más óptimas para el desarrollo del cultivo de marañón en Honduras; las cuales se encuentran por debajo de los 500 msnm. Por su adaptación a un amplio rango de temperatura, el marañón puede existir en altitudes que van de 0 a 1000 msnm. Las áreas actuales de mayor aptitud climática coinciden con las áreas de mayor temperatura, >24°C y con al menos cuatro meses secos (con una precipitación menor a 50 mm). Fuera de los departamentos de Valle y Choluteca el modelo también identificó áreas como de muy buena aptitud en otros departamentos de frontera con El Salvador como Intibucá, La Paz y Lempira, así como algunas áreas de Francisco Morazán y El Paraíso.



Plantación de marañón.

Para el 2050, se observa un posible aumento del área apta para el marañón en el país. Sin embargo, a nivel de los departamentos de Valle y Choluteca, las implicaciones del cambio climático serán que algunas zonas, pasarán de ser áreas con muy buena aptitud a áreas con una aptitud climática media y, en algunos casos, a aptitud marginal. En municipios como Pespire, San Isidro y Orocuina, en Choluteca, pasarán a tener una aptitud media a marginal. En el departamento de Valle se cambiará de tener áreas de muy buena aptitud a áreas de aptitud media a buena, especialmente en municipios como San Lorenzo y sur de Nacaome. Por otro lado, áreas como San Marcos de Colón donde actualmente no presenta áreas aptas para el cultivo pasará a tener áreas aptas (de marginal a intermedias).



B. MANGO

El mango es un cultivo que se adapta relativamente a una amplia gama de condiciones climáticas. En Centroamérica el cultivo se encuentra principalmente en áreas del corredor seco. Los puntos de presencia muestran que la temperatura media anual para el cultivo de mango varía entre 22 y 28°C, con una mayor densidad entre 24 a 27°C. La precipitación anual, por otro lado, varía entre 1000 a 3000 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1500 a 2500 mm. En zonas tropicales, el mango requiere de un clima en el cual se alternen la época lluviosa con la época seca, esta última debe coincidir con la época de prefloración.

La modelación de aptitud actual del cultivo, muestra que el mango se puede adaptar a muchas áreas dentro de Honduras. La zona de Choluteca y Valle presenta sitios con buena aptitud para el cultivo. Zonas como Concepción de María, El Corpus y Santa Ana de Yusguare parecen tener buena aptitud climática actual, mientras que algunas zonas de Valle como

Plantación de mango.

Aramecina y Caridad presentan zonas más marginales para el cultivo. Para el 2050, a diferencia del cultivo de marañón, se espera una reducción sustancial del área apta para el cultivo de mango en la región 13. En el departamento de Choluteca, solamente los municipios de Concepción de María y El Corpus continuarán siendo aptas, pero de forma buena a intermedia. Sin embargo, en el departamento de Valle con los resultados de este modelaje, se espera que el cultivo de mango deje de ser apto, excepto en condiciones muy especiales que impliquen mayor inversión para la producción o en condiciones naturales muy especiales, tales como cercanía a ríos y quebradas. Las implicaciones del cambio climático para este cultivo serán que gran parte del área dejará de ser apta para el cultivo como explotación comercial y que, posiblemente, podrá producirse en huertos caseros en la zona de Choluteca y Valle.

C. JOCOTE

La temperatura óptima que requiere el cultivo de jocote cambia de acuerdo con la variedad. Se encuentran principalmente dos grupos: las variedades de verano con una temperatura óptima de 24 a 30 °C y la variedad de jocote corona con una temperatura óptima entre 18 a 28 °C. La temperatura media anual para el jocote varía entre los 20 a 28 °C según los puntos de presencia, con una mayor densidad de puntos en los valores de 24 a 28 °C. La precipitación anual por otro lado, presentó un amplio rango, entre 1000 a 3000 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1000 a 2000 mm.

El modelo muestra una buena aptitud climática actual en los departamentos de Choluteca y Valle, posiblemente por ser una especie nativa de Centroamérica y adaptada a la región del corredor seco. La especie incluso muestra una buena aptitud climática en los departamentos de Francisco Morazán, El Paraíso, La Paz, Intibucá y Lempira, todos estos departamentos pertenecientes al corredor seco de Centroamérica. Para el 2050, se espera una reducción general de la aptitud del cultivo para Honduras. Sin embargo, los departamentos de Choluteca y Valle, continuarán siendo muy aptos para la producción de este fruto, sobretodo en la región cercana a la costa, donde se mantendrá una aptitud climática muy buena.



D. CARAMBOLA

La carambola es una especie originaria de Indonesia y Malasia que se ha diseminado en varios países de América. La temperatura media anual para esta especie varía entre los 22 y 28°C, y se sugieren climas más frescos comparados con marañón, mango y jocote. Por otro lado, la precipitación anual varió entre 1000 y 4000 mm, sin presentar una clara concentración de puntos. Esto sugiere un requerimiento mayor de precipitación comparado con los otros cultivos analizados. La modelación para esta especie muestra que hay una muy buena aptitud climática actual en el área de Choluteca y Valle. De hecho, el cultivo se presenta con mayor aptitud en zonas más cálidas por debajo de 1000 msnm y en zonas con menos de 2000 mm anuales. Para el año 2050, se espera un aumento en la aptitud climática para el cultivo en la zona del caribe, especialmente en el departamento de Gracias a Dios. En la zona de Choluteca y Valle, el cultivo continuará siendo apto para los dos escenarios, sin embargo, se pasará de tener una aptitud muy buena a una aptitud intermedia a marginal.



II. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

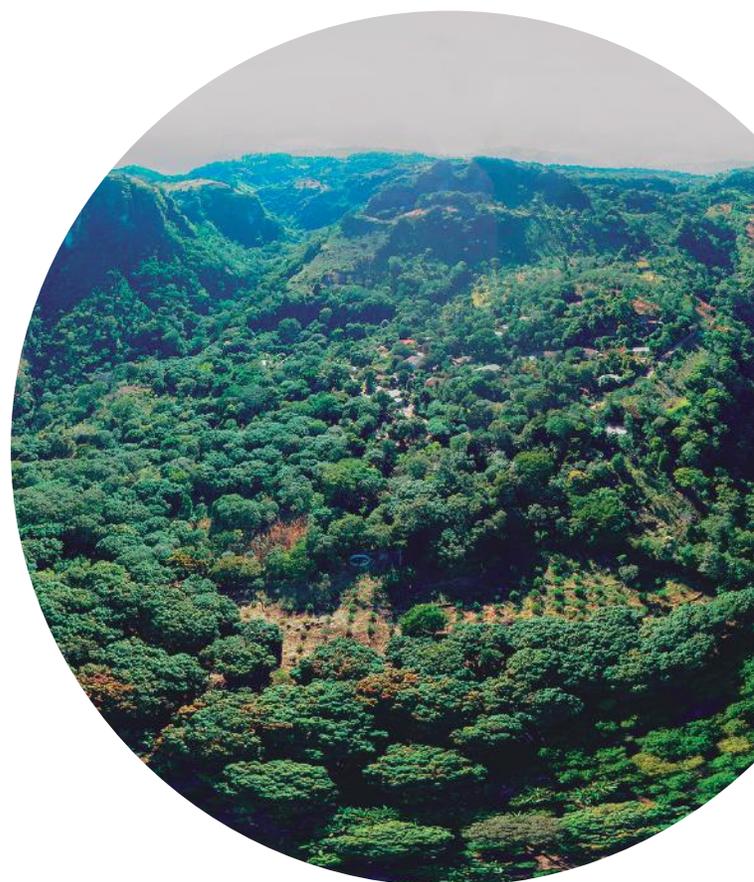


A. CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN CENTROAMERICANA

El clima global ha cambiado durante el siglo pasado y se proyecta que continuará cambiando a lo largo de este siglo. Todos los modelos de circulación global (GCM) apuntan a una temperatura más alta y cambios en el régimen de precipitación. Centroamérica además, se ve afectada por sequías, huracanes y el fenómeno de El Niño- Oscilación Sur (ENSO) y es considerada una de las regiones con mayor exposición a la variabilidad y cambio climático (Giorgi, 2006).

Honduras, Nicaragua y Guatemala, se encuentran dentro de los diez países con mayor riesgo climático de acuerdo con un Índice Global de Riesgo Climático (Global Climate Risk Index) sobre la base de una evaluación global del impacto de eventos extremos climáticos entre 1993 y 2012 (Kreft et al., 2013), igualmente para el período 1997 a 2016, Honduras, Haití, Myanmar y Nicaragua son los cuatro países identificados como los más afectados durante ese lapso de tiempo (Eckstein et al., 2018). Algunos cultivos de importancia económica en Centroamérica ya han comenzado a experimentar el impacto de cambio climático con una reducción de rendimientos para maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), mientras el sector de café (*Coffea arabica*), es uno de los más expuestos a un efecto negativo de cambio climático (Bunn et al., 2015; Gourdjji et al., 2015).

El cambio climático es identificado como una de las amenazas más importantes de los cultivos en la zona del corredor seco de Centroamérica, ya que el clima es un factor muy importante en la producción. Debido a que los cultivos tradicionales de maíz y frijol muestran una reducción de zonas idóneas a futuro debido al cambio climático, es importante identificar alternativas rentables y adaptadas. Por lo tanto, es sumamente importante investigar si los cultivos para promover serán resilientes al clima futuro, dado que los cultivos nuevos toman tiempo para establecerse en una zona, más aun, cuando son cultivos perennes y representan inversiones importantes a largo plazo.



La región 13 que comprende los departamentos de Choluteca y Valle pertenecen al corredor seco de Centroamérica por lo que puede representar un factor más de riesgo climático. Esta zona se compone aproximadamente de un 40% de llanuras con pendientes menores de 10 grados que se localizan especialmente en las zonas costeras del Golfo de Fonseca, 35% de cerros con pendientes entre 15 y 30 grados y un 25% de montañas con pendientes entre 30 y 45 grados. Esta región presenta, además de la producción tradicional de granos básicos (como maíz, maicillo, arroz y frijol), algunos cultivos no tradicionales como melón, sandía, y especialmente camarón. El melón y el camarón hacen parte de las exportaciones del sector empresarial y la sandía del mercado nacional y representa un ingreso importante para los agricultores. Por otra parte, la ganadería tiene una importancia económica tal, que la zona tiene la carga animal más alta entre las regiones del país.

El IPCC ha desarrollado cuatro familias de escenarios para el Quinto Reporte de Evaluación (IPCC, 2013) denominadas Rutas Representativas de Concentración (RCP por sus siglas en inglés) éstas son: RCP 8.5 (pesimista), RCP 6.0, RCP 4.5 (intermedio) y RCP 2.6 (optimista). Así, para el año 2050 se espera que la temperatura incremente entre 1.5 y 2°C en la mayor parte del territorio bajo el escenario RCP 4.5 (figura 1a), mientras que bajo el escenario del RCP 8.5 este aumento será mayor a 2.5°C en la mayoría del territorio (figura 1b). Los escenarios muestran aumentos de la temperatura media anual para la región 13 de 1.5 a 2°C para 2050 y 3.7°C para el fin de siglo. Especialmente, los escenarios muestran un aumento en toda la región, pero se acentúa con mayor intensidad al norte de la región (Valle), donde las temperaturas medias registradas son menores (por debajo de 24°C), pero que podrían presentar un aumento de temperatura de hasta 2.5°C (Navarro et al, 2018).

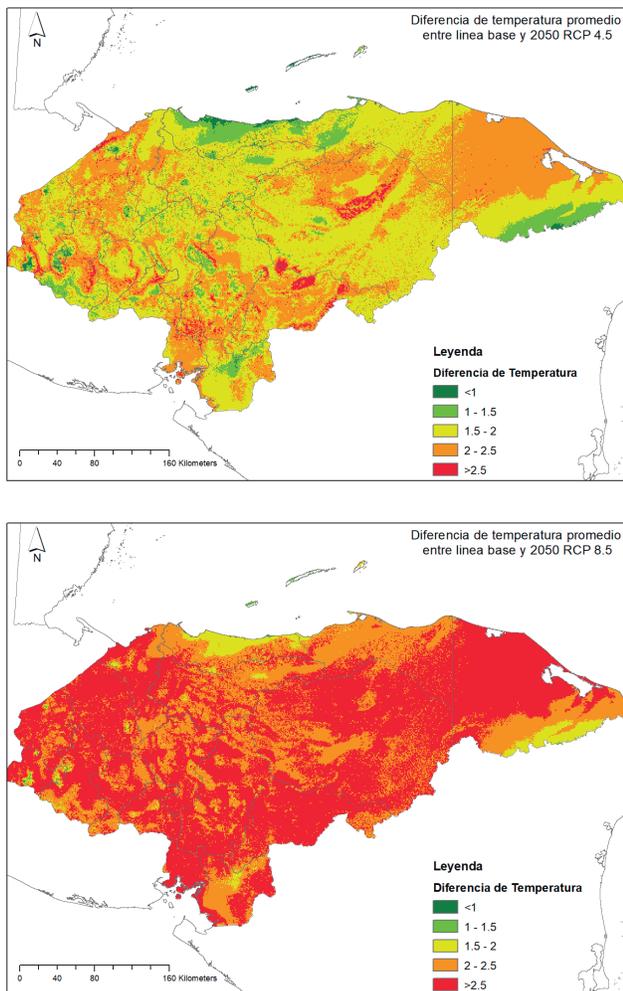


Figura 1. Cambios de temperatura promedio para 2050 de acuerdo al RCP 4.5 (a) y RCP 8.5 (b) para Honduras.

Para 2050, se proyectan cambios leves en la precipitación en Honduras, estos cambios muestran zonas donde se presentarán ligeros incrementos de la precipitación y otras áreas en las que se presentarán reducciones de hasta en 20% de reducción y de 20% de incremento en ambos RCP4.5 y RCP8.5, figura 2. En el escenario del RCP 8.5 se presenta una mayor área del territorio de Honduras que muestra una reducción de la precipitación más pronunciada >20% de reducción. Sin embargo, en el departamento de Choluteca ambos escenarios muestran un ligero incremento en la precipitación que va de 5 a 20% (figura 2a). Sin embargo, el departamento de Valle muestra una leve reducción en la precipitación anual de 5 a 15% en ambos escenarios.

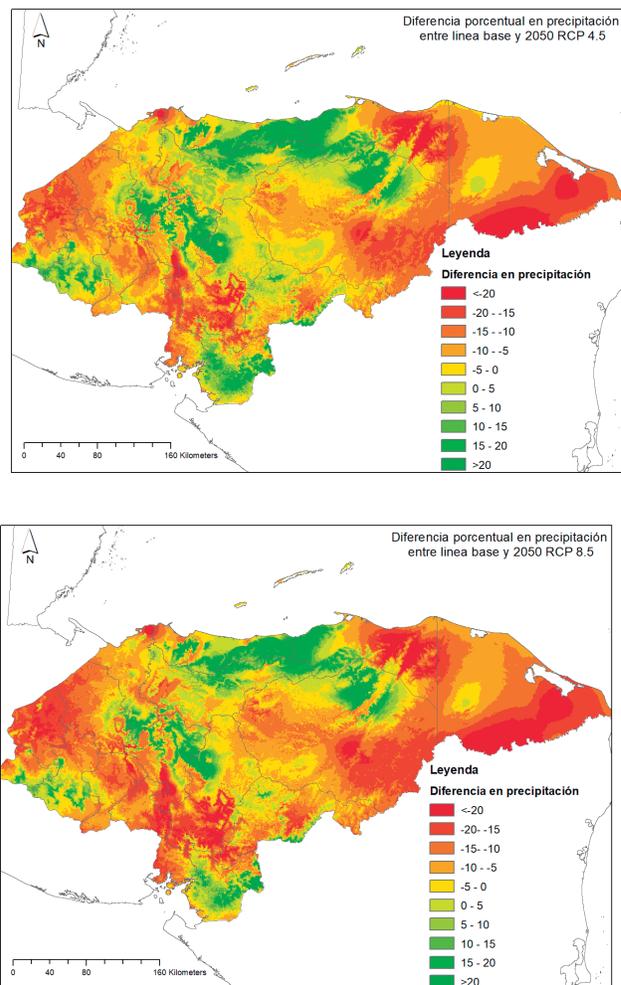


Figura 2. Cambios de precipitación anual promedio para 2050 de acuerdo al RCP 4.5 (a) y para RCP 8.5 (b) para Honduras.

Específicamente para los departamentos de Choluteca y Valle se muestra que el cambio climático influirá en un aumento de temperatura de 1.5 a 2°C para 2050, mientras que la influencia en la precipitación es menos clara. Aunque en la zona de Choluteca se estima un aumento de precipitación, debido a la baja precipitación en la zona, creemos que este aumento es poco significativo. El aumento de la temperatura y los trastornos potenciales del ciclo hidrológico, especialmente en áreas donde se estima una reducción de la precipitación, podrían modificar la disponibilidad de agua, las condiciones de aridez y la frecuencia y duración de las sequías. Estas condiciones son propicias para una mayor frecuencia de incendios forestales, pérdidas de producción de granos y desfases de ejecución de prácticas agrícolas como la siembra, el control de plagas y la cosecha.

El proyecto “Oportunidades Rurales” tiene como objetivo promover la generación de empleos en mujeres y jóvenes en la región 13. Dentro de las actividades se encuentra el fortalecimiento de cadenas de producción de frutales, sobre todo marañón en las que se están promoviendo plantaciones nuevas, así como la implementación de prácticas sostenibles adaptadas al clima; lo cual se está haciendo en alianza con el Proyecto PROGRESA Unión Europea. El presente estudio busca contribuir con el diseño de inversiones en la Región 13 y el país en los cultivos de marañón, mango, jocote y carambola proveyendo información sobre el impacto futuro del clima sobre la idoneidad para estos cultivos en diferentes zonas del país. En ese sentido el estudio tiene tres objetivos: 1, determinar la aptitud actual, 2, determinar la distribución futura de zonas aptas, y 3, identificar zonas potenciales para inversiones en estos cultivos en la región 13.





Swisscontact, a través de Oportunidades Rurales y PROGRESA ha promovido viveros locales con material genético certificado.

III. METODOLOGÍA



Durante la época seca, el principal río de la zona sur, el Río Choluteca, reduce su caudal significativamente.



A. LOS DATOS CLIMÁTICOS

Para el clima de línea base (1970-2000) se utilizó el conjunto de datos de Worldclim (Hijmans et al., 2005) a resolución de 0.5 minutos de arco – aproximadamente 1 kilómetro en el Ecuador. Los datos climáticos corresponden a datos de temperatura y precipitación mensual. Para el clima futuro se hizo uso de los datos climáticos del IPCC (2014) correspondientes al RCP 4.5 y 8.5 (Van Vuuren et al., 2011). Esta serie de RCP (2.5, 4.5, 6.0, y 8.5) se basan en distintos supuestos sobre el cómo se comportaría el hombre en diversos campos, tales como, desarrollo industrial, crecimiento económico y demográfico, políticas públicas, entre otros; así, hasta el año 2100, el escenario 2.5 es el más ambientalista y el 8.5 es el escenario con mayor cantidad de emisión de gases de efecto invernadero. Para fines de este estudio se usó el RCP 4.5 para los análisis de aptitud climática actual y futura, puesto que representa un escenario intermedio entre uno optimista (RCP 2.6) y uno pesimista (RCP 8.5). Sin embargo, los análisis también fueron realizados para el RCP 8.5 y los resultados son presentados en los anexos.

A partir de los datos climáticos mensuales de temperaturas mínima y máxima y de precipitación se generaron variables bioclimáticas. Estas representan valores anuales y estacionales, incluyendo límites extremos de los factores ambientales como temperaturas mensuales más bajas y más altas, trimestres con y sin lluvia. Estas variables son elegidas porque muchas de ellas tienen relación con los límites de la adaptación de las especies a un ambiente específico.

Las 20 variables bioclimáticas son las siguientes:

Variables relacionadas con temperatura:

- Temperatura promedio/media anual- °C (BIO1),
- Oscilación diurna de la temperatura- °C (BIO2),
- Isotermalidad- °C (BIO3),
- Estacionalidad de la temperatura- % (BIO4),
- Temperatura máxima promedio del mes más cálido- °C (BIO5),
- Temperatura mínima promedio del mes más frío- °C (BIO6),
- Oscilación anual de la temperatura- °C (BIO7),
- Temperatura promedio del cuatrimestre más lluvioso- °C (BIO8),
- Temperatura promedio del cuatrimestre más seco - °C (BIO9),
- Temperatura promedio del cuatrimestre más cálido- °C (BIO10) y
- Temperatura promedio del cuatrimestre más frío- °C (BIO11).

Variables relacionadas con precipitación:

- Precipitación anual- mm (BIO12),
- Precipitación del mes más lluvioso- mm (BIO13),
- Precipitación del mes más seco- mm (BIO14),
- Estacionalidad de la precipitación- % (BIO15),
- Precipitación del cuatrimestre más lluvioso- mm (BIO16),
- Precipitación del cuatrimestre más seco- mm (BIO17),
- Precipitación del cuatrimestre más cálido- mm (BIO18),
- Precipitación del cuatrimestre más frío- mm (BIO19) y
- Total de meses secos y meses con una precipitación menor a 50 mm (MS).

La correlación entre las 20 variables bioclimáticas tenidas en cuenta inicialmente, muestra una alta correlación entre algunas variables (figura 3ab). Un claro ejemplo de alta correlación se da en la variable BIO 1, temperatura promedio anual, la cual presenta una alta correlación de $|r| > 0.7$ con las variables BIO 5, BIO 6, BIO 8, BIO 9, BIO 10 y BIO 11. En este sentido, las variables con las que se realizó la modelación son las que tienen menor correlación con las demás al revisar el análisis de componentes principales (ACP) para evitar la redundancia en las variables. Las variables usadas para la modelación fueron BIO 1, temperatura promedio/media anual, BIO 12, la precipitación anual, BIO 17, la precipitación del cuatrimestre más seco, BIO 2, oscilación diurna de la temperatura y BIO 7, la oscilación anual de la temperatura y los meses secos.

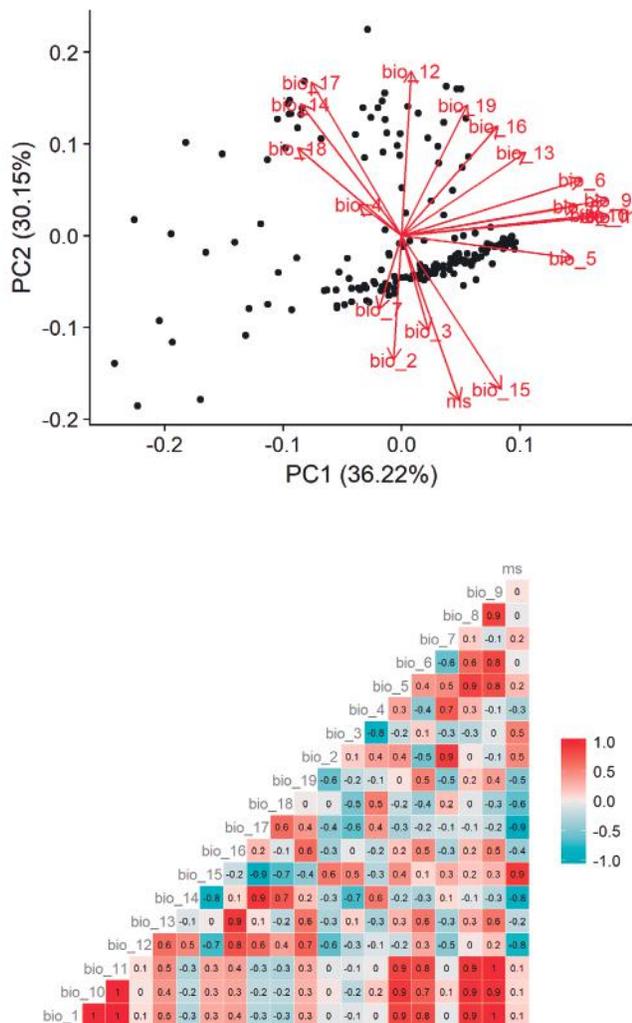


Figura 3. Componentes principales (a) y correlación entre las variables bioclimáticas usadas en el estudio (b).

B. MODELACIÓN DE LA APTITUD CLIMÁTICA DEL CULTIVO

El modelaje de nicho ecológico se realizó con diferentes modelos (Maxent, Bioclim, Random Forest y SVM Support Vector Machine), ya que estos modelos permiten modelar la distribución de especies con datos de presencia solamente y variables ambientales (variables climáticas) (Phillips, 2005; Naimi and Araújo, 2016). Los modelos de nicho ecológico se utilizaron con base en información ambiental disponible de los sitios en donde se han observado las especies (puntos de presencia). Finalmente, estos modelos permiten determinar aquellos sitios con climas adecuados en los cuales pudieran encontrarse las especies en estudio, en la actualidad y en los años futuros con el impacto de cambio climático.

La validación de los modelos se efectúa con las curvas de omisión (Omission) y curvas ROC (Receiver Operating Characteristic Analysis). Las curvas ROC caracterizan el rendimiento de un modelo con el área bajo la curva o AUC; su utilización primaria fue la de encontrar el punto de corte óptimo y son curvas en las que se presenta la sensibilidad (omisión cero = 100% de sensibilidad) en función de los falsos positivos (error de comisión) para distintos puntos de corte (umbrales). La curva que toma valores entre 1 es prueba perfecta y 0.5, prueba inútil; esta área puede interpretarse como la probabilidad de que, ante un par de puntos, uno con presencia y otro sin presencia de la especie, la prueba los califique correctamente.

En general los modelos trabajan para estimar áreas idóneas para el cultivo a partir de tres datos:

1. Presencia del cultivo a modelar- (los puntos de presencia corresponden a un conjunto de datos con coordenadas geográficas de los cultivos, que provienen de distintas fuentes, entre las que se encuentran: sitio web de la Flora Mesoamericana: www.floramesoamericana.org, que contiene registros de las colecciones de las especies vegetales tratadas) y datos de presencia facilitados por técnicos de Swisscontact. Estos puntos de presencia tienen la característica que no hay duplicados por celda, es decir, dos coordenadas no se encuentran en un mismo píxel de 30 arcos de segundo (aproximadamente 1 kilómetro en la línea del Ecuador). Fueron eliminados algunos datos de presencia, ya que correspondían a puntos en los mismos pixeles, así como valores extremos que correspondían a 3 desviaciones estándar de los promedios. Con esto quedaron 245 datos de presencias para realizar la modelación.
2. Pseudo-ausencias: estos son puntos generados al azar en el área de trabajo que representan lugares en donde no se conoce si hay o no presencia del cultivo. Para la generación de pseudo-ausencias usamos la relación 1:20 con respecto a los puntos de presencia.
3. Las variables bio-climáticas son de importancia para el desarrollo óptimo o no del cultivo, se utilizaron datos de clima actuales con línea base (1970-2000) de la fuente de datos de Worldclim. Para determinar la aptitud futura se seleccionaron diferentes Rutas Representativas de Concentración RCP 4.5 y RCP 8.5. Se desarrollaron proyecciones futuras de la aptitud de los cultivos bajo estas dos RCP para los años 2050 (2040-2069) y 2070 (2060-2089).



IV. RESULTADOS DEL IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE CULTIVOS FRUTALES



A. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CULTIVO DE MARAÑÓN (*ANACARDIUM OCCIDENTALE*)

Actualmente la planta de marañón (*Anacardium occidentale*) está dispersa extensivamente en la zona intertropical entre los paralelos 27°N, al sur este de Florida y los 28°S en el Sur África (DaMatta, 2007; Oliveira, 2008). La mayor diversidad puede ser encontrada en el noreste de Brasil, principalmente en las zonas costeras, donde forma parte de la vegetación de la costa y las dunas, así como la “restinga”. El árbol de marañón crece bien bajo condiciones secas y su cultivo se presenta normalmente en suelos de baja fertilidad y algunas veces salinas. Además, en la mayoría de los casos las regiones productoras se caracterizan por alta temperatura con precipitación baja e irregular, y solamente el 1% del área cultivada usa irrigación (Bezerra et al., 2007).

El cultivo de marañón está bien adaptado a las condiciones naturales de Honduras. En 2014 la Secretaría de Agricultura y Ganadería reportó que aproximadamente 1,300 hectáreas están en producción y el cultivo de marañón sigue aumentando de área a través del tiempo. Actualmente se produce en 9 municipios (en los departamentos de Choluteca y Valle), regiones que presentan mayor número de productores, donde el marañón representa una importante fuente de empleo y subsistencia familiar en la zona.

El cultivo de marañón está distribuido en Centroamérica en las áreas del corredor seco, debido a que se desarrolla bien en condiciones de alta temperatura, además es tolerante (sobrevive) a bajas precipitaciones y condiciones de sequía. Los puntos de presencia utilizados en este estudio muestran que la temperatura media anual para el cultivo de marañón según los datos de presencia varía entre los 22 y 28°C, con una mayor densidad en los valores de 25 a 28°C (figura 4a). La precipitación anual, por otro lado, varía entre 800 a 2500 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1500 a 2000mm (figura 4b), con cuatro a seis meses secos al año. Se cree que el marañón presenta un rango de adaptación amplio de 15 a 35°C, sin embargo, en la literatura se encuentra que su óptimo de temperatura está entre los 24 y los 30°C. La precipitación también muestra un amplio rango de 500 a 4000 mm por año, pero el óptimo se reporta entre los 1000 y 2000 mm por año con cuatro a seis meses secos de < 50 de precipitación (Dedzoe et al., 2001).

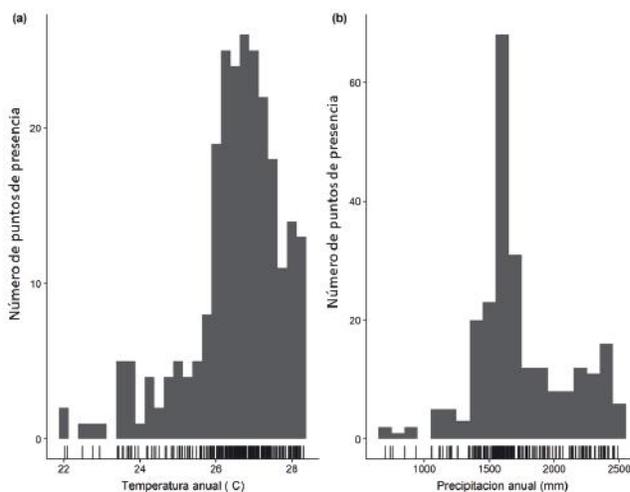


Figura 4. Distribución de la temperatura (a) y la precipitación (b) de los puntos de presencia de marañón.

Se usaron los puntos de presencia, cada modelo (Maxent, Bioclim, Random Forest y SVM) fue entrenado cinco veces usando 80 % de los puntos y dejando 20% para prueba. Usamos el parámetro AUC (Área Bajo la Curva), para evaluar el desempeño de los modelos (Peterson et al. 2008). El desempeño de los modelos fue en general alto con un promedio de 0.93, sin embargo, los modelos Maxent y Random Forest presentaron valores de 0.96 y 0.97, respectivamente. Por lo que usamos Maxent como modelo para generar todo el resto de análisis por su alto desempeño y por ser uno de los más usados en este tipo de modelación.



Tabla 1. Desempeño de los diferentes modelos probados en el análisis de impacto del cambio climático en el cultivo de marañón (un mayor AUC representa un mejor desempeño del modelo).

Modelo	AUC promedio de cinco entrenamientos	Desviación estándar en AUC
Maxent	0.96	0.003
Random Forest	0.97	0.007
Bioclim	0.92	0.017
SVM	0.89	0.041

Los departamentos de Choluteca y Valle son las áreas que presentan actualmente las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo de marañón en Honduras, a pesar de que el cultivo puede adaptarse a un amplio rango de ambientes. Con el modelo Maxent se estimó el área de aptitud óptima para la producción de marañón bajo un clima actual (figura 5). Bajo un clima actual, la mayoría de las zonas óptimas con presencia de plantaciones comerciales, se encuentran bajo los 500 msnm, a pesar de que el cultivo puede existir en altitudes que van de 0 a 1000 msnm, por su adaptación a un amplio rango de temperatura. Las áreas actuales de mayor aptitud climática coinciden con las áreas de mayor temperatura >24°C y más de cuatro meses secos. Fuera de los departamentos de Valle y Choluteca el modelo también identificó áreas como de muy buena aptitud en otros departamentos en las fronteras con El Salvador (Intibucá, La Paz y Lempira), así como algunas áreas de Francisco Morazán y El Paraíso.

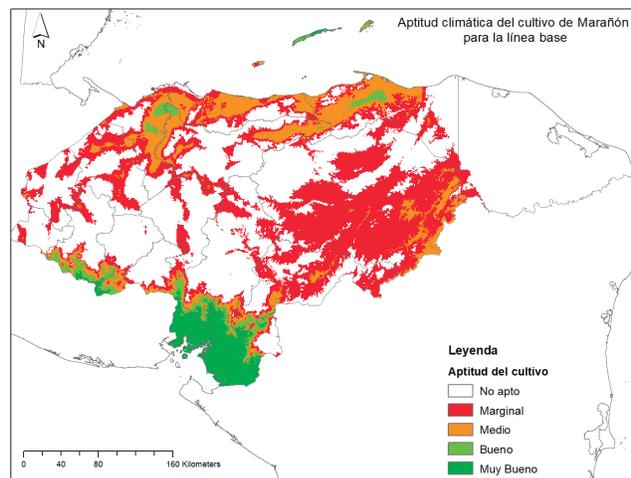


Figura 5. Aptitud climática actual para marañón en Honduras.

Bajo un escenario intermedio de RCP4.5, se espera que para el año 2050, se observe un posible aumento del área apta para el marañón en el país. Por ejemplo, áreas en los departamentos de Yoro, Olancho y Gracias a Dios que actualmente no son aptas, pasarán a ser aptas, aunque no óptimas para una producción comercial. Así, las áreas de mayor aumento de aptitud para el cultivo son en las áreas húmedas sobre todo en los departamentos de Olancho y Gracias a Dios. Por otro lado, se estima que pocas áreas dejarán de ser aptas para el cultivo y representan áreas que actualmente se presentan como marginales. Los departamentos de La Paz, Intibucá, Lempira, Ocotepeque, Comayagua y Francisco Morazán presentan la mayor cantidad de áreas que dejarán de ser aptas para el cultivo. Sin embargo, a nivel de los departamentos de Valle y Choluteca, las implicaciones del cambio climático será que algunas zonas pasarán de ser áreas con muy buena aptitud a una aptitud climática media y en algunos casos la aptitud será marginal (figura 6ab).



Las proyecciones a 2050 y 2070 indican que municipios como Pespire, San Isidro y Orocuina pasarán a tener una aptitud media a marginal.

Municipios como Pespire, San Isidro y Orocuina en Choluteca pasarán a tener una aptitud media a marginal. En el departamento de Valle, se cambiará de tener áreas de muy buena aptitud a áreas de aptitud media a buena, especialmente en municipios como San Lorenzo y sur de Nacaome. Por otro lado, áreas como San Marcos de Colón que actualmente no presentan áreas aptas para el cultivo pasarán a ser áreas aptas de forma marginal a intermedias. Para el 2070, se espera un aumento mayor en el área apta para el cultivo de marañón en el país (anexo 1 y 2) para los RCP 4.5 y RCP 8.5. Para los municipios de Valle y Choluteca, no se presentará un cambio drástico en la aptitud del cultivo con respecto al 2050. Por lo que se espera que el cultivo mantendrá una aptitud muy buena en Choluteca e intermedia a buena en Valle, con la excepción de algunas zonas específicas.

Se espera que el cambio climático influya en la temperatura y la precipitación. Como se ha mencionado arriba, los impactos en la precipitación son diferentes dependiendo de la región, ya que se espera que algunas de las regiones permanezcan con pocos cambios, mientras otras zonas como Choluteca y Valle podrían presentar aumentos poco significativos. La temperatura por otro lado, será la variable con mayor impacto por el cambio climático. Sin embargo, el marañón presenta una cierta tolerancia a altas temperaturas, esto explica por qué áreas que actualmente no son aptas pasarán a serlo para 2050, especialmente a altitudes mayores a 500 msnm.

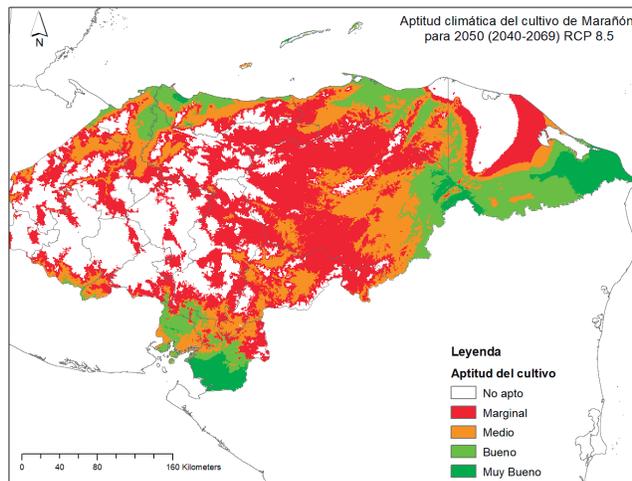
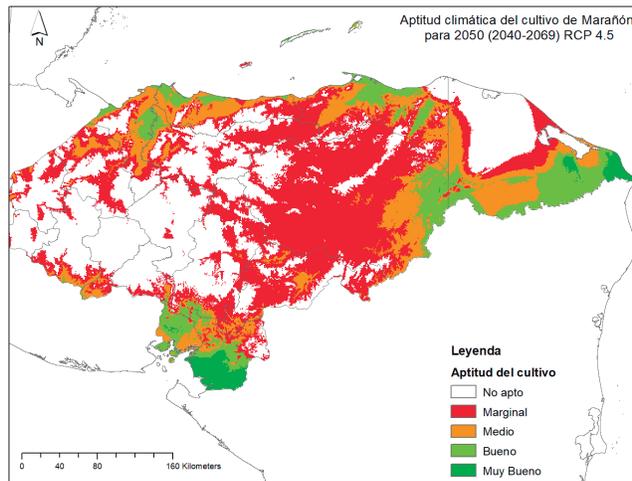


Figura 6. Aptitud climática futura de marañón para el año 2050 bajo el escenario RCP 4.5 (a) y RCP8.5 (b).



B. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CULTIVO DE MANGO (*MANGIFERA INDICA*)

Las plantaciones productoras de mango están limitadas en Centroamérica a zonas por debajo de los 800 msnm. Esto puede variar un poco dependiendo de las condiciones de microclima, sin embargo, la altitud y la temperatura tienen una estrecha relación. La temperatura es el factor climático con mayor influencia en el crecimiento, desarrollo y floración del mango. Las condiciones ideales de temperatura para el cultivo de mango están entre los 22 a 33°C (Rodríguez et al., 2002). Adicionalmente, una diferencia de temperatura entre el día y la noche es un factor importante en la diferenciación floral por lo que ejerce una influencia determinante. Temperaturas menores de 10°C y mayores de 33°C, afectan la vida del polen y es una de las posibles razones de la baja productividad fuera del rango óptimo, a pesar que la especie esté presente.

El mango es una especie que se adapta muy bien a diferentes condiciones de precipitación, desde los 500 mm hasta los 5000 mm, sin embargo el rango ideal de precipitación está entre los 700 y 1500 mm (Arias, 2007). El mango es una de las 20 especies más frecuentes como sombra en cafetales, junto con el aguacate y los cítricos, a pesar que en algunas condiciones de menor temperatura los productores reportan baja producción. Sin embargo, los requerimientos de condiciones climáticas hacen del mango un cultivo que puede ser adaptado a condiciones que dejaran de ser aptas para el cultivo de café (Legave et al., 2013).

Para el establecimiento de la plantación de mango, se estima que se manejará una densidad de 111 árboles/ha sembrados a distancias de 9X10 m. El horizonte de tiempo del análisis fue de siete años, tiempo al cual se supone una estabilización de la producción y que la plantación podría llegar a los 15 o 20 años con un manejo de podas adecuadas. Se consideró que la producción será para consumo nacional (Rodríguez et al., 2002).



El mango es un cultivo muy bien adaptado a las condiciones de la zona sur de Honduras.

El mango es un cultivo que se adapta relativamente a una amplia gama de condiciones climáticas. En las condiciones de Centroamérica el cultivo se encuentra en las áreas del corredor seco, ya que la temperatura es una limitante y un factor de mucha importancia para el cultivo. Los puntos de presencia utilizados en este estudio muestran que la temperatura media anual para el cultivo de mango varía entre los 22 y 28°C, con una mayor densidad en los valores de 24 a 27°C (figura 7a). La precipitación anual por otro lado, varía entre 1000 a 3000 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1500 a 2500 mm (figura 7b). Los límites para la producción de mango están entre los 10 y 33°C, ya que temperaturas por arriba de 33°C o por bajo de 10°C, el polen presenta una baja viabilidad, por lo que la temperatura óptima se encuentra entre los 22 a 27°C, pero los puntos de presencia muestran mayor concentración entre 24 a 27°C. En zonas tropicales, el mango requiere de un clima en el cual se alternen la época lluviosa con la época seca, ésta última debe coincidir con la época de prefloración. La lluvia durante el período de floración, de cuaje y crecimiento inicial del fruto puede provocar caída de flores y frutos por el ataque de enfermedades. Así, aunque el rango de adaptación del mango es amplio en este estudio los puntos se concentran entre 1500 a 2500 mm, mientras en la literatura se menciona una precipitación entre los 1000 a 1500 mm anuales (Rodríguez et al., 2002; Arias, 2007).

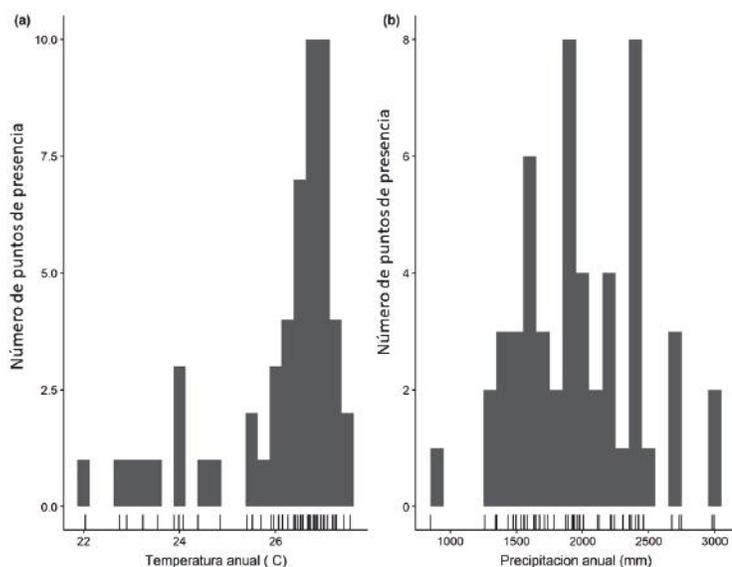


Figura 7. Distribución de la temperatura (a) y la precipitación (b) de los puntos de presencia de mango.

En el caso del mango, el desempeño de los modelos fue en general alto con un promedio de 0.92, sin embargo, los modelos Maxent y Random Forest presentaron valores de 0.95 y 0.96, respectivamente siendo un poco menor que en el caso de marañón. Igualmente usamos **Maxent** como modelo para generar todo el resto de análisis.

Tabla 2. Desempeño de los diferentes modelos probados en el análisis de impacto del cambio climático en el cultivo de mango (un mayor AUC representa un mejor desempeño del modelo).

Modelo	AUC promedio de cinco entrenamientos	Desviación estándar en AUC	Umbral para considerar apto el cultivo
Maxent	0.95	0.03	0.18
Random Forest	0.96	0.03	0.01
Bioclim	0.85	0.03	0.04
SVM	0.92	0.05	0.01

Según la modelación con los puntos de presencia usados, el mango se puede adaptar a muchas áreas dentro de Honduras. La zona de Choluteca y Valle presenta sitios con buena aptitud para el cultivo, pero en general se presentan mayormente condiciones intermedias muy buenas para el desarrollo del cultivo (figura 8). Zonas como Concepción de María, El Corpus y Santa Ana de Yusguare parecen tener buena aptitud climática, mientras algunas zonas de Valle como

Aramecina y Caridad presentan zonas más marginales para el cultivo. Fuera de los departamentos de Valle y Choluteca el modelo también identificó áreas con aptitud media a buena en los departamentos de Intibucá, La Paz, Lempira y Ocotepeque. Una de las limitantes para este cultivo en la zona se debe a mayor requerimiento de agua comparado con el marañón, incluso las guías técnicas de producción de mango para el país proponen un riego suplementario para una buena producción.

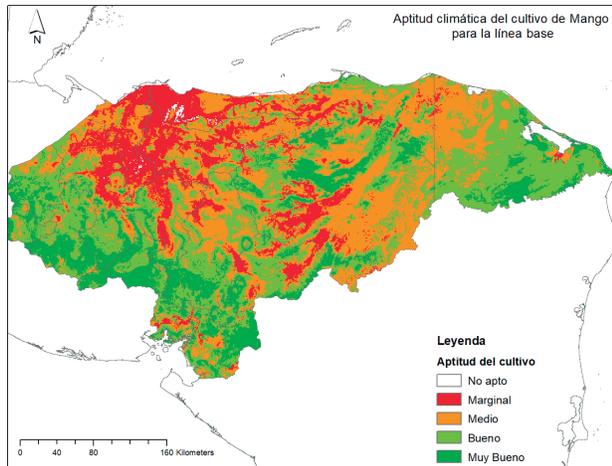


Figura 8. Aptitud climática actual para mango en Honduras basados en los datos de presencia.

Para el 2050, se observa que para los escenarios de RCP4.5 y RCP8.5, se espera una reducción sustancial del área apta para el cultivo de mango en la zona (figura 9). En el departamento de Choluteca, solamente los municipios de Concepción de María y El Corpus continuarán siendo aptas, pero de forma buena a intermedia. Sin embargo, en el departamento de Valle con los resultados de este modelaje se espera que el cultivo de mango deje de ser apto, excepto en condiciones muy especiales que impliquen mayor inversión para la producción o en condiciones naturales muy especiales, tales como la cercanía a ríos y quebradas. Las implicaciones del cambio climático para este cultivo será que gran parte del área dejará de ser apta para el cultivo como explotación comercial y posiblemente podrá producirse en condiciones de huertos caseros en la zona de Choluteca y Valle. Mientras en el departamento de Gracias a Dios puede aumentar la aptitud de este cultivo la cual actualmente es más reducida. Los escenarios para 2070 son muy similares a los de 2050 (ver anexo 3).



Para 2050 se proyecta que Valle dejará de ser apto al cultivo de mango, con excepción de las cercanías a fuentes de agua.

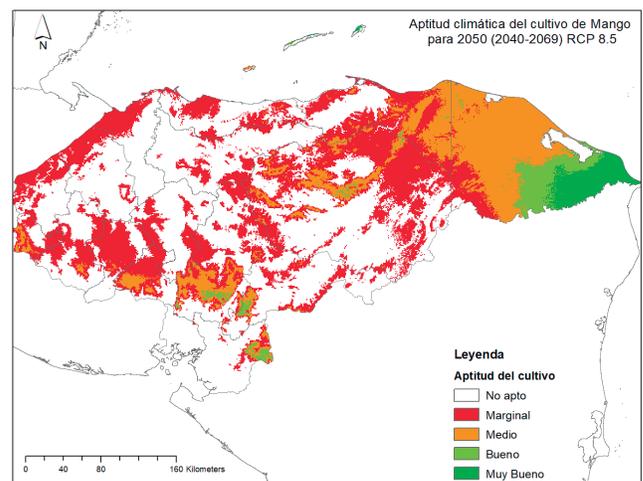
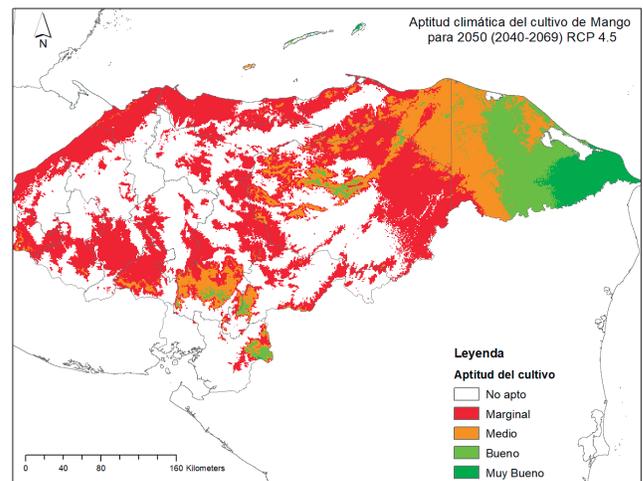


Figura 9. Aptitud climática futura de mango para el año 2050 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.

C. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CULTIVO DE JOCOTE (*SPONDIAS PURPUREA* L.)



El jocote (*S. purpurea*) es una planta que pertenece al género *Spondias* de la familia *Anacardiaceae*, los cuales son principalmente árboles y arbustos de zonas tropicales y subtropicales. *Spondias purpurea* es nativa de los bosques semi-áridos tropicales de Mesoamérica originarios de México y América Central, donde se pueden encontrar poblaciones naturales (Miller and Schaal, 2005). Algunos cultivares pueden ser cultivados desde Florida, India y Suramérica, hasta el noreste de Brasil (Marisco y Pungartnik, 2015). Aunque fue originaria de Mesoamérica, los indios cultivaban en la región septentrional de América del Sur, desde una época muy temprana, que luego se expandió por las Antillas y el resto de América del Sur hasta los países de Perú y Brasil. En condiciones de América Central florece de febrero a mayo, que coincide con la época seca y fructifica de abril a julio entre el final de la estación seca e inicio de la estación lluviosa. Además, se adapta a suelos pedregosos, a veces superficiales, aluviales, amarillo arcilloso y rocas calizas. Los árboles subsisten en buenas condiciones en época de sequía, por lo que la zona donde se cultiva suele ser árida y semiárida.

La temperatura óptima que requiere el cultivo de jocote cambia de acuerdo a la variedad y se encuentran principalmente dos grupos: las variedades de verano con una temperatura óptima de 24 a 30°C y la variedad

de jocote corona con una temperatura óptima entre 18 a 28°C. Este último tipo de jocote tiene el mejor precio en el mercado local por ser un fruto especialmente grande y carnoso. Es muy común encontrarlo en fincas cafetaleras por adaptarse entre los 850 y 1500 msnm. Mientras la gran mayoría de variedades que se cosechan entre febrero a abril se adaptan a altitudes entre 50 a 800 msnm (Pimenta-Barrios and Ramírez-Hernández, 2003). El rango de precipitación para el desarrollo de este cultivo oscila entre 800 a 1500 mm anuales para el jocote de verano, y de 1200 a 1800 mm para el jocote de corona con una época lluviosa de 5 a 7 meses.

La temperatura media anual para el jocote varía entre 20 y 28°C según los puntos de presencia, con una mayor densidad de puntos se encontró en los valores de 24 a 28°C (figura 10 a). La precipitación anual, por otro lado, presentó un amplio rango entre 1000 a 3000 mm, con la mayor densidad de puntos entre 1000 a 2000mm (figura 10b). A pesar de que en algunos manuales se menciona que los rangos de temperatura están entre 24 a 37°C para variedades de verano (o sea variedades de zona seca), nosotros encontramos que los límites de temperatura media anual están entre 27 a 28°C, siendo similar al marañón.

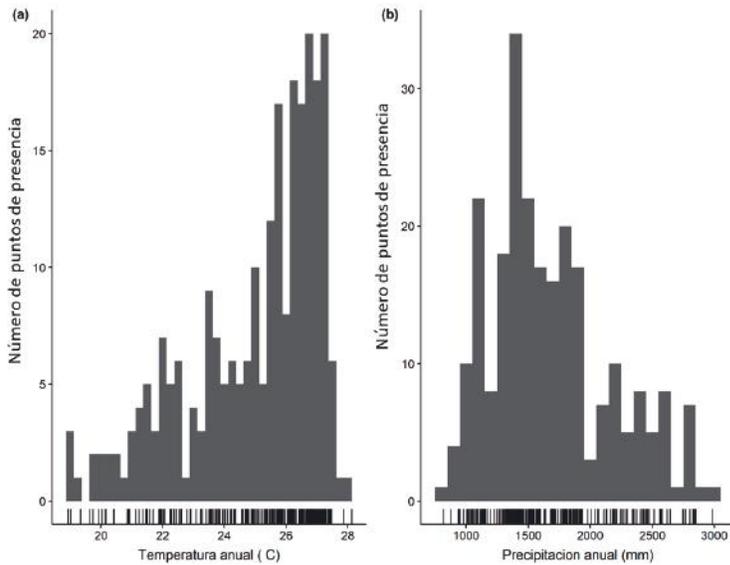


Figura 10. Distribución de la temperatura (a) y la precipitación (b) de los puntos de presencia de jocote.

En el caso del jocote, el desempeño de los modelos fue en general alto (promedio de 0.93), los modelos Maxent y Random Forest presentaron valores de 0.95 y 0.97, en general para este cultivo se presenta una mayor AUC que en el mango, debido posiblemente a una mayor

densidad de puntos de presencia. Esta precisión del modelo podría cambiar y mejorarse con la adición de más puntos de presencia del cultivo en la zona al igual que se hizo para el cultivo de marañón. Igualmente usamos Maxent como modelo para generar todo el resto de análisis.

Tabla 3. Desempeño de los diferentes modelos probados en el análisis de impacto del cambio climático en el cultivo de jocote (un mayor AUC representa un mejor desempeño del modelo).

Modelo	AUC promedio de cinco entrenamientos	Desviación estándar en AUC	Umbral para considerar apto el cultivo
Maxent	0.95	0.01	0.17
Random Forest	0.97	0.01	0.06
Bioclim	0.88	0.04	0.01
SVM	0.93	0.03	0.02

En el caso del jocote, por ser una especie nativa de Centroamérica y adaptada a la región del corredor seco, el modelo muestra una buena aptitud climática en los departamentos de Choluteca y Valle. La especie incluso muestra una buena aptitud climática en los departamentos de Francisco Morazán, El Paraíso, La Paz, Intibucá y Lempira, todos estos departamentos pertenecen al corredor seco de Centroamérica. Los departamentos con mayor precipitación, al parecer, muestran una menor aptitud climática actual, así los departamentos de Gracias a Dios, Colón, Atlántida y Cortés presentan una menor aptitud y una mayor cobertura de área y son no aptas para el cultivo (figura 11).

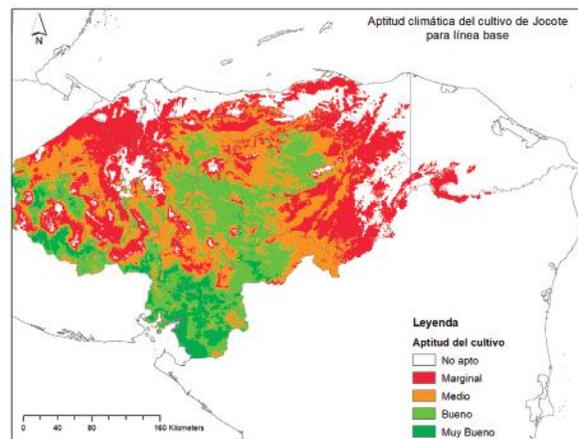


Figura 11. Aptitud climática actual para jocote en Honduras basado en los datos de presencia.

Con el escenario de cambio climático RCP4.5 para el 2050, se espera de manera general una reducción de la aptitud del cultivo para Honduras. Los departamentos de Choluteca y Valle, continuarán siendo muy aptos para la producción de este fruto, sobretodo en la región cercana a la costa donde se mantendrá una aptitud climática muy buena. Pero con el escenario del RCP8.5 para el mismo 2050, se espera una reducción mayor de la aptitud climática. Las áreas que actualmente tiene una buena aptitud para el cultivo pasarán a tener una aptitud intermedia. Esto supone retos para la producción, pero el cultivo continuará siendo apto para la zona, sobretodo en un área que actualmente ya presenta retos de adaptación para otros cultivos.

Para el 2070, no se espera una gran reducción de área apta para el cultivo sobre todo en la zona de Choluteca y Valle para los RCP 4.5 y RCP 8.5 (anexo 4), lo que no representa un cambio drástico en la aptitud del cultivo con respecto al 2050. Pero comparado con la aptitud climática en el escenario de línea base, en 2070 se muestra incluso una menor área de buena y muy buena aptitud para el cultivo. Por lo que se espera que el cultivo mantendrá una aptitud intermedia en la mayor parte de la zona de Choluteca y Valle, con la excepción de las áreas costeras que mantendrá una aptitud muy buena (figura 12).

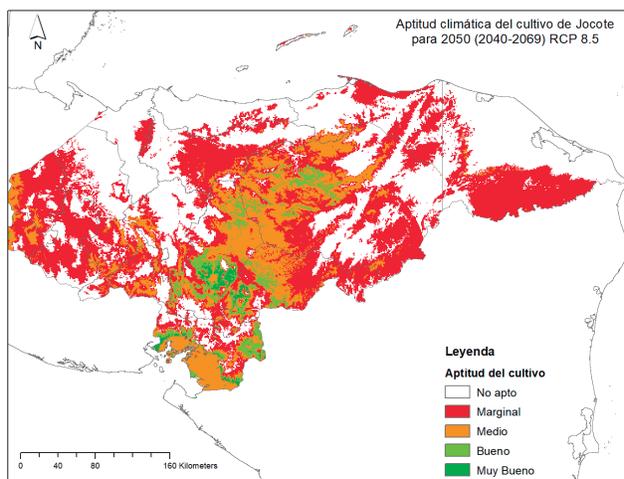
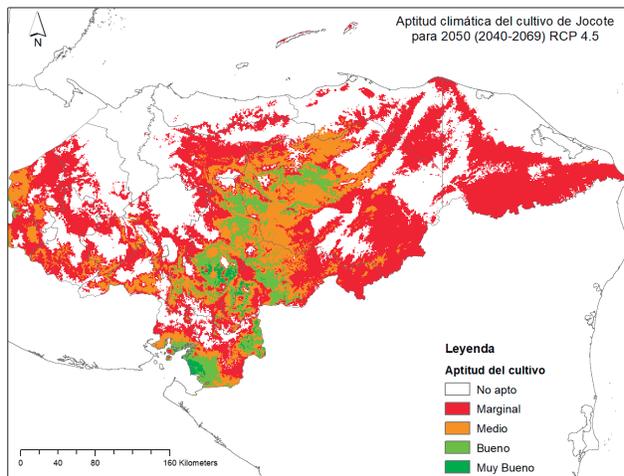


Figura 12. Aptitud climática futura de jocote para el año 2050 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.



D. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL CULTIVO DE CARAMBOLA (*AVERRHOA CARAMBOLA*)

La carambola es una especie originaria de Indonesia y Malasia, sin embargo, se ha diseminado por los países de Asia y América. La fruta se utiliza para consumo fresco, así como para procesamiento para la producción de jaleas, dulces, mermeladas y concentrados para jugos. Para su cultivo se requieren condiciones tropicales, con temperaturas de entre 18 a 34°C, con una altitud que puede variar entre 0 a 1000 msnm y con precipitaciones anuales de 1800 mm (de ser posible bien distribuidos en el año). Debido a la arquitectura de la planta y su tipo de ramificación, el árbol es muy susceptible a los vientos fuertes porque las ramas se quiebran con facilidad. En términos de suelos, se puede adaptar a un amplio rango de éstos, sobre todo aquellos desde arenosos hasta arcillosos y con buen drenaje y un pH entre 6-7 (Gonzalez et al., 2001).

En el caso de la carambola contamos con 44 puntos de presencia, por lo que todo el proceso de modelaje deberá ser mejorado con mayor cantidad de puntos de presencia. La temperatura media anual para esta especie varió entre los 22 a 28°C, con mayor concentración en los valores de 24 a 26°C (figura 13 a), al sugerir climas más frescos comparados con el marañón, el mango y el jocote. Por otro lado, la precipitación anual varió entre 1000 a 4000 mm, sin presentar una clara concentración de puntos (figura 13 b), sin embargo, esto sugiere un requerimiento mayor de precipitación comparado con los otros cultivos analizados.



Cultivo de carambola.

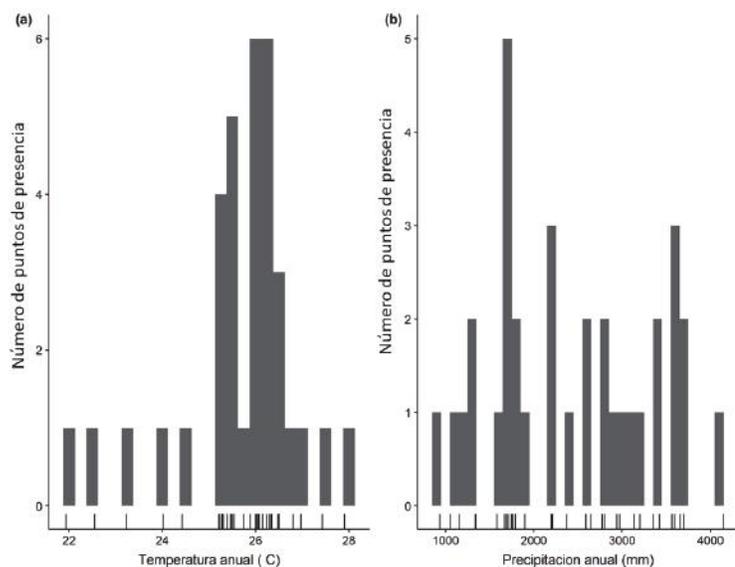


Figura 13. Distribución de la temperatura (a) y la precipitación (b) de los puntos de presencia de carambola.

En el caso de la carambola, el desempeño de los modelos fue intermedio, con una media de 0.84, que supone un entrenamiento del modelo regular. Los modelos Maxent y Random Forest presentaron valores de 0.94 y 0.95, sin embargo, como en el caso de jocote la precisión podría mejorarse con la adición de más puntos de presencia del cultivo en la zona de Choluteca y Valle. Igualmente usamos Maxent como modelo para generar el resto de análisis.

Tabla 4. Desempeño de los diferentes modelos probados en el análisis de impacto del cambio climático en el cultivo de carambola (un mayor AUC representa un mejor desempeño del modelo).

Modelo	AUC promedio de cinco entrenamientos	Desviación estándar en AUC	Umbral para considerar apto el cultivo
Maxent	0.94	0.03	0.20
Random Forest	0.95	0.04	0.00
Bioclim	0.69	0.08	0.12
SVM	0.80	0.07	0.01

A pesar de que se menciona que la carambola presenta adaptación a un amplio rango de temperatura y precipitación, la modelación para esta especie muestra que hay una muy buena aptitud climática presente para el área de Choluteca y Valle. De hecho, al parecer, el cultivo se presenta con mayor aptitud en zonas más cálidas (por debajo de 1000 msnm). Adicionalmente, según este modelaje y a pesar de que presenta un amplio rango de adaptación a la precipitación, el cultivo parece concentrarse en zonas con menos de 2000 mm anuales (figura 14).

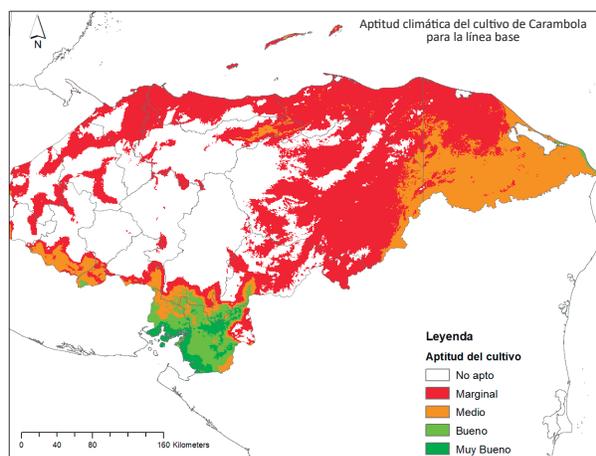


Figura 14. Aptitud climática actual para carambola en Honduras basados en los datos de presencia.

Para el año 2050, se espera un aumento en la aptitud climática para el cultivo en la zona caribe, especialmente en el departamento de Gracias a Dios. En la zona de Choluteca y Valle, el cultivo continuará siendo apto para los dos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5, figura 15). Sin embargo, bajo los dos escenarios hay una reducción en la aptitud del cultivo en el país, que también se ve reflejado en los departamentos de Choluteca y Valle. La reducción en la aptitud del cultivo será más importante bajo el escenario del RCP8.5, en el cual la zona de Choluteca y Valle, pasarán de tener una aptitud muy buena para el cultivo a una aptitud intermedia a marginal. En el escenario RCP4.5 para el 2050, el impacto sobre el cultivo será menos drástico, puesto que se mantendrán áreas con una aptitud climática buena que permitirá mantener el cultivo para los departamentos de Choluteca y Valle. Para el año 2070, se muestra una tendencia similar al 2050 (anexo 5).

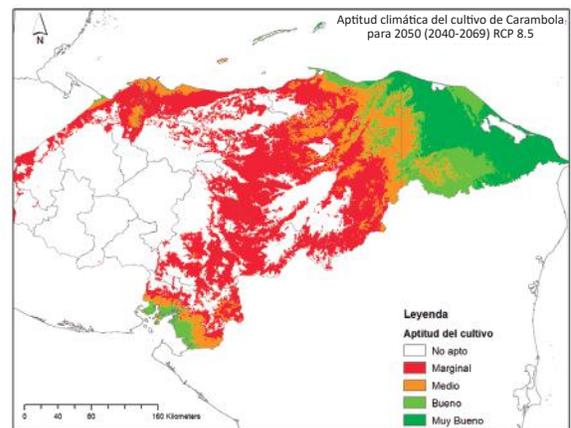
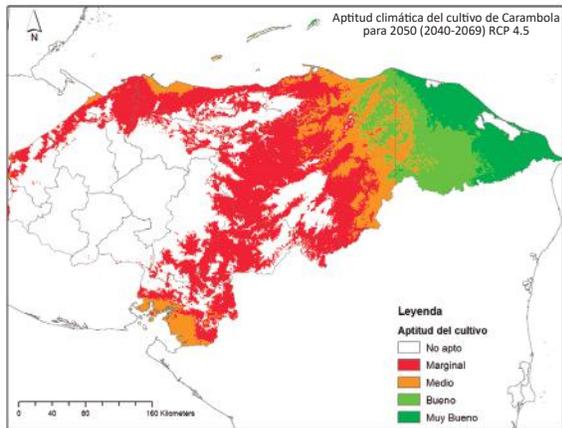


Figura 15. Aptitud climática futura de carambola para el año 2050 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.



V. CONCLUSIONES



- En las áreas de producción de marañón de Honduras, la temperatura media anual (así como los máximos y mínimos) incrementarán para 2070 en aproximadamente 2°C. Mientras los cambios en la precipitación son menos claros y poco significativos.
- La aptitud climática para el cultivo de marañón incrementará en el país para 2050 y 2070, por los aumentos de temperatura. Estas áreas de expansión serán más importantes en altitudes mayores a 500 msnm. El cultivo mantendrá una buena aptitud climática para el 2070 en las actuales áreas de producción. Sin embargo, algunas áreas de Valle y Choluteca, presentarán una reducción de aptitud de muy buena a intermedia o incluso marginal.
- Técnicos que trabajan actualmente con marañón no identifican la alta temperatura como una amenaza a la producción del cultivo en la zona de Choluteca y Valle. Sin embargo, una reducción de la temperatura y un aumento de viento en la época de llenado de frutos, así como una reducción en la precipitación son las principales preocupaciones para la producción.
- Para los frutales mango, carambola y jocote, se espera que el cambio climático reduzca la aptitud de los cultivos en los departamentos de Choluteca y Valle. De estos cultivos, el mango tendrá un mayor impacto del cambio climático sobre su aptitud, mientras que, los de carambola y jocote tendrán una reducción de aptitud, pero podrán seguirse produciendo para el 2050 en las áreas de trabajo en Choluteca y Valle.



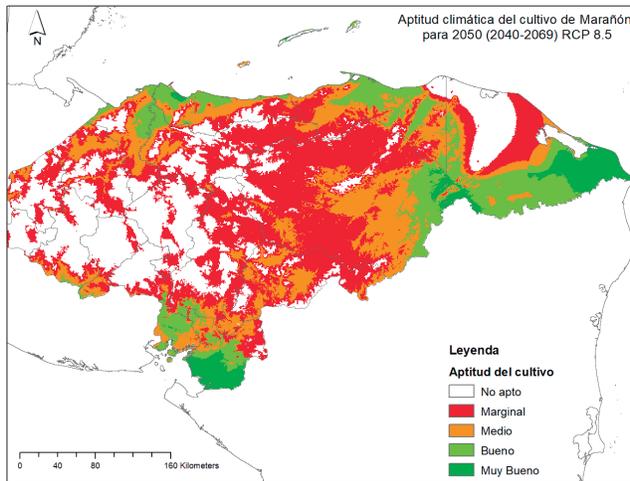
VI. REFERENCIAS



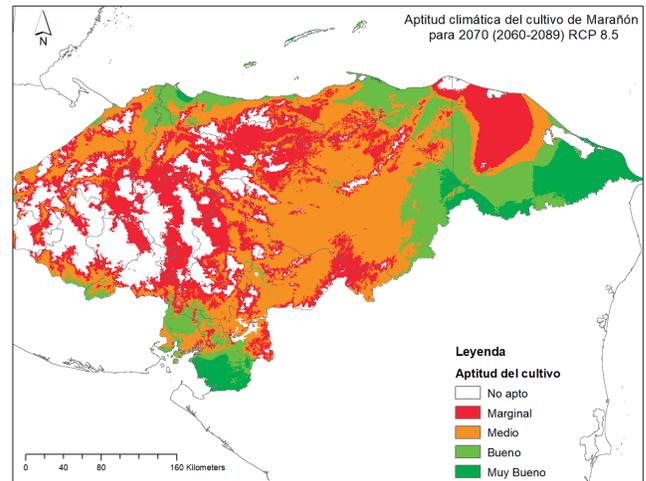
- Arias, S., 2007. Manual para la producción de mango. USAID del pueblo de los Estados Unidos.
- Bezerra, M.A., Lacerda, C.F.d., Gomes Filho, E., de Abreu, C.E., Prisco, J.T., 2007. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 449-461.
- Bunn, C., Läderach, P., Rivera, O.O., Kirschke, D., 2015. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change* 129, 89-101.
- DaMatta, F.M., 2007. Ecophysiology of tropical tree crops: an introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 239-244.
- Giorgi, F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical research letters* 33.
- Gonzalez, D.V., Hernández, M.S., Herrera, A., Barrera, J.A., Martínez, O., Páez, D., 2001. Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola L.*) producida en el piedemonte amazónico colombiano. *Agronomía Colombiana* 18, 53-62.
- Gourdjji, S., Läderach, P., Valle, A.M., Martinez, C.Z., Lobell, D.B., 2015. Historical climate trends, deforestation, and maize and bean yields in Nicaragua. *Agricultural and forest meteorology* 200, 270-281.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* 25, 1965-1978.
- Kreft, S., Eckstein, D., Junghans, L., Kerestan, C., Hagen, U., 2013. Global climate risk index 2014. Who suffers most from extreme weather events, 1Á31.
- Legave, J.-M., Normand, F., Lauri, P.-E., 2013. Climate change and its probable effects on mango production and cultivation. X International Mango Symposium 1075, pp. 21-31.
- Miller, A., Schaal, B., 2005. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102, 12801-12806.
- Naimi, B., Araújo, M.B., 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography* 39, 368-375.
- Oliveira, V.H.d., 2008. Cashew crop. *Revista Brasileira de Fruticultura* 30, 0-0.
- Phillips, S.J., 2005. A brief tutorial on Maxent. AT&T Research.
- Pimenta-Barrios, E., Ramírez-Hernández, B.C., 2003. Phenology, growth, and response to light of ciruela mexicana (*Spondias Purpurea L., Anacardiaceae*). *Economic botany* 57, 481.
- Rodríguez, M., Guerrero, M., Sandoval, R., Martínez, M., Refflate, R., 2002. Guía Técnica Cultivo de Mango. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) Disponible en <http://www.centa.Qob.sv/documentos/quias/manqo.pdf>. Consulta (19/Octubre/05).
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change* 109, 5.

VII. ANEXOS

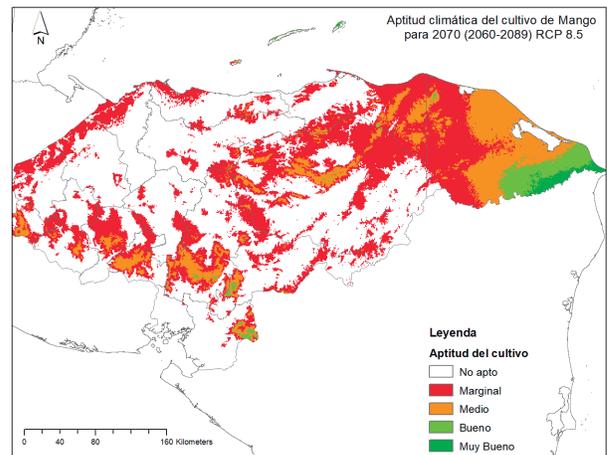
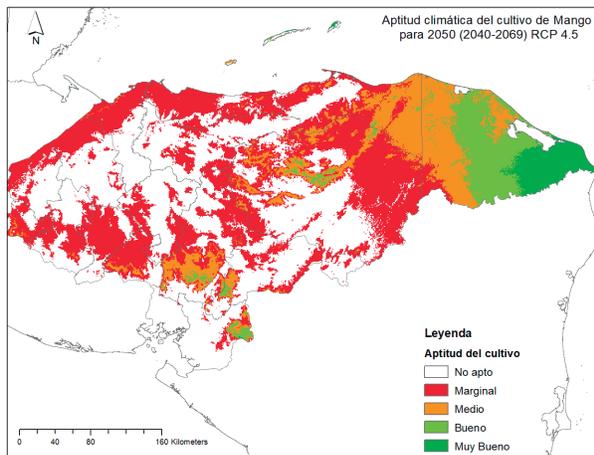




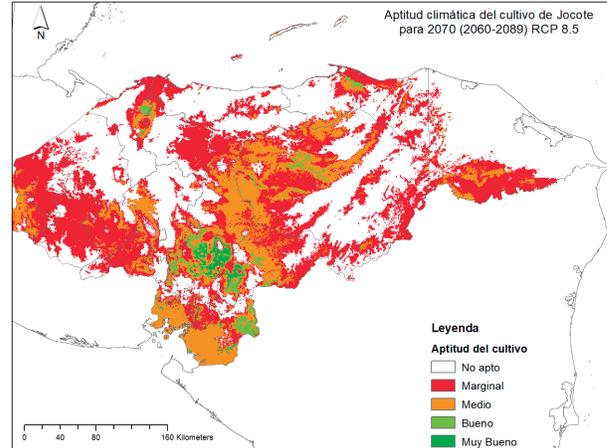
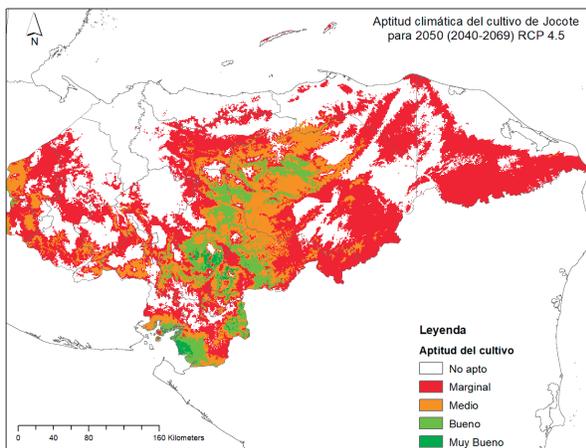
Anexo 1. Aptitud climática actual y futura de marañón para el año 2070 bajo el escenario RCP 4.5.



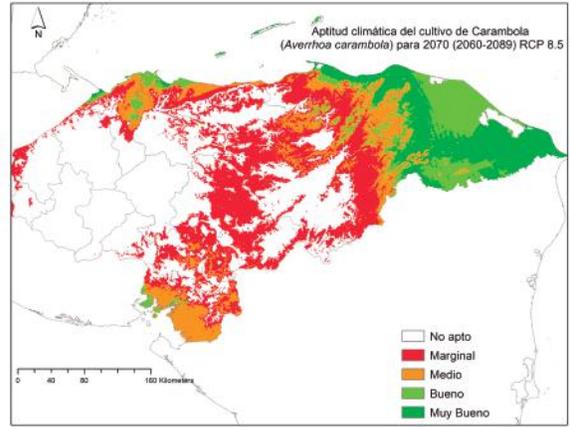
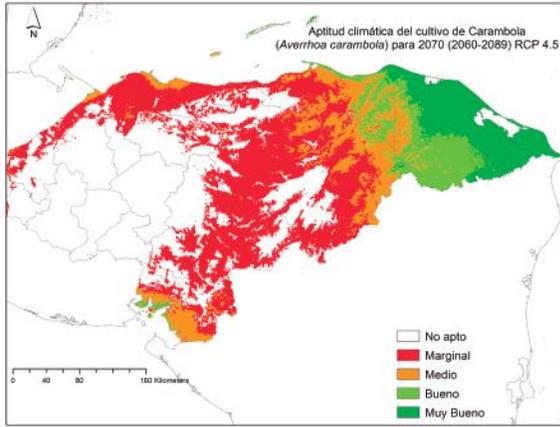
Anexo 2. Aptitud climática actual y futura de marañón para el año 2070 bajo el escenario RCP 8.5.



Anexo 3. Aptitud climática futura de mango para el año 2070 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.



Anexo 4. Aptitud climática futura de jocote para el año 2070 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5



Anexo 5. Aptitud climática futura de carambola para el año 2070 bajo el escenario RCP 4.5 y RCP 8.5.



ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA APTITUD DE LOS CULTIVOS DE MARAÑÓN, MANGO, JOCOTE Y CARAMBOLA PARA HONDURAS, CON ÉNFASIS EN LA ZONA DE CHOLUTECA Y VALLE



Por mandato de:



Canada

Implementado por:

