AyTBUAP 8(30):29-43
Basto-Monsalve *et al*., 2023

http://doi.org/10.5281/zenodo.80091964

https://eoi.citefactor.org/10.11235/BUAP.08.30.03

Modelación del cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el contexto de cambio climático para Caquetá, Colombia

Mary Brigén Basto-Monsalve[1] iD, Edward Pascuas-Rengifo[2] iD, Juan Camilo Fontalvo-Buelvas[3]* iD

[1]Universidad Surcolombiana. Avenida Pastrana Borrero Carrera 1, Neiva, Huila, Colombia. [2]Bioforest Colombia. Carrera 11 Sur vía aeropuerto Gustavo Artunduaga Paredes Florencia, Caquetá, Colombia. [3]Universidad Nacional Autónoma de México, ENES-Unidad Morelia. Antigua Carretera a Pátzcuaro, 8745, Sin Nombre, Indeco la Huerta, Morelia, Michoacán, México.
*Email autor para correspondencia: *jfontalvo@iies.unam.mx

Recibido: 20 febrero 2023. **Aceptado:** 4 mayo 2023

RESUMEN

Los sistemas agrícolas presentan distintos de vulnerabilidad a las variaciones del clima; particularmente, en las zonas tropicales donde se prevén aumentos de la temperatura y disminución de las precipitaciones. En este sentido, el objetivo del estudio fue determinar el uso del suelo para el árbol de caucho en el periodo 1980-2010 y el uso potencial para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en Caquetá, Colombia. Para ello se utilizó el método cuantitativo para la distribución espacial actual y futura de *Hevea brasiliensis*, a partir de la modelación de escenarios climáticos. En la elaboración del mapa de uso actual del suelo para el caucho del periodo 1980-2010, se adquirió con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi la cartografía básica del departamento de Caquetá a escala 1:100.000 en formato digital. Para los mapas de uso potencial del suelo se tuvieron en cuenta mapas futuros de precipitación y temperatura, estudios de suelos y zonificación de tierras e información georreferenciada de 924 plantaciones de caucho. Los principales resultados muestran que es probable que se presenten aumentos de áreas climáticamente no aptas para el desarrollo del cultivo. Las proyecciones de uso potencial del suelo, según la modelación de aptitud climática para los escenarios futuros muestran una tendencia de aumento del área no apta para *Hevea brasiliensis* en los periodos 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100. En definitiva, por los cambios en las variables de precipitación y temperatura, las comunidades presentarían dificultades para el fomento y desarrollo eficiente de este cultivo.

Palabras clave: Zona agraria; cultivos; suelo; clima; precipitación; temperatura.

CC BY NC SA

ABSTRACT

Agricultural systems have different vulnerabilities to climate variations, particularly in tropical areas where temperature increases and precipitation decreases are expected. In this sense, the objective of the study was to determine the land use for the rubber tree in the period 1980-2010 and the potential use for the periods 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 in Caquetá, Colombia. For this, the quantitative method for the current and future spatial distribution of *Hevea brasiliensis* was used, based on the modeling of climate scenarios. In the elaboration of the current land use map for rubber from 1980-2010, the basic cartography of the department of Caquetá was acquired with the Agustín Codazzi Geographical Institute at 1:100,000 scale in digital format. Future precipitation and temperature maps, soil surveys and land zoning, and geo-referenced information from 924 rubber plantations were considered for the land use potential maps. The main results show that there are likely to be increases in areas that are not climatically suitable for crop development. The projections of potential land use, according to the modeling of climate aptitude for future scenarios show an increasing trend of the area not suitable for *Hevea brasiliensis* in the periods 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100. Ultimately, due to changes in the variables of precipitation and temperature, the communities would present difficulties for the promotion and efficient development of this crop.

Keywords: Agricultural zone; crops; soil; climate; precipitation; temperature.

INTRODUCCIÓN

Las variaciones observadas en el sistema climático mundial indican que, desde mediados del siglo XX, se ha presentado un aumento inusual en el calentamiento medio global, producido principalmente por el incremento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) [1,2]. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) [3], “las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales”. Asimismo, se estima que el calentamiento global aumentará 1,5 °C entre 2030 y 2052, si continúan las condiciones actuales [4]. En este escenario, también se prevé que el calentamiento ocasionado por los GEI seguirá causando cambios a largo plazo en el sistema climático, esto implica impactos potenciales y riesgos asociados para los sistemas naturales y humanos [5,6]. Los cambios se relacionan con una mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos; esto es, episodios de calor intenso, precipitaciones altas y permanentes, así como sequías y déficits de precipitación en distintas regiones [7].

En el caso de Colombia, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNCC) definió cinco líneas estratégicas para una adaptación planificada a través de concientizar

sobre el cambio climático, generar información y conocimiento para medir el riesgo, planificar el uso del territorio, implementar medidas de adaptación, y fortalecer la capacidad de reacción [8]. En línea con las anteriores estrategias, es pertinente avanzar en la generación de información y conocimiento a escala local para determinar la vulnerabilidad de los sistemas biológicos y productivos frente a las variaciones de clima [9]. De esta forma, será posible analizar el comportamiento que podrían experimentar algunas especies susceptibles a las nuevas condiciones ambientales [10]. Por ejemplo, algunos estudios coinciden en que las variaciones en el clima han generado cambios en el rango de la distribución geográfica de muchas especies de plantas, lo que a su vez afecta los procesos metabólicos de la vegetación y los balances en los contenidos nutricionales, el estado fitosanitario, desarrollo productivo, entre otros [11].

Desde esta perspectiva, los efectos generados por el cambio climático, sobre todo, las fluctuaciones de precipitaciones y temperaturas medias pueden favorecer o afectar el ciclo productivo de muchos cultivos [12]. Por ejemplo, el de caucho (*Hevea brasiliensis*), también llamado en otros países hule, jebe o siringa. Una especie vegetal que es originaria de la cuenca del río Amazonas y perteneciente a la familia Euphorbiaceae [13]. El caucho se cultiva en climas de tipo bosque húmedo Tropical (bh-T), bosque seco Tropical (bs-T), bosque húmedo Premontano (bh-PM) y bosque seco Premontano (bs-PM), siendo el bh-T el más adecuado para su producción [14]. En este sentido, el rango ideal de temperatura para su desarrollo óptimo debe estar entre los 22 y 30 °C, particularmente, por debajo de los 1.300 msnm [15]. Además, prosperan con precipitaciones anuales de 2.000 a 4.000 milímetros, siempre y cuando se encuentre bien distribuida a través de los meses del año; en todo caso, si se presentan escenarios de precipitaciones por debajo de los 100 milímetros mensuales durante cinco meses continuos, el cultivo podría sufrir retrasos de crecimiento de por lo menos dos años [15]. Por el contrario, en zonas con precipitaciones que exceden los 3.000 milímetros anuales, el cultivo es susceptible de múltiples enfermedades causadas por agentes fúngicos, las cuales generan comúnmente defoliación y pudrición [16]. Este tipo de factores ambientales condicionan procesos fenológicos como la defoliación, refoliación, floración y fructificación y, por tanto, el rendimiento de las plantaciones [17].

En cuanto su importancia ecológica, en hábitats naturales se encuentra asociado al bosque tropical perennifolio y subperennifolio, así como a selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias, donde se integra con vegetación nativa para dar soporte y robustez a dichos ecosistemas [18]. En la actualidad, *Hevea* es la única fuente natural de caucho, un producto de importancia económica para distintos países que lo utilizan como materia prima en distintos procesos industriales [19]. Especialmente, el árbol de caucho proporciona el extracto conocido como látex, utilizado con frecuencia para la elaboración de artefactos

CC BY NC SA

domésticos, médicos e industriales; por ejemplo, guantes, globos, adhesivos, mangueras y llantas [20]. Según la Confederación Cauchera Colombiana, por cada cuatro hectáreas del cultivo de caucho se genera un empleo directo y tres indirectos en departamentos (estados) como Meta, Santander y Caquetá, donde se concentra el 60% del área sembrada en el país [21]. Por ello, resulta indispensable proveer información acertada que permita gestionar los riesgos conexos al que estarían expuestos los sistemas productivos y naturales [22]. Especialmente desde buenas prácticas de uso de la tierra para contribuir en la reducción de los impactos negativos del cambio climático [23]. En esta dirección se ha priorizado el presente trabajo, cuyo objetivo fue determinar el uso actual y potencial del suelo para el caucho en el periodo 1980-2010 y el uso potencial para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 en Caquetá, Colombia.

METODOLOGÍA

El estudio abordó el método cuantitativo para la distribución espacial presente y futura del *Hevea brasiliensis*, a partir de la modelación de escenarios climáticos [24], siguiendo los pasos descritos en la figura 1. Se elaboró el mapa de uso actual del suelo del periodo 1980-2010, para el *Hevea brasiliensis* en el departamento de Caquetá a escala 1:800.000, tomando como referencia la cartografía elaborada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi [25], la cual es de libre acceso para su descarga. Luego, se realizó el procesamiento digital de las Unidades Productoras de Plantaciones de Caucho (UPPC) a través del software ArcGis, para la georreferenciación de las 924 UPPC y la determinación del porcentaje de área, uso y cobertura actual de *H. brasiliensis.* Con respecto al mapa de uso potencial del periodo 1980-2010, se utilizó la cartografía para la zonificación de aptitud del cultivo comercial de caucho natural a escala 1:800.000, publicado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) en el 2017. Se obtuvo el metadato de la cartografía en formato digital shapefiles de libre acceso en la plataforma tecnológica del Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA), al cual se le incorporó la información digital georreferenciada de las 924 UPPC suministrada por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (ASOHECA), según censo cauchero del 2015. Para el procesamiento de la información se empleó el software ArcGis, con la cual se determinó las áreas con aptitud climática alta, media, baja y no apta del *Hevea brasiliensis* en el departamento de Caquetá.

Para la elaboración de los mapas de uso potencial del suelo de los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, se tuvieron en cuenta: (a) Mapas propios de precipitación y temperatura media anual elaborados a partir de las proyecciones climáticas realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en su tercera comunicación nacional de cambio climático en el 2015. En la realización de los mapas de isoyetas e isotermas se emplearon métodos de

CC BY NC SA

interpolación con ArcGis, como Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés) y Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés). b) Mapa de suelos y zonificación de tierras de Caquetá a escala 1.800.000 dispuesto por el IGAC de manera abierta y digital en su geoportal. c) Información digital georreferenciada de las plantaciones de Hevea en el Caquetá. Información digital georreferenciada de las 924 plantaciones de *Hevea brasiliensis* en el Caquetá, suministrada por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá y autorizada para la publicación de esta investigación. Finalmente, con la información adquirida y la preparación de los datos, se realizó el análisis espacial y multitemporal a través de modelos de interpolación en ArcGis, empleando los criterios de evaluación de aptitud climática de *Hevea brasiliensis* para Colombia, según la tabla 1, para luego determinar la zonificación de las áreas aptas en términos de condiciones climáticas de *Hevea brasiliensis* para cada periodo futuro.

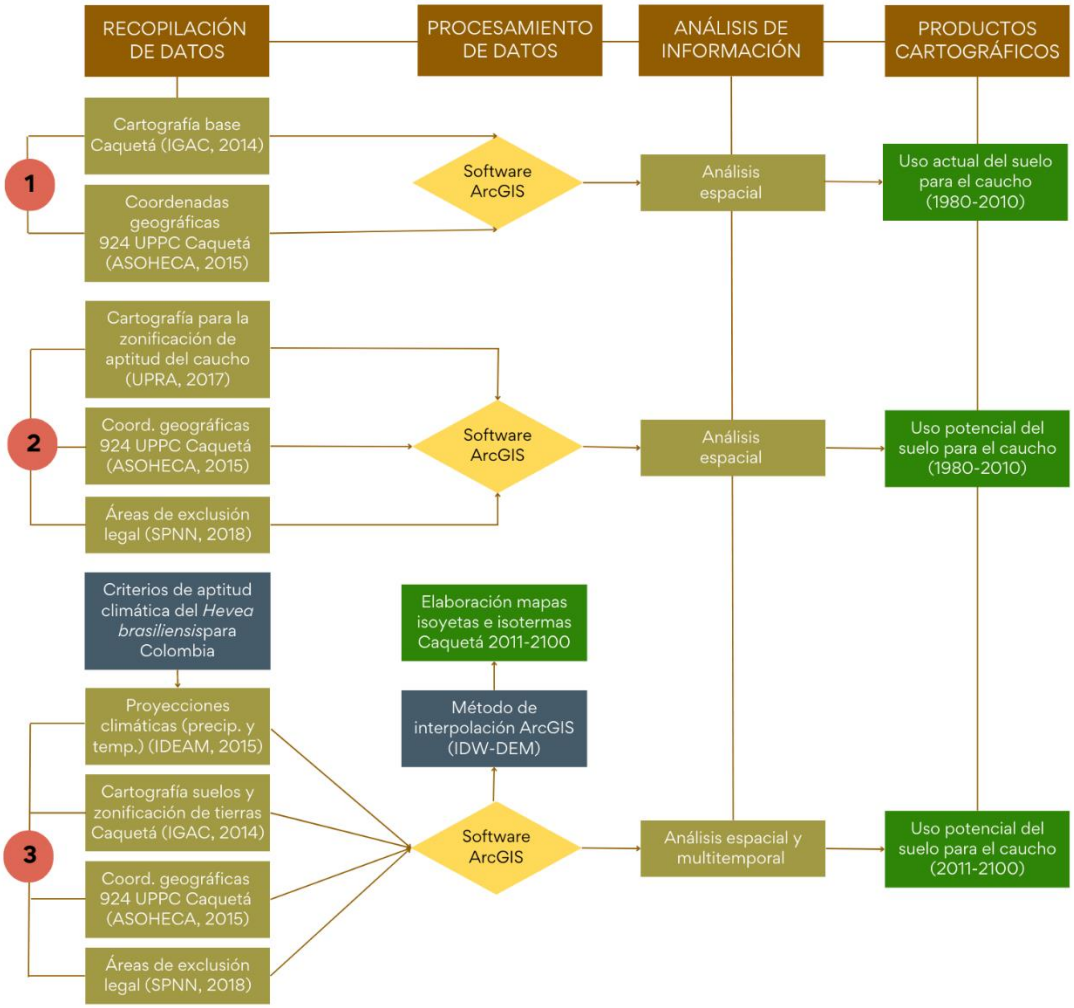


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología seguida para determinar el uso actual y potencial para el *Hevea brasiliensis* en el departamento de Caquetá.

CC BY NC SA

Tabla 1. Criterios de aptitud climática de *Hevea brasiliensis* para Colombia [25, 26, 27, 28, 13, 29].

Categoría Aptitud	Temperatura (T) °C	Precipitación (P) mm/año
Alta	$24 \leq T \leq 28$	$2.500 \leq P \leq 3.000$
Media	$20 \leq T < 24$	$1.500 \leq P \leq 2.000$
		$2.000 < P < 2.500$
		$3.000 < P \leq 4.000$
Baja	$T > 28$	$1.000 < P \leq 1.500$
No Apta	$T < 20$	$0 \leq P \leq 1.000$
		$P > 4.000$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso actual del suelo para *Hevea brasiliensis* (periodo 1980-2010)

En la figura 2 se evidencia el uso actual del suelo de *Hevea brasiliensis* en el periodo 1980-2010 y la distribución de las 924 UPPC existentes en Caquetá, según el censo cauchero de 2015. La georreferenciación de las UPPC fue incorporada en el mapa físico de Caquetá a escala 1:800.000, según cartografía elaborada por el IGAC [18]. La figura también muestra la distribución de las UPPC de *Hevea brasiliensis,* el área (ha) por municipio y el tipo de cultivo; en este sentido, las UPPC se ubican en su mayoría en el paisaje de lomerío. Las 924 UPPC representan 4321,27 ha, siendo El Doncello (793,44), Belén de los Andaquíes (722,63), Puerto Rico (507), Florencia (411), El Paujil (402,25) y Montañita (351,35), los municipios del departamento de Caquetá que tienen mayores extensiones de cultivo de caucho. Por el contrario, los municipios con menos cultivos de caucho son San Vicente Caguán (183) Cartagena del Chairá (177), Solita (146), Milán (128,75), Valparaíso (121,65), Albania (120,5), Morelia (106), Curillo (68), San José del Fragua (47) y Solano (35,2).

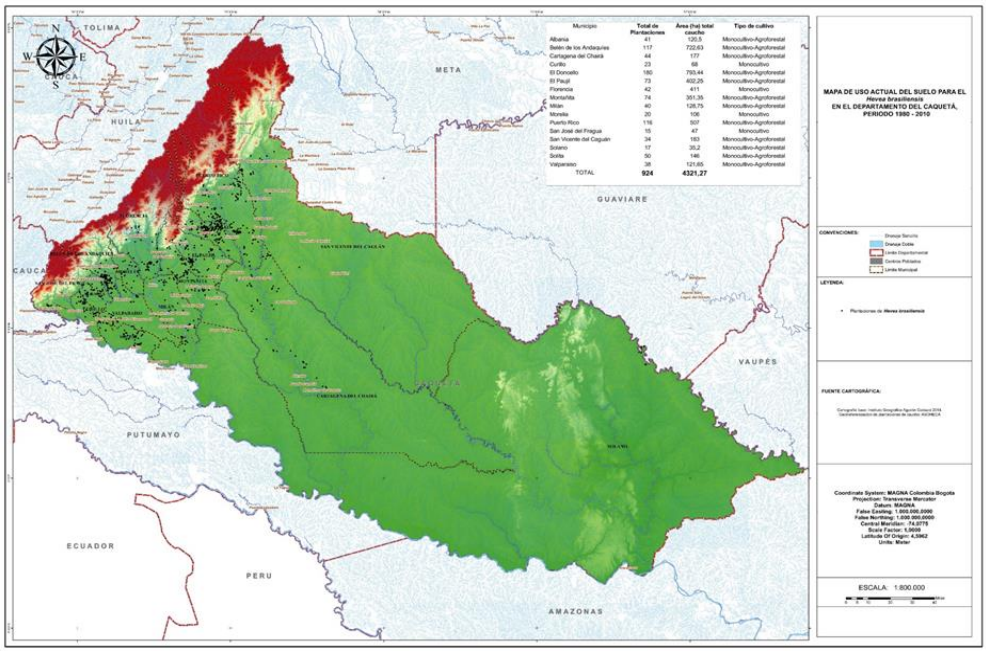
Uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* (periodo 1980-2010)

La elaboración del mapa de uso potencial del suelo tuvo como base el mapa de zonificación de aptitud en Colombia para el cultivo comercial de caucho a escala 1:100.000, suministrado por la UPRA [26]. A través de esta publicación, la UPRA delimitó las áreas con aptitud para *Hevea brasiliensis*, mediante la definición de un análisis multicriterio que emplearon variables de tipo físico, ecosistémico y socioeconómico, en función de identificar los sitios más adecuados para establecer y desarrollar el cultivo de caucho en Colombia. Esta zonificación además de contemplar las áreas más competitivas para el desarrollo del cultivo (alta, media y baja), también establecieron zonas marginales que corresponden a las áreas no aptas y de exclusión legal que se excluyen del fomento productivo (Figura 3). De acuerdo con la UPRA [30], las áreas no aptas presentan restricciones físicas y socioecosistémicas que imposibilitan el desarrollo de la actividad, las cuales no se permite el desarrollo productivo del caucho. Adicionalmente, también corresponden a esta categoría las áreas de exclusión legal de Parques Nacionales Naturales. En relación con

CC BY NC SA

lo anterior, se obtuvo el metadato del mapa de aptitud en formato digital *shapefile* SHP de libre acceso en la plataforma tecnológica del Sistema para la Planificación Rural Agropecuaria (SIPRA), al cual se le incorporó la información digital georreferenciada de las 924 UPPC, con el fin de determinar el total de las áreas con aptitud alta, media, baja y no apta en Caquetá.

Lo anterior, refleja que de las 4.321,2 (ha) de caucho existentes en Caquetá, 1.847,5 (ha) se encuentran en aptitud alta, 1.285,6 (ha) en aptitud media, 153,8 (ha) en aptitud baja y 1.020,8 (ha) en no apta. Así mismo, se identificó que 13,7 (ha) abarcan zonas de exclusión legal, correspondiente a ocho UPPC, de las cuales seis se localizan en Solano, una en San Vicente del Caguán y otra en Albania. Los municipios que mostraron la mejor aptitud para el desarrollo del cultivo son en su orden, los municipios de El Doncello con 700,89 ha, Belén de los Andaquíes (576,53 ha), El Paujil (339,75 ha), Puerto Rico (435 ha), La Montañita (339,75 ha), San Vicente del Caguán (167 ha). Estos resultados se asocian en relación con que los municipios con mejores áreas aptas de caucho corresponden también a los municipios que presentan las mayores áreas sembradas en Caquetá [31]. Los resultados obtenidos en el mapa de uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* en el periodo 1980-2010 establece que, posiblemente, las condiciones climáticas de Caquetá representan un factor preponderante que limita el desarrollo de la actividad, si se tiene en cuenta que el 56,7 % de la superficie de Caquetá no es apta para la producción heveícola.



Municipio	Total de Plantaciones	Área (ha) total caucho	Tipo de cultivo
Albania	41	120,5	Monocultivo-Agroforestal
Belén de los Andaquíes	117	722,63	Monocultivo-Agroforestal
Cartagena del Chairá	44	177	Monocultivo-Agroforestal
Curillo	23	68	Monocultivo
El Doncello	180	793,44	Monocultivo-Agroforestal
El Paujil	73	402,25	Monocultivo-Agroforestal
Florencia	42	411	Monocultivo
Montañita	74	351,35	Monocultivo-Agroforestal
Milán	40	128,75	Monocultivo-Agroforestal
Morelia	20	106	Monocultivo
Puerto Rico	116	507	Monocultivo-Agroforestal
San José del Fragua	15	47	Monocultivo
San Vicente del Caguán	34	183	Monocultivo-Agroforestal
Solano	17	35,2	Monocultivo-Agroforestal
Solita	50	146	Monocultivo-Agroforestal
Valparaíso	38	121,65	Monocultivo-Agroforestal
TOTAL	924	4321,27	

Figura 2. Uso actual del suelo para el *Hevea brasiliensis* en el departamento de Caquetá, periodo 1980-2010. Fuente: Autores a partir de datos de ASOHECA**.**

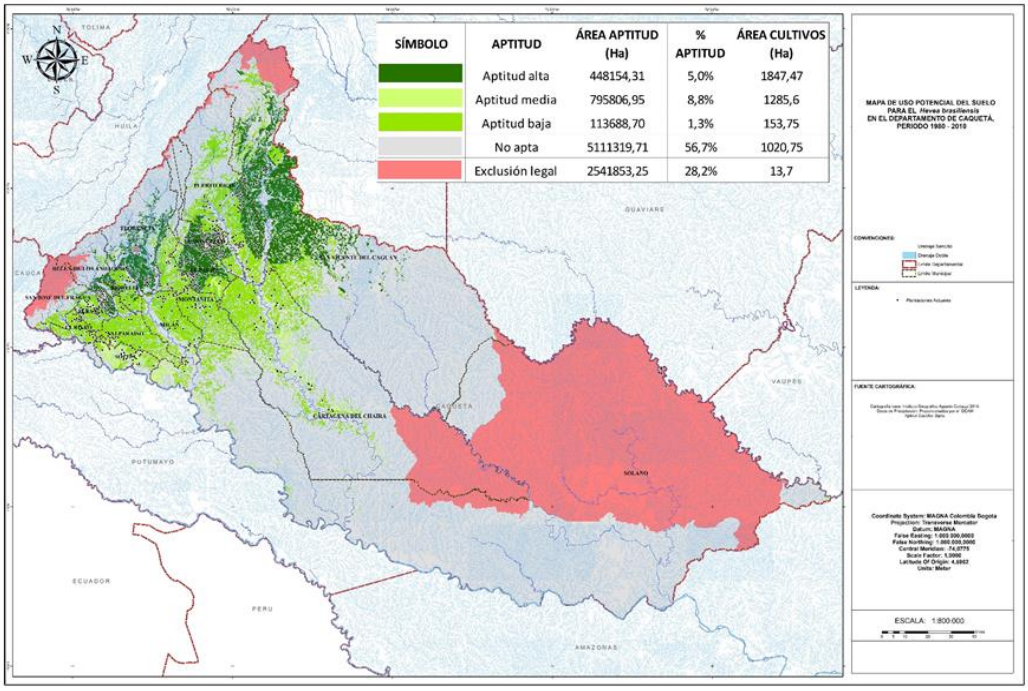


Figura 3. Uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* en Caquetá (periodo 1980-2010). Fuente: Autores a partir de [26, 27, 29].

Uso potencial del suelo de *Hevea brasiliensis* (periodo 2011-2100)

En esta etapa se realizó la modelación del uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* del periodo 2011-2100, teniendo en cuenta la base climática generada por el IDEAM [32], a partir de las proyecciones para las variables de precipitación y temperatura media de los periodos 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, donde se interpolaron los mapas de isoyetas y de isotermas generados por el presente estudio y empleando los criterios de evaluación de aptitud climática de *Hevea brasiliensis* para Colombia. Aunque los requerimientos climáticos de los cultivos pueden varían según la etapa de crecimiento o desarrollo, sobre todo, en lo referente a los parámetros de precipitación y temperatura [33].

En las figuras 4, 5 y 6, se presentan los resultados del uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* de los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, comparados con el uso potencial del suelo del periodo 1980-2010. La modelación del uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* muestra que para los periodos 2011-2040 y 2041-2070, a diferencia del periodo 1980-2010, el área de aptitud alta disminuye en un 31 %. La distribución espacial del periodo 2071-2100 presenta una reducción muy fuerte de la aptitud alta, en relación con el periodo 1980-2010. En cuanto a la aptitud media, los resultados revelan que, para todos los escenarios futuros, el área apta presenta una pérdida moderada, donde se reduce cerca de la mitad, en relación con el periodo 1980-2010. Para todos los escenarios futuros el área de aptitud baja es la menos favorable para *Hevea*

CC BY NC SA

brasiliensis, llegando incluso a cero. Lo anterior es debido a que no se encontraron coincidencias en los intervalos de precipitación y temperatura, de acuerdo con los criterios de aptitud climática del *Hevea brasiliensis* en Colombia. El resultado final es la desaparición de esta área para todos los periodos futuros.

Finalmente, en la categoría no apta se evidencia ganancia del área en todos los escenarios, incluso en el periodo 1980-2010 es la categoría que mayor área ocupa. Se proyecta un aumento de las áreas no aptas para los periodos futuros entre un 15 y 17 %, en comparación con el periodo 1980-2010. Lo anterior es preocupante, debido a que la reducción de las áreas aptas de *Hevea brasiliensis* en Caquetá estaría influenciada por la variabilidad climática, por lo tanto, si se presentan aumentos significativos en la precipitación y la temperatura de Caquetá, sobre todo en el paisaje del Piedemonte Amazónico donde se ubican cerca del 80 % de las plantaciones de caucho; por ende, es probable que los cambios en los patrones climáticos incidan en este cultivo, con posible alteraciones en su ciclo fenológico, tasas fotosintéticas, proliferación de plagas y enfermedades, reduciendo así el periodo de desarrollo y crecimiento, que a su vez afectaría el rendimiento del mismo.

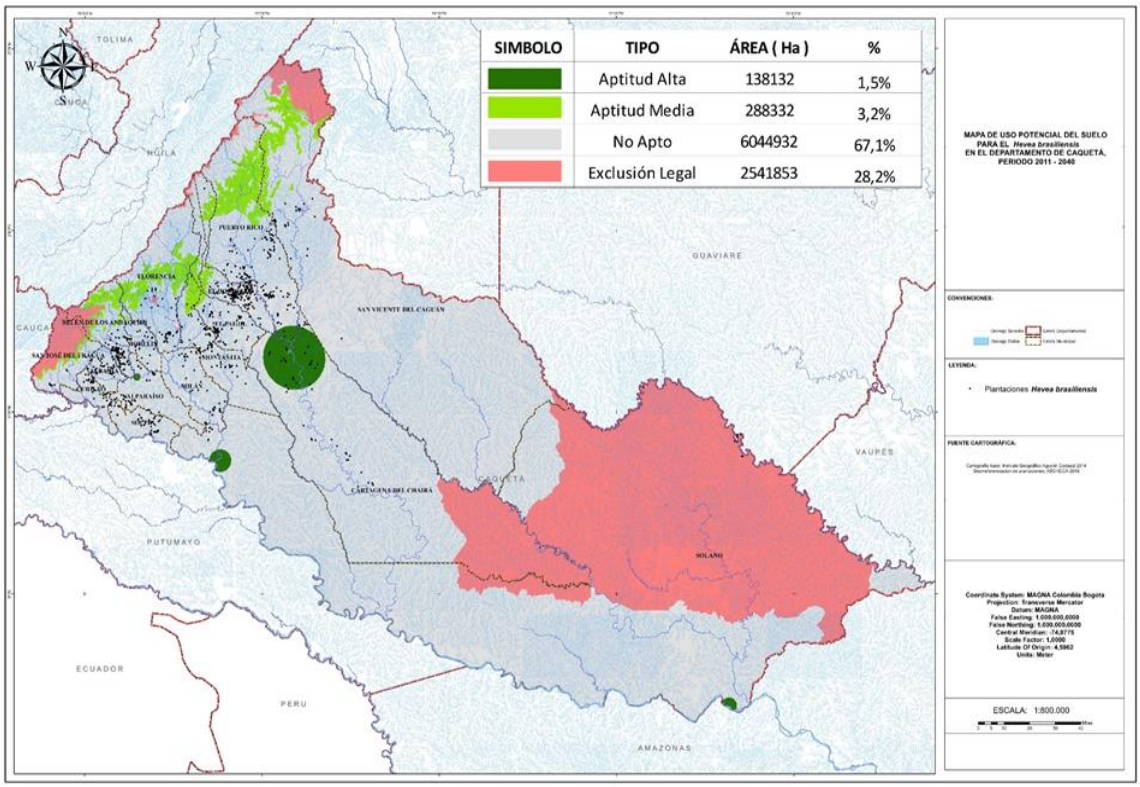


Figura 4. Uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* en Caquetá (periodo 2011-2040).

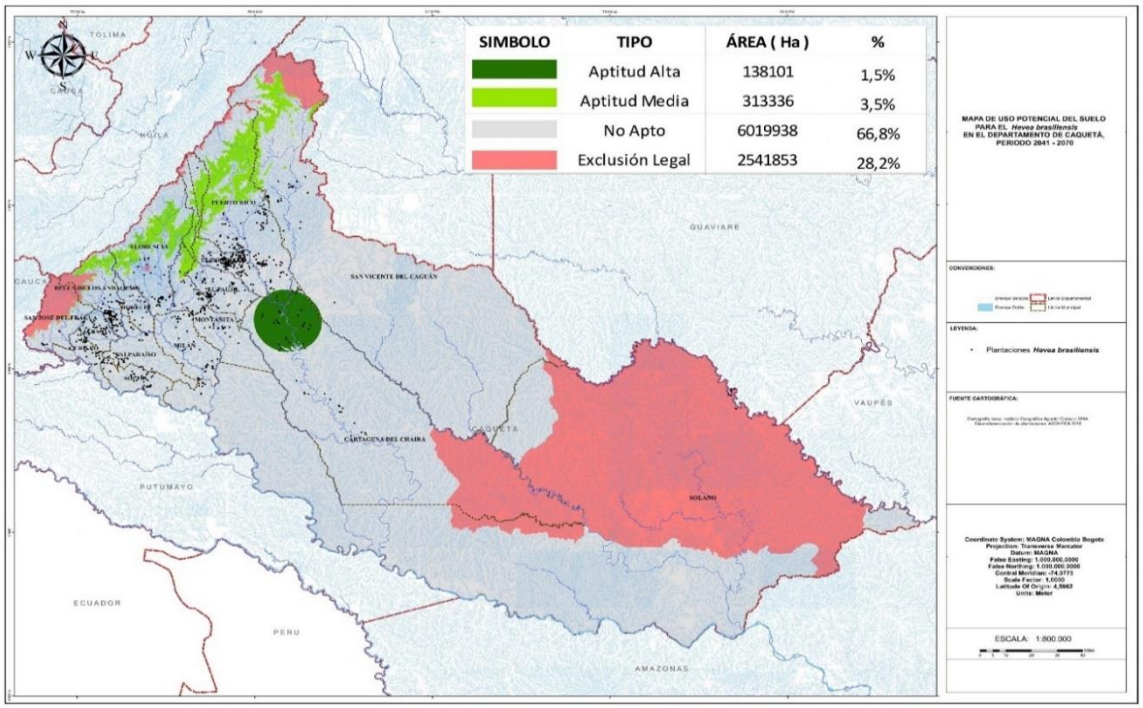


Figura 5. Uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* en Caquetá (periodo 2041-2070).

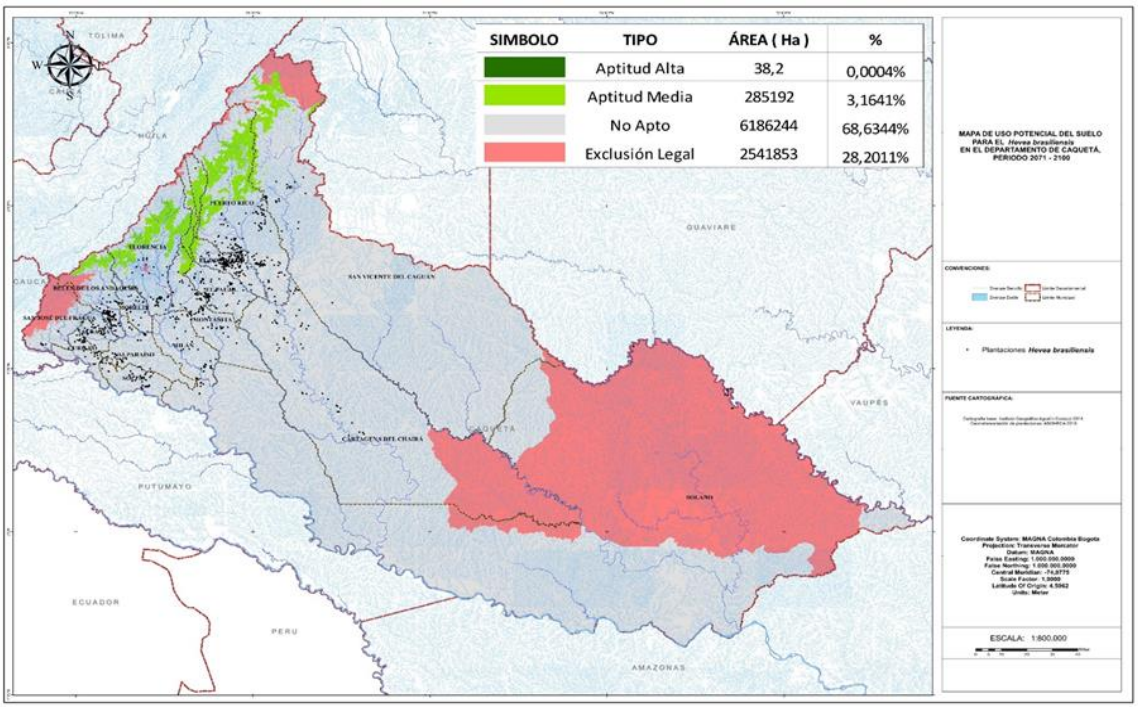


Figura 6. Uso potencial del suelo para *Hevea brasiliensis* en Caquetá (periodo 2071-2100).

En relación con lo anterior, estos factores serían adversos para el cultivo de *Hevea brasiliensis,* considerando que la cantidad de agua lluvia recomendada para el óptimo desarrollo de este cultivo es mayor a los 1.500 mm hasta los 3.000 mm/año y un rango de temperatura mayor a los 20 °C hasta los 28 °C, con un promedio ideal de 25 °C [31, 34]. Si se presentan precipitaciones y temperaturas por encima o debajo de esos rangos, esto traería limitaciones en el rayado y recolección del látex, aumento de plagas y enfermedades, implicando pérdidas en la producción de *Hevea brasiliensis* [35, 36]. Los resultados sugieren que, para todos los escenarios futuros, las proyecciones de las condiciones climáticas desfavorecen de manera significativa el desarrollo de *Hevea brasiliensis* en Caquetá.

Esto es preocupante si se tiene en cuenta que el caucho es un producto promisorio dentro de la apuesta exportadora agropecuaria del país, ubicándose como un renglón importante en las políticas de fomento del gobierno para cubrir la demanda nacional e internacional de la industria automotriz y cuya producción es insuficiente para cubrir el mercado local. El país importa alrededor de 16.000 (t) promedio año en la presentación de caucho seco y látex centrifugado, correspondiente al 80 % del consumo interno [37]. En relación con lo anterior, el estudio de los impactos económicos de cambio climático para Colombia realizado por el Departamento Nacional de Planeación y el Banco Interamericano de Desarrollo [38], evaluaron los costos económicos asociados a eventos climáticos extremos para los sectores productivos de agricultura, ganadería, forestal, pesca y transporte, estimando que para el periodo 2011-2100 es muy probable que el país registre pérdidas anuales de 0,49 % en su PIB, que al sumar las pérdidas y sin descontar el valor presente, esta cifra equivaldría entre 3 y 4 millones de dólares (USD) por año.

CONCLUSIONES

Los procesos de modelación cartográfica con distintos escenarios climáticos permitieron zonificar la actitud de Caquetá para el desarrollo de plantaciones de caucho, uno de los principales cultivos forestales de la zona amazónica. Las proyecciones de uso potencial del suelo, según la modelación de aptitud climática para los escenarios futuros muestran una tendencia de aumento del área no apta para *Hevea brasiliensis*. Lo anterior, significa que, por condiciones climáticas, sobre todo, por los cambios en las variables de precipitación y temperatura, las comunidades presentarían dificultades para el fomento y desarrollo de este cultivo. Este hallazgo muestra la crudeza del cambio climático y sus implicaciones en actividades agroproductivas, las cuales también tendrán repercusiones socioecológicas. Dichas tendencias podrían posibilitar distintos escenarios como el abandono del campo por parte de los pequeños productores, el acaparamiento de tierras por parte de familias acaudaladas y la conversión a otros tipos de cultivos. En todo caso, es importante que las autoridades gubernamentales puedan generar en vinculación con las comunidades, distintas

CC BY NC SA

estrategias para evitar un posible y casi seguro aumento en la presión hacia los bosques y selvas del Amazonas.

En definitiva, este estudio muestra aspectos agroclimáticos que resultan de interés para un sector productivo importante en la zona amazónica, como lo son las plantaciones del caucho en Caquetá. Ahora será oportuno realizar estudios más profundos y de campo con las comunidades y las autoridades gubernamentales para definir planes estratégicos de aprovechamiento agroforestal sustentable. Sin duda, los cambios en el clima actual y futuro presentan retos y desafíos relevantes para el desarrollo rural, pero también es una oportunidad clara para diversificar las actividades agropecuarias y pensar en otras formas de manejo distintas a la convencional que se basa en monocultivos. Por tanto, es urgente trabajar de forma colaborativa para diseñar paisajes agroforestales que sean económicamente viables, culturalmente aceptables y ecológicamente sinérgicos con la selva amazónica. Lo anterior, es clave para garantizar los servicios de los ecosistemas del sur de Colombia, así como el bienestar de las comunidades que subsisten en el campo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá, la Confederación Cauchera Colombiana, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, quienes aportaron información valiosa para desarrollar este estudio.

REFERENCIAS

[1]. Kweku DW, Bismark O, Maxwell A, Desmond KA, Danso KB, Oti-Mensah EA, Adormaa B. Greenhouse effect: Greenhouse gases and their impact on global warming. Journal of Scientific research and reports 2018; 17(6): 1-9. Disponible en: https://bit.ly/3WQEAYj

[2]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). [Internet] Información técnica sobre GEI y el cambio climático. 2007. Disponible en: https://bit.ly/35Z7XkF

[3]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Internet]. Calentamiento global de 1,5 °C: Resumen para responsables de políticas. 2018. Disponible en: https://bit.ly/3drNQdX

[4]. Tollefson, J. IPCC says limiting global warming to 1.5 [degrees] C will require drastic action. Nature 2018; 562(7726): 172-174. Disponible en: https://bit.ly/43Orgq9

[5]. Stone D, Auffhammer M, Carey M, Hansen G, Huggel C, Cramer W, Yohe G. The challenge to detect and attribute effects of climate change on human and natural systems. Climatic Change 2013; 121(2): 381-395.

CC BY NC SA

Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0873-6

[6]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). [Internet]. Inventario nacional y departamental de GEI en Colombia. Tercera comunicación nacional de cambio climático. 2016. Disponible en: https://bit.ly/3gBLWKH

[7]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [Internet]. Climate Change and Land: Summary for Policymakers. 2019. Disponible en: https://bit.ly/3GFAUPh

[8]. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, Parques Nacionales Naturales, Instituto Alexander Vonhumboldt. [Internet]. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Bogotá, Colombia. 2016. Disponible en: https://bit.ly/3uGbvCI

[9]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). [Internet]. Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación. Memoria del seminario internacional realizado en Santiago, los días 10 y 11 noviembre 2010. 2011. Disponible en: https://bit.ly/3oFfMCq

[10]. Malhi GS, Kaur M, Kaushik P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. Sustainability 2021; 13(3): 1318. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su13031318

[11]. Climate and Development Knowledge Network (CDKN). [Internet]. Informe especial del IPCC sobre cambio climático y la tierra ¿Qué significa para América Latina? 2019. Disponible en: https://bit.ly/3p1ZHHx

[12]. Alvarado MA, Foroughbakhch R, Jurado E, Rocha A. El cambio climático y la fenología de las plantas. Ciencia UANL 2002; 5(4): 493-500. Disponible en: http://eprints.uanl.mx/934/

[13]. Torres CH. Manual para el cultivo del caucho en la Amazonia. Universidad de la Amazonia. 1999. Disponible en: https://bit.ly/3YDZ7zg

[14]. Azabache LM. Proyecto de factibilidad para la producción de caucho natural (*Hevea brasiliensis*) en el municipio de Puerto Carreño Vichada. Tesis de licenciatura, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, 2012. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21817

[15]. Mydin KK, Saraswathyamma CK. A manual on breeding of *Hevea brasiliensis.* A manual on breeding of *Hevea brasiliensis*. Rubber Research Institute of India: Kerala 2005. Disponible en: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20063069953

[16]. Garzón-Cala F. [Internet]. Enfermedades y plagas en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. Bogotá, Colombia. 1998. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/21138

CC BY NC SA

[17]. Vargas-Valenzuela Y. Ramos-Calderón PF, Castro-Zabala MA. [Internet]. Calendarios preliminares del comportamiento fenológico de los clones de *Hevea brasiliensis* IAN 873 y FX 4098 en el Piedemonte Amazónico, subzona de monitoreo Belén de los Andaquíes. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. Bogotá, Colombia. 2018. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/35580

[18]. Ray D, Behera MD, Jacob J. Improving spatial transferability of ecological niche model of *Hevea brasiliensis* using pooled occurrences of introduced ranges in two biogeographic regions of India. Ecological Informatics 2016; 34: 153-163. Disponible en: https://bit.ly/3NdZIVa

[19]. Nair KP. Tree Crops: Harvesting Cash from the World's Important Cash Crops. Springer Cham: Switzerland 2021. Disponible en: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-62140-7

[20]. Onoji SE, Iyuke SE, Igbafe AI, Daramola MO. Natural rubber (*Hevea brasiliensis* Mell-Arg.) production, processing, and rubber wastes utilization: Challenges and prospects for economic diversification and sustainable development of Nigeria. African Journal of Plant Science 2021; 15(1): 8-19. Disponible en: https://bit.ly/3WZLDOc

[21]. Ministerio de Agricultura. [Internet]. CADENA DE CAUCHO NATURAL: Indicadores e Instrumentos. Gobierno de colombia. Bogotá, Colombia. 2018. Disponible en: https://bit.ly/3TuPhhn

[22]. Hansen J, Hellin J, Rosenstock T, Fisher E, Cairns J, Stirling C, Campbell B. Climate risk management and rural poverty reduction. Agricultural Systems 2019; 172: 28-46. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X17307230

[23]. Loboguerrero A M, Campbell BM, Cooper PJ, Hansen JW, Rosenstock T, Wollenberg E. Food and earth systems: priorities for climate change adaptation and mitigation for agriculture and food systems. Sustainability 2019; 11(5): 1372. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su11051372

[24]. Mote P, Brekke L, Duffy PB, Maurer E. Guidelines for constructing climate scenarios. Eos, Transactions American Geophysical Union 2011; 92(31): 257-258. Disponible en: https://doi.org/10.1029/2011EO310001

[25]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). [Internet]. Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Caquetá escala 1.100.000. 2014. Disponible en: https://bit.ly/3Jjypnp

[26]. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de caucho. Escala 1.100.000. Colombia, 2017. Disponible en: https://bit.ly/3NiAeWN

[27]. Sterling CA, Rodríguez LC. [Internet]. Ampliación de la base genética de caucho natural con proyección para la Amazonia colombiana: fase de evaluación en periodo improductivo a gran escala. Instituto

CC BY NC SA

Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). 2012. Disponible en: https://bit.ly/3EkBeEZ

[28]. Eraso RH, Toro DC. [Internet]. Manual técnico del cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*). 2006. Disponible en: https://bit.ly/3rGcqky

[29]. Escobar ACJ, Cabrera Y, Trochez JM, Cárdenas GCA. [Internet]. El Cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.) con enfoque agroforestal. Cartilla divulgativa, CORPOICA. 2004. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/2118

[30]. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). [Internet]. Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales Escala 1.100.000, Memoria Técnica. 2015. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/12715

[31]. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). [Internet]. Proyecto apoyo técnico y económico al fomento del caucho a nivel nacional "zonificación de áreas aptas para el cultivo del caucho". Bogotá, Colombia. 1997. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12324/21478

[32]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). [Internet]. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Nivel nacional y departamental. Herramientas científicas para la toma de decisiones. 2015. Disponible en: https://bit.ly/3GOOuQE

[33]. Cortés Y, Alarcón JC. Impactos del cambio climático sobre las áreas óptimas de nueve cultivos en Cundinamarca, Colombia. Revista Temas Agrarios 2016; 21(2): 51-64. Disponible en: https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/901

[34]. Villalba R, Villegas LE. Vargas RF. [Internet]. Manual del cultivo del caucho (Hevea brasiliensis). 2011. Disponible en: https://bit.ly/3rGcqky

[35]. Gasparotto L, Ferreira FA, Lima MI, Pereira JC, Santos AD. [Internet]. Enfermidades da seringueira no Brasil. EMBRAPA-CPAA. 1990. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/15444215.pdf

[36]. Sterling CA, Rodríguez AOL. Correa DJ. Evaluación fitosanitaria y resistencia en campo a *Microcyclus ulei* de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia colombiana. Revista Colombia Amazónica 2009; 2: 79-90. Disponible en: https://bit.ly/3p1QamI

[37]. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). [Internet]. Cadena de caucho natural. Indicadores e instrumentos. 2018. Disponible en: https://bit.ly/3BldTjB

[38]. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Banco Interamericano de Desarrollo (BID). [Internet]. Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Bogotá, Colombia. 2014. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37879