DISTRIBUCIÓN PRESENTE Y FUTURA DE CAFÉ Y CACAO POR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Potencial distribución espacial del café y cacao en seis departamentos del Perú: Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali

ESTUDIO

PERÚ Ministerio del Ambiente

SERNANP PERÚ

gef

PNUD

DISTRIBUCIÓN PRESENTE Y FUTURA DE CAFÉ Y CACAO POR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Potencial distribución espacial del café y cacao en seis departamentos del Perú: Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali

PNUD (2021). Distribución presente y futura de café y cacao por efectos del cambio climático: *Potencial distribución espacial del café y cacao en seis departamentos del Perú: Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali.*

Proyecto Amazonía Resiliente

© Programa de las Naciones Unidas
para el Desarrollo
Avenida Jorge Chávez N° 275 Miraflores
Lima – Perú

Equipo del estudio
Lady Cotrina
Patricia Huerta
Manuel Kadena
Michael Valqui

Textos
Lady Cotrina
Patricia Huerta
Manuel Kadena

Revisión y edición técnica
Lady Cotrina
Jorge Herrera
María Valladares

Cuidado de edición
Lady Cotrina
Nurymar Feldman
María Valladares

Análisis y modelamientos espaciales
Manuel Kadena

Agradecimientos
Jefatura, especialistas y guardaparques: Parque Nacional Yanachaga-Chemillén, Parque Nacional Alto Purús, Parque Nacional del Manu, Reserva Comunal El Sira, Reserva Comunal Purús, Reserva Comunal Yanesha, Reserva Comunal Amarakaeri, Bosque de Protección San Matías-San Carlos y Santuario Nacional Megantoni.
ECA: Ejecutor de Contrato de Administración de la Reserva Comunal El Sira (Ecosira), Asociación para el Manejo y Conservación de la Reserva Comunal Yanesha (Amarcy), Ejecutor de Contrato de Administración de la Reserva Comunal Amarakaeri (ECA Amarakaeri), Ejecutor de Contrato de Administración de la Reserva Comunal Purús (Ecopurús) y Asociación Nacional de Ejecutores de Contrato de Administración (Anecap).
Federaciones: Asociación de Nacionalidades Asháninkas del Pichis (ANAP), Federación de Comunidades Nativas Yaneshas (FECONAYA) y Unión Regional de los pueblos Indígenas de la Amazonía de la Provincia de Atalaya (URPIA).
Equipo regional del proyecto Amazonía Resiliente: Pedro Aguilar, Luis Berrospi, Marco Chevarría, Juan Muñoz, César Samaniego y Julio Sánchez.
Agradecimiento especial al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) por su respaldo institucional durante la elaboración del estudio.

Fotografías de portada
Mónica Suárez /PNUD Perú/GEF/SERNANP
Giuliana Camarena /PNUD Perú/GEF/SERNANP

Fotografías interiores
Amazonía Resiliente /PNUD Perú/GEF/SERNANP

PNUD (2021).
Distribución presente y futura de café y cacao por efectos del cambio climático: Potencial distribución espacial del café y cacao en seis departamentos del Perú: Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali.

Este documento ha sido elaborado por el Proyecto Amazonía Resiliente, implementado por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), adscrito al Ministerio del Ambiente (MINAM), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés).

TABLA DE CONTENIDO

1 Resumen

2 Introducción

3 Marco conceptual

4 Objetivos

5 Metodología
- **5.1** Área de estudio
- **5.2** Modelamiento de la distribución potencial actual y futura del café y cacao
- **5.3** Determinación del área efectiva de la distribución actual y futura del café y cacao para los departamentos de Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali

6 Resultados
- **6.1** Cultivo del café
- **6.2** Cultivo del cacao

7 Conclusiones

8 Recomendaciones

9 Bibliografía

10 Anexos

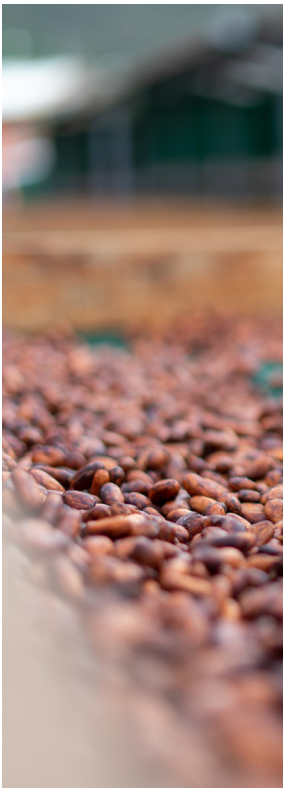
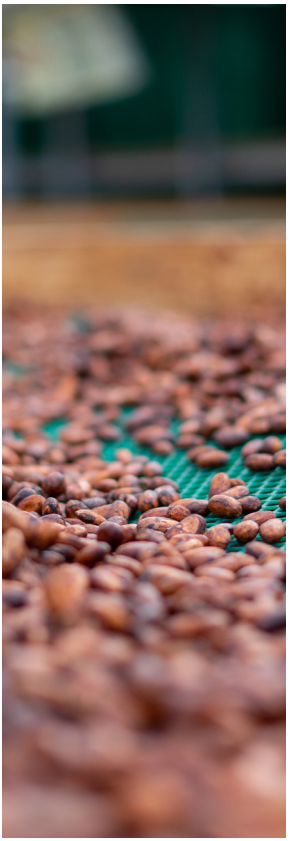
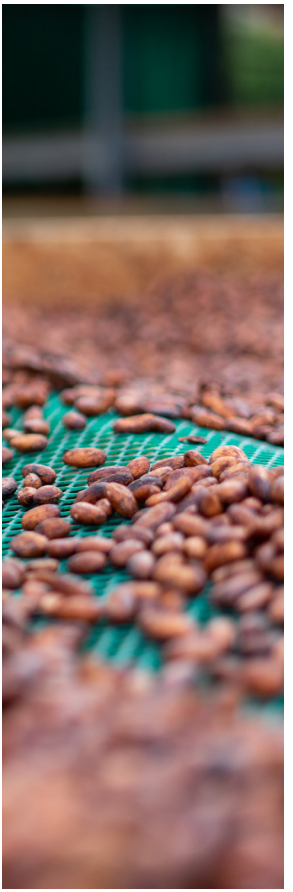
10
14
18
26
28
28
30
37
38
38
47
58
60
62
64

APECMU

ACRÓNIMOS

AC	Áreas de Conservación
ANP	Áreas Naturales Protegidas
AR	Proyecto Amazonía Resiliente (SERNANP-PNUD)
BPSMSC	Bosque de Protección San Matías-San Carlos
CC	Cambio climático
CCCC	Comunidades campesinas
CCNN	Comunidades nativas
ECA	Ejecutor de contrato de administración
GCM	Modelo de Circulación General
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de efecto invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MIDAGRI	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
mm	Milímetros
PNAP	Parque Nacional Alto Purús
PNP	Parque Nacional del Manu
PNRC	Programa Nacional de Renovación de Cafetales

PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNYCH	Parque Nacional Yanachaga-Chemillén
RCA	Reserva Comunal Amarakaeri
RCES	Reserva Comunal El Sira
RCP	Reserva Comunal Purús
RCP 4.5	Trayectorias de Concentración Representativa (IPCC) para el escenario 4.5 (emisión moderada)
RCP 8.5	Trayectorias de Concentración Representativa (IPCC) para el escenario 8.5(emisión elevada)
RCY	Reserva Comunal Yanesha
SEA	Sectores de Empadronamiento Agropecuario
SERNANP	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Perú)
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SNM	Santuario Nacional Megantoni
SSE	Sistemas Socio-Ecológicos
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
VIF	*Variance Inflation Factor*
ZA	Zona de Amortiguamiento
ZEE	Zonificación Ecológica Económica

1 RESUMEN

La crisis climática afectará nuestros ecosistemas naturales, pero también a los espacios creados por los seres humanos, como son los sistemas productivos. La variación en temperatura y precipitación originará, por ejemplo, un menor rendimiento de cosechas por aumento de la temperatura sobre la fisiología de las plantas e incrementará la presencia de plagas y enfermedades. Todo ello afectará

la calidad y temporalidad de las cosechas, así como la infraestructura productiva.

En los últimos diez años, el Perú ha desarrollado numerosas intervenciones enfocadas a programas de desarrollo alternativo y fortalecimiento de las cadenas productivas del café y cacao. Con más de 300 mil productores dedicados a estas actividades productivas y más de 900 millones de dólares anuales en exportación, el cambio climático generará un impacto en el desarrollo del Perú y sobre todo en zonas con alta presencia de población vulnerable.

El presente estudio se basa en el modelamiento espacial del nicho ecológico para los cultivos de café y de cacao a nivel nacional y para seis departamentos amazónicos del país[1], bajo un escenario de emisión y concentración de gases de efecto invernadero (GEI) al año 2050 (RCP 8.5[2]). En términos nacionales el modelamiento considera la distribución del nicho ecológico en toda la amplitud del territorio sin considerar categorías de uso.

En términos de los departamentos priorizados se modela el área efectiva del café y cacao en términos actuales y futuros. El área efectiva del café y cacao son los espacios sin la presencia de Áreas Naturales Protegidas (ANP), Áreas de Conservación Regional (ACR) y Reservas Territoriales (RT), Reservas Indígenas (RI) y donde no se puede instalar cultivos, según la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de los departamentos de análisis.

Los resultados de este estudio indican que, con el cambio climático, la superficie potencial para el cultivo de café disminuirá al 2050 y para el cultivo del cacao la superficie potencial se incrementará. En términos nacionales la distribución potencial futura al 2050 del café muestra una disminución de 33 026 hectáreas (ha) respecto al potencial actual estimado.

Además, existirá una variación en la ubicación del café hacia cotas altitudinales mayores. Para el caso del cacao a nivel nacional, al 2050 se estima un incremento de 10 018 064 ha respecto al potencial actual estimado. La altitud de las áreas potenciales para el cultivo del cacao presentará mucha variabilidad en el 2050. Un análisis más detallado en seis departamentos del Perú donde se considera el área efectiva real indica que al 2050 para los departamentos de Cusco, Ucayali, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Junín, la distribución potencial efectiva del café presentará una disminución de 40 358 ha (reducción del 7 %).

En los mismos departamentos el escenario futuro del cacao se caracterizará por un incremento de 197 323,36 ha

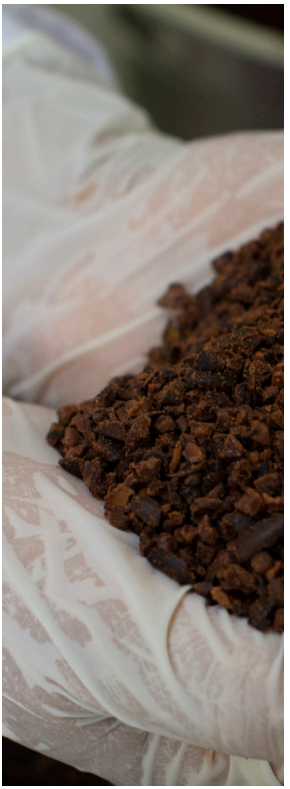
[1] Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali.

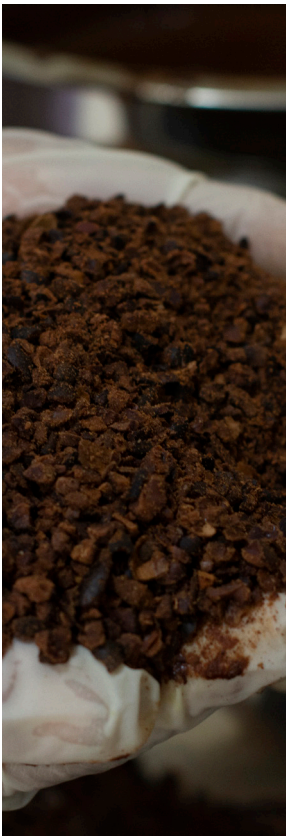
[2] OMM, 2020. https://public.wmo.int/es

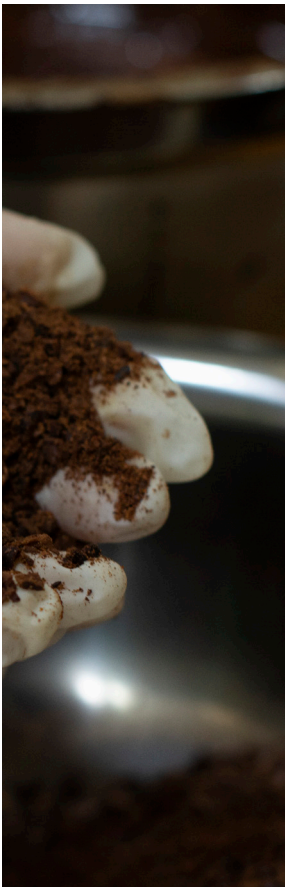
El presente estudio se basa en el modelamiento espacial de la distribución del nicho ecológico para los cultivos de café y de cacao a nivel nacional y para seis departamentos amazónicos del país.

(aumento del 20 %) de la superficie potencial efectiva.

Contar con proyecciones de la distribución de estos cultivos tan importantes ayudará a orientar los esfuerzos en mejorar la capacidad adaptativa o la reconversión productiva de los mismos. Estando presente las parcelas de café y cacao en muchas de las ZA de las ANP, esta información es clave para el acompañamiento por parte del SERNANP a los diferentes sectores en el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas productivos que aseguren la conservación de las ANP.







2 INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) a nivel global plantea graves riesgos para los sistemas naturales y sociales. El Perú es un país vulnerable ante esta presión externa, por tener ecosistemas frágiles habitados por poblaciones altamente diversas y que tienen elevada dependencia a actividades sensibles a alteraciones por el clima. La crisis climática trastoca los ecosistemas naturales, pero también espacios crea-

dos por los seres humanos como sistemas productivos.

Como medidas para encarar esta amenaza mundial, el Gobierno del Perú reiteró en el 2011 su voluntad de fortalecer la acción colectiva para mitigar el cambio climático, comprometiéndose a reducir en diez años el 47 % de sus emisiones a través del control de deforestación, hasta alcanzar una tasa de deforestación neta cero, contribuyendo así a los esfuerzos globales de mitigación[3].

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático del 2019 (COP25), el Perú anunció su compromiso de reducción de emisiones del 30 al 35%[4]. Este acuerdo se implementará a través de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) representadas en acciones orientadoras desde los diferentes sectores[5] del gobierno para la contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Como indicó en el 2018 el informe de las NDC, la agricultura es una actividad susceptible a los impactos asociados al cambio climático. Esto implica un riesgo para las familias agricultoras y la seguridad alimentaria del país[6]. Los factores asociados al cambio climático que afectan a la agricultura están relacionados a la modificación en los patrones de las precipitaciones, temperaturas y vientos, así como en el aumento de la frecuencia y la intensidad de los eventos climáticos extremos y en el incremento del riesgo de desastres (FAO, 2018).

Para el Perú, el café y el cacao son productos considerados bandera por su importancia en la canasta agroexportadora que impacta directamente en la economía familiar rural. A nivel mundial, el cambio climático afectará también a estos productos teniendo que enfrentar grandes desafíos, como la disminución de la calidad de los granos, menores rendimientos por el aumento de la temperatura sobre la fisiología de las plantas y una mayor proliferación de plagas y enfermedades. Además, estos sistemas productivos se enfrentarán a una mayor variabilidad climática local, que demandará mayores inversiones en infraestructura productiva y la posibilidad de disminución del tiempo de vida productiva de las plantas de café y cacao (CMNUCC 2010).

El cambio climático expone a la población, la economía y a los ecosistemas a diversos tipos de riesgo. En ese sentido, sus efectos e impactos en el Perú requieren la toma de medidas de adaptación para evitar o reducir las pérdidas, los potenciales

[3] MINAM, 2010. El Perú y el cambio climático. Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima. 197 p.

[4] MINAM, 2019. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Lima. 329 p.

[5] MINAM, 2018. Grupo de Trabajo Multisectorial para la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC). En https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/gtm/

[6] MINAM, 2018. Grupo de Trabajo Multisectorial de naturaleza temporal encargado de generar información técnica para orientar la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (GTM-NDC) Informe final. Lima. 929 p

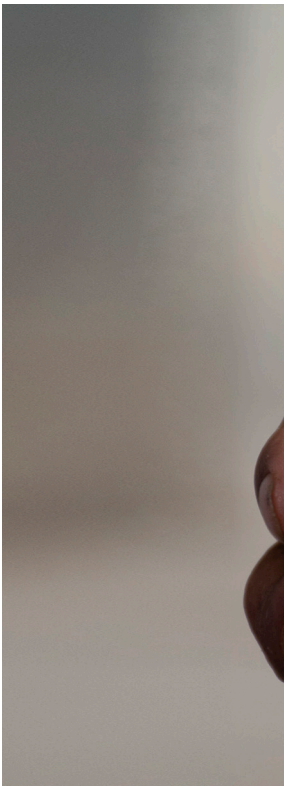
daños y las alteraciones severas en el funcionamiento de los sistemas naturales y sociales. Por otro lado, es importante considerar que la adaptación debe aplicarse a espacios y contextos específicos, comprendiendo las particularidades locales, los peligros climáticos y la vulnerabilidad del sistema productivo es la única forma de adecuar las acciones de adaptación ante los nuevos escenarios (IPCC, 2014).

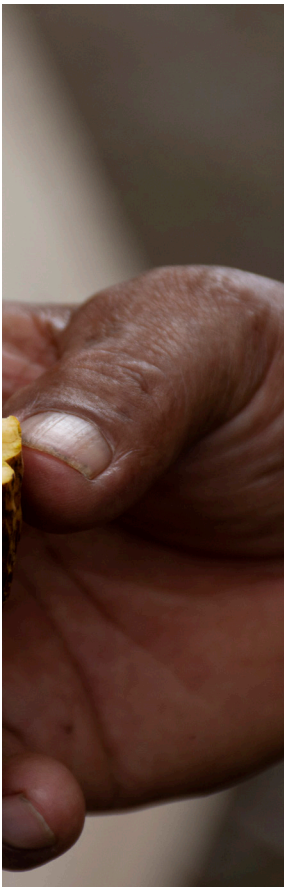
En el marco del *Proyecto Transformado la gestión de complejos de Áreas Protegidas/Paisajes para fortalecer la resiliencia de ecosistemas* conocido como Amazonía Resiliente se desarrolló el estudio "Distribución presente y futuro del café y cacao por efectos del cambio climático" que presentamos seguidamente, basado en el modelamiento espacial de la distribución del nicho ecológico para estos cultivos en seis departamentos amazónicos del país, bajo escenarios de emisión y concentración de GEI al año 2050 (RCP 8.5).

El presente estudio permite visualizar y cuantificar las posibles variaciones en la distribución de las zonas potenciales con buenas condiciones para el desarrollo del café y cacao. Las zonas con potencial actual y estimado para el 2020 y las zonas con potencial futuro al 2050 son espacios con adecuadas condiciones para el desarrollo de estos cultivos sobre la base del modelamiento de nicho ecológico para el café y el cacao. Además, se realizó un modelamiento detallado para los departamentos priorizados incorporando en el análisis la identificación del área efectiva del café y cacao en términos actuales y futuros. Se denomina área efectiva del café y cacao a los espacios donde se pueden realizar estas actividades de acuerdo con la legislación peruana y con un enfoque de economía baja en emisiones. Esto se traduce en categorías de uso del suelo sin la presencia de ANP, ACR, RT, RI y donde no se pueden instalar cultivos, según la ZEE de los departamentos de análisis. Con esta publicación se espera contribuir a la generación de información agroclimática estratégica que ayude a la toma de decisiones para la adaptación de los sistemas productivos, y así evitar pérdidas naturales y económicas que pongan en riesgo el bienestar de miles de familias productoras del país.

Este esfuerzo ha sido posible gracias al apoyo del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a través del proyecto Amazonía Resiliente, financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

El incremento de temperatura afectará a los sistemas productivos como el café y cacao, y tendrá particularidades a nivel local.





3 MARCO CONCEPTUAL

a) Nicho ecológico

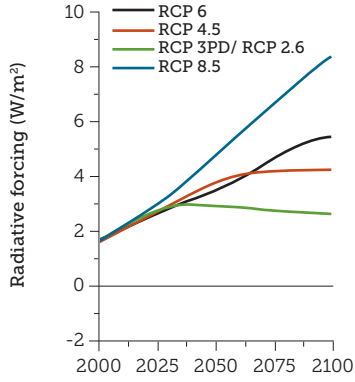
Es un espacio terrestre o acuático donde se concentra un conjunto de condiciones bióticas y abióticas en las que una especie es capaz de persistir y mantener un tamaño poblacional estable (Hutchinson, 1957). Y la representación ubicada en el espacio geográfico de este nicho ecológico son las distribuciones de las especies.

b) Escenarios de emisiones GEI

El cambio en la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) es uno de los principales *drivers* del cambio climático global. En el Quinto Informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC-AR5) se define cuatro nuevos escenarios de emisión y concentración de GEI hacia finales del siglo XXI, denominados *Trayectorias de Concentración Representativas* (RCP, por sus siglas en inglés). Estos escenarios se enfocan en las concentraciones globales de GEI sobre la base de factores como tamaño poblacional, actividades económicas, estilo de vida, uso de energías, patrones de uso de suelo, tecnología y política climática, que conllevan a un cambio en el clima (IPCC, 2014b).

Cada escenario provee una trayectoria en la concentración de GEI y su consecuente valor de *forzamiento radiativo*[7] medido en watts por metro cuadrado (W/m^2). En la Fig. 1 se presentan las cuatro trayectorias RCP bajo los siguientes escenarios: mitigación estricta (RCP 2.6), escenarios intermedios (RCP 4.5/6.0) y escenario de altas emisiones de GEI (RCP 8.5).

Figura 1. **Forzamiento Radiativo de las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)**



Fuente: Wayne, 2013.

[7] El forzamiento radiativo es la diferencia entre la energía absorbida por la tierra y la irradiada de vuelta al espacio. Es decir, la energía retenida en la atmósfera baja. El forzamiento radiativo puede ser positivo (calentamiento) o negativo (enfriamiento) y es afectos por la concentración de GEI, concentración de aerosoles, cambio de usos de tierra y drivers naturales.

De acuerdo a las predicciones climáticas realizadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2020), la temperatura media anual mundial subirá probablemente al menos 1 grado centígrado (°C) durante los próximos cinco años respecto a los niveles preindustriales (1850-1900). Asimismo, las probabilidades de que 'por lo menos un año' se supere el valor de referencia de 1,5 °C (objetivo límite del Acuerdo del Clima de París), representando el 20 %, pero esa probabilidad se va incrementando con el paso del tiempo.

Tomando en consideración los resultados de la OMM, el presente documento muestra los resultados para el RCP 8.5 según las tendencias climáticas del futuro inmediato, teniendo como resultado una alta probabilidad de estar en el rango 1,4-2,6 de incremento de temperatura al 2050.

RCP 8.5: Escenario donde las emisiones continúan aumentando durante todo el siglo XXI, en el escenario *'business as usual'* (BAU). En este escenario, en el periodo 2046-2065, el calentamiento global se incrementa en un rango de 2,0 °C (1,4 a 2,6) y entre el 2081-2100 se incrementa en un rango de 3,7 °C (2,6 a 4,8) de temperatura media global.

c) Condiciones ambientales para el café

El café es muy sensible a los cambios del clima. Para que el cultivo del cafeto sea económicamente viable, es preciso tener un clima con temperaturas medias anuales de unos 20 °C y más de 1200 milímetros (mm) de precipitación anual (DaMatta and Ramalho 2006, citado por Robiglio et al., 2012).

Las temperaturas superiores a 30 °C durante periodos prolongados reducen los rendimientos de la planta (Fábio Murilo DaMatta 2004, citado por Robiglio et al., 2012). Por tanto, estos cultivos requieren condiciones particulares en temas edáficos como tipo de suelos, textura, acidez, entre otros. En las Tabla 1 se muestran las características climáticas y edáficas ideales para el desarrollo de los cultivos de café.

Al comparar las superficies de la distribución potencial efectiva actual y futuro al 2050 nacional y por departamento, se observa, en todos los casos, una disminución de la superficie de la distribución potencial futura del café en el escenario RCP 8.5.

Tabla 1. **Variables ambientales y edáficas para el desarrollo del café**[8]

VARIABLES	CAFÉ			
	MIN.	MÁX.	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Temperatura	15	30	-	> 30 °C por periodos prolongados reducen rendimientos. Las heladas por semanas o días pueden matar la planta.
Temperatura diurna (°C)	-	-	22-23	
Temperatura nocturna (°C)	-	-	17-18	
Precipitación (mm)	1200	2000	-	Periodo seco corto de menos de 40 mm de pp/ mes promueve la floración e incrementa el rendimiento. Si el periodo seco dura +3 meses se reduce el rendimiento.
Vientos (km/h)	-	50	Moderados: 25	-
Suelo	-	-	aluviales y coluviales profundos	-

[8] CIIA, 2017. Impactos del CC sobre la cadena de valor del Café en el Perú. Lima. 55 p. / Solidaridad, 2016. Café Climáticamente Inteligente Café 2.0. Lima. 59 p..

VARIABLES	CAFÉ			
	MIN.	MÁX.	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Textura	Arenosa: limitada capacidad de retención de agua y nutrientes, alta susceptibilidad a la erosión, niveles críticos de déficit de agua.	Arcillosa: limitada permeabilidad y poco espacio poroso para el oxígeno, niveles críticos de exceso de humedad.	Franco arenoso	-
Materia orgánica	2 %	8 %	-	-
pH	4.5-5	6.5	5-6	-
Profundidad	Suelos en formación, con menos de 40 cm de profundidad, limitan el crecimiento de la raíz principal y de las raíces laterales, lo cual reduce la absorción de nutrientes y agua para la planta	N. A	-	-
Fisiografía	-	-	Tierras planas o ligeramente onduladas (por su buena capacidad de retención de agua).	-
Altitud (m.s.n.m.)	800	1800	1000	-
Pendiente	Suelos planos, con buena profundidad y textura	45 % o 25°	-	-

VARIABLES	CAFÉ			
	MIN.	MÁX.	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Drenaje	-	-	Bueno	-
Humedad	-	-	Mucha	-
Horas de luz promedio/día	-	-	5	-
Especies	Café arábico *(Coffee arabica)*			

d) Condiciones ambientales para el cacao

El cacao es un cultivo que se encuentra en la parte baja de la vertiente occidental de los Andes, pero que se ha desarrollado básicamente en la selva peruana entre los 300 y 900 m s. n. m. Se menciona que prefiere zonas de climas cálidos y húmedos y que no tengan una estación seca prolongada tropical, crece entre 26° latitud norte y 26° latitud sur[9].

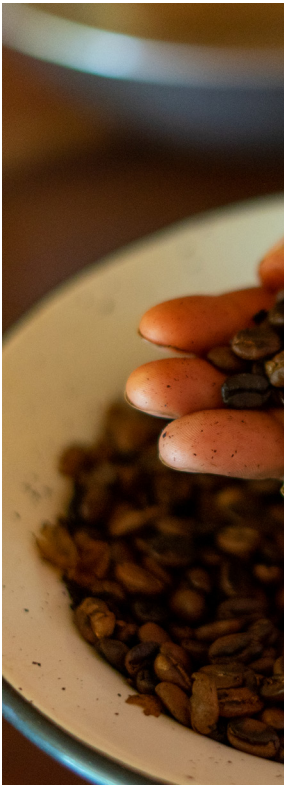
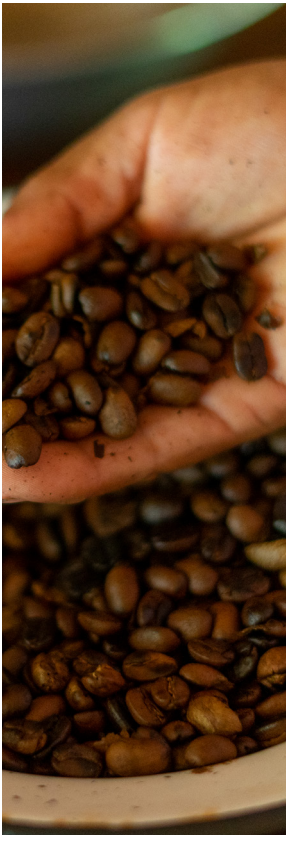
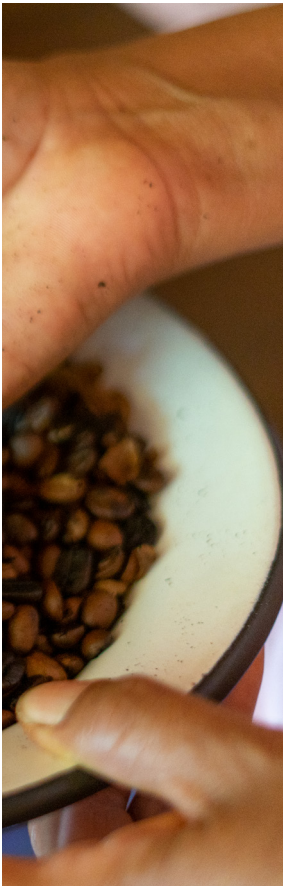
[9] MINAGRI. Cartilla N.°13. Condiciones agroclimáticas del cultivo del cacao. Lima. 2 p.
En: http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/condiciones_agroclimaticas_cacao.pdf

Tabla 2. **Variables ambientales y edáficas para el desarrollo del cacao**

VARIABLES	CACAO			
	MIN	MÁX	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Temperatura	22	30	-	Temperaturas mayores a 38 °C y menores a 15 °C afectan el funcionamiento de la planta y su productividad.
Precipitación (mm)	1500	2500	-	Buena distribución durante todos los meses. Periodos secos prolongados de más de 2 meses afectan la producción y marchita los árboles.
Precipitación (mm) en zonas bajas más cálidas	1500	2500	-	-
Precipitación (mm) en zonas más frescas o los valles altos	1200	1500	-	-
Vientos (km/h)	-	-	-	Vientos fuertes permanentes no son aptos para el cultivo del cacao.

Fuente: http://cacaomovil.com/guia/2/contenido/seleccion-de-sitios-produccion/
http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Cultivo_de_cacao#Aspectos_t%C3%A9cnicos

VARIABLES	CACAO			
	MIN	MÁX	ÓPTIMO	OBSERVACIONES
Textura	-	-	-	Las capas arcillosas del suelo no deben ser duras como para impedir la penetración de la raíz y aire. El buen suelo debe tener texturas medianas con buen equilibrio de arena o tierra suelta y arcilla. Los suelos que tienen capas profundas de arena no son aptos para el cultivo del cacao porque son pobres en nutrientes y pierden el agua rápidamente en el verano, causando que se marchiten las plantas de cacao. Un buen suelo para el cacao debe tener capacidad de retener agua y buen drenaje para evitar encharcamientos.
Materia orgánica	-	-	Muy alta	-
pH	4	7	-	-
Profundidad	-	1.5 m	Profundo	-
Fisiografía	-	-	Regular	-
Altitud (m s.n.m.)	0	900	-	-
Drenaje	-	-	Muy bueno	-
Humedad	-	70 %	80	-
Especies	Cacao *(Theobroma cacao)*			-

4 OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar la distribución espacial potencial para cultivos de café y cacao, tanto actual como futura al 2050 a nivel nacional y departamental en el escenario de emisión y concentración de gases efecto invernadero RCP 8.5[10].

[10] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

Objetivos específicos

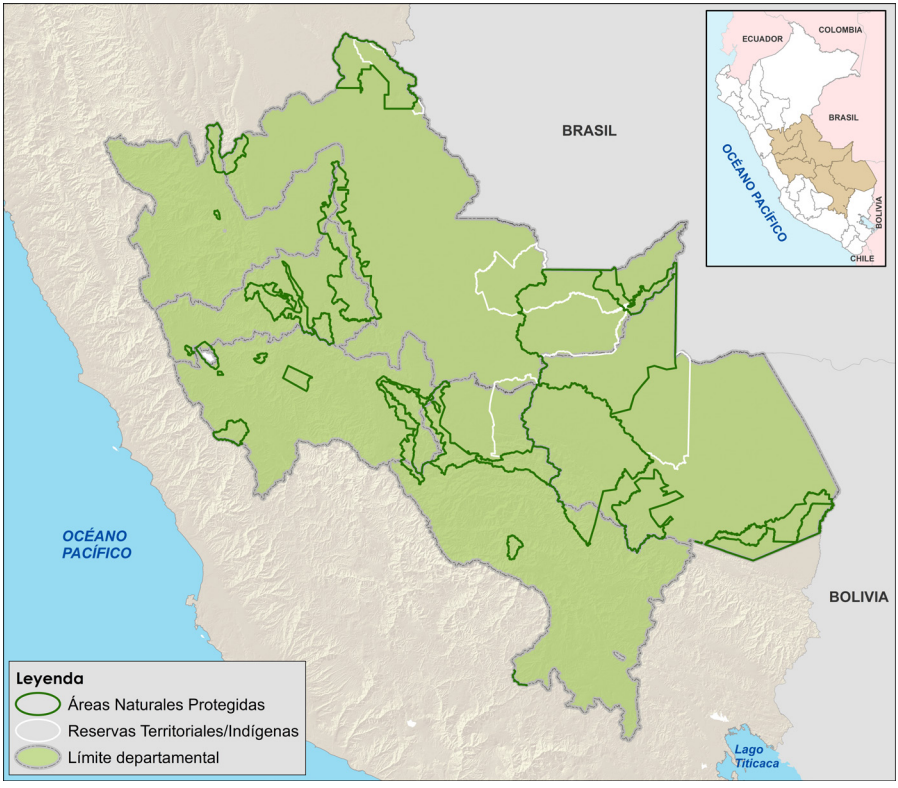
- Determinar la variación de la distribución potencial actual para el cultivo del café y cacao a nivel nacional y en seis departamentos del Perú que son parte del bioma amazónico.
- Determinar la variación de la distribución potencial futura al 2050 para el cultivo del café y cacao a nivel nacional y en seis departamentos del Perú por efectos del cambio climático.
- Determinar la distribución potencial actual y futura al 2050 para el café y cacao, en términos efectivos, considerando nicho ecológico y la capacidad de uso del suelo de acuerdo con las categorías de derechos y usos del territorio presente en seis departamentos del Perú.

5 METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

El análisis que determina el área efectiva actual y futura para cultivos de café y cacao se enfoca en los departamentos de Cusco, Huánco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali, que abarcan más de 293 000 km^2.

Figura 2. **Zona de análisis de la distribución presente y futura del área efectiva para cultivos de café y cacao por efectos del cambio climático**



5.2 Modelamiento de la distribución potencial actual y futura del café y cacao

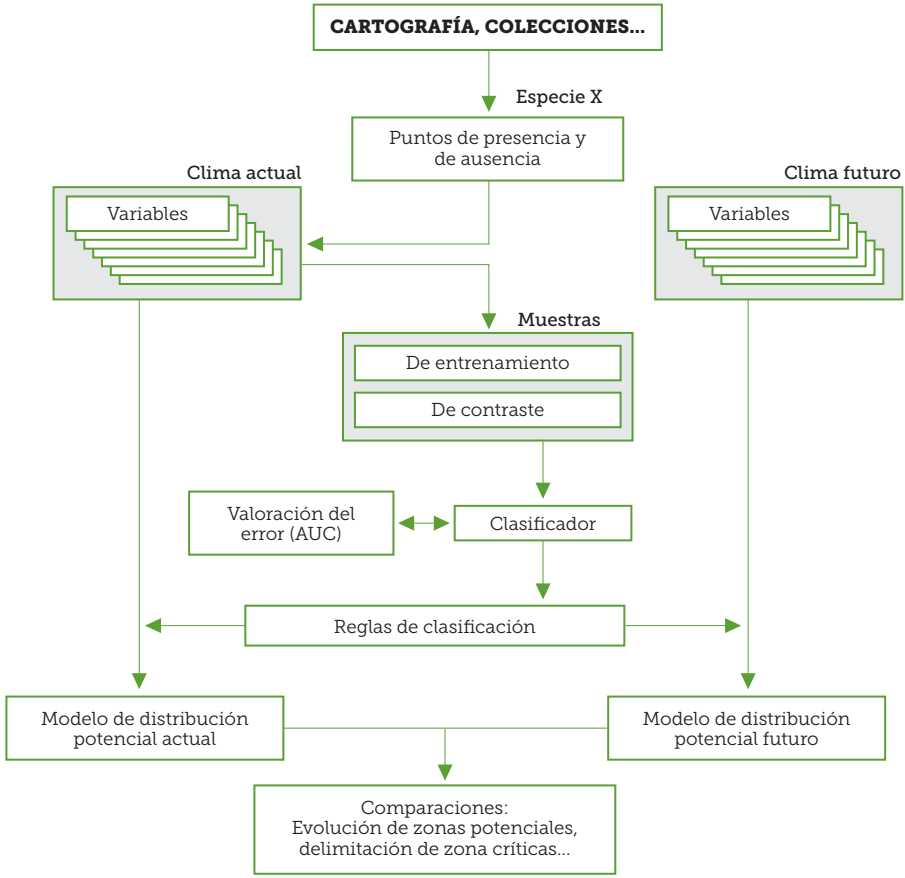
Para el análisis de la distribución potencial actual y futura para cultivos de café y cacao, se usó la metodología de modelado de nichos ecológicos y su representación en la distribución potencial de la especie. Se aplicó el método y el *software* Maxent[11].

Maxent es un software diseñado para el análisis predictivo, que contiene archivos cartográficos y características ambientales específicas. Emplea un archivo de entrada de coordenadas de distribución de especies que es evaluado, junto con un grupo de variables ambientales, para dar como resultado la posible distribución potencial de la especie. Así, se obtienen mapas predictivos para visualizar la distribución potencial de las especies bajo el entorno actual o futuro.

MaxEnt es un método basado en máxima entropía para el modelamiento de la distribución geográfica de especies, que usa solo datos de presencia de una especie (Phillips et al., 2006). No requiere de datos de ausencia. Puede utilizar variables continuas como categóricas. El producto obtenido de este proceso se interpreta como el grado relativo de adecuación, es decir, como la medida donde un lugar es adecuado para la presencia de la especie.

[11] Software Maxent. En http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/

Figura 3. **Flujo del modelamiento de la distribución actual y futura para cultivos de café y cacao**



Fuente. Mateo, Rubén G; Felicísimo, Ángel M; & Muñoz, Jesús. (2011). *Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética.*

a) Selección de variables

Para el modelamiento espacial se tomó en cuenta las condiciones climáticas y edáficas de ambos cultivos (Tablas 1y 2). Para seleccionar las variables que expliquen mejor la presencia de los cultivos de café y cacao, se realizó un análisis de correlación de las variables generando un dendrograma con las variables agrupadas en ramas, lo que permitió elegir las variables menos correlacionadas.

Con la priorización de variables, se calculó el VIF (*Variance Inflation Factor*) que permitió determinar qué variables eran explicadas por otra.

b) Base de datos para el modelamiento

Las variables bioclimáticas utilizadas provienen de la base de datos de WorldClim[12] que está en formato ráster con una resolución espacial (tamaño de la grilla) de 1 km^2 aproximadamente. De esta base se derivan 19 variables bioclimáticas.

Las variables edáficas textura y pH provienen de la web de SoilGrids[13], donde se descargaron archivos grillados con porcentajes de arcilla, limo y arena. Se generó la capa de clases texturales basados en la clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

La variable fisiográfica pendiente fue generada usando un modelo de elevación digital de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM)[14]. Los valores de la pendiente están representados en porcentaje.

c) Datos de presencia de café y cacao

El modelamiento se basa en el principio de la distribución estimada de una especie, que coincide con la distribución conocida a partir de las condiciones ambientales donde ha sido observada (Método MaxEnt).

Para realizar el modelamiento se utilizan coordenadas de distribución. A continuación, se comparte la base cartográfica según cada cultivo.

- Café: La información georreferenciada de parcelas individuales de productores de café en las regiones de Amazonas, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, Pasco, Piura, Puno, San Martín y Ucayali se obtuvo del Programa Nacional de Renovación de Cafetales (PNRC) del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI).
- Cacao: Para el caso del cacao, se usaron los centroides de los Sectores de Empadronamiento Agropecuario (SEA[15]). Los centroides también fueron filtrados en función del tamaño de la grilla de las variables ambientales.

En ambos casos se realizó un filtro de

[12] WordClim Maps, graphs, tables and data of the global climate. En: https://www.worldclim.org/

[13] SoilGrids. En: https://soilgrids.org/

[14] Misión Topográfica Shuttle Radar. En: http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/

[15] Sectores de Empadronamiento Agropecuario. Es la superficie ubicada íntegramente en un distrito político administrativo y delimitado por accidentes naturales o artificiales de fácil identificación en el terreno y en los planos (ríos, caminos, líneas férreas, acequias, etc.). MINAGRI Programa Nacional de Renovación de Cafetales (PNRC), 969 pp.

información y no fueron seleccionadas las parcelas que se encontraban muy cercanas entre sí. Solo debe haber un punto en un pixel, teniendo en cuenta el tamaño de las grillas del archivo de las variables ambientales (aproximadamente 1 km). Tampoco fueron consideradas las parcelas con coordenadas erradas.

d) Datos climáticos futuros

Las predicciones se realizan en base a las variables ambientales seleccionadas para la creación del modelo. Estas variables son dependientes de la especie.

Los datos climáticos estimados al 2050 fueron los promedios de dos Modelos de Circulación General (CGM)[16], el HadGEM2-ES y el ACCESS1-0. Estos modelos fueron seleccionados porque se ajustan mejor a la dinámica climática de Sudamérica. Se usaron dos escenarios de emisión y concentración de GEI: RCP 4.5 (escenario moderado) y RCP 8.5 (escenario de altas emisiones). Los datos climáticos de base se obtuvieron de WorldClim.

La distribución potencial actual del café para los seis departamentos presenta 589 212 ha y la distribución potencial futura al 2050 en el escenario RCP 8.5 presenta 548 853 ha efectivas. Esto significa una disminución de un 7 % del potencial productivo estimado (40 358 00 ha).

Tabla 3. **Modelos de circulación global usados**

MODELO	PAÍS	INSTITUCIÓN	ESCENARIOS
ACCESS1-0	Australia	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia) y BOM - Bureau of Meteorology (Australia).	RCP4.5, RCP8.5
HadGEM2-ES	Reino Unido	Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	

[16] Cámara del Café y Cacao, centroides de los Sectores de Empadronamiento Agropecuario (SEAS), 555 pp.

e) Modelamiento de la distribución potencial actual y futura para cultivos de café y cacao

Se crearon o editaron las variables en función de los recursos y aptitudes cartográficas que se dispongan. La premisa fundamental que permite analizar estas variables bajo el entorno de Maxent es que todas deben presentar los mismos valores de resolución, así como límites espaciales.

Para el modelamiento del café

Con las variables se realizaron las siguientes transformaciones matemáticas: linear, cuadrática y producto. Se tomó una muestra aleatoria del 30 % de los puntos de presencia de parcelas y el número máximo de iteraciones fue 2000. El umbral usado fue el percentil 10 de los puntos de entrenamiento para generar el mapa binario (Anexo 3). Las variables seleccionadas para el cultivo del café fueron cinco:

- BIO11 = Temperatura promedio del trimestre más frío
- BIO17 = Precipitación del trimestre más seco
- pH
- Pendiente
- Textura (ingresada como variable categórica).

Para el modelamiento del cacao

Con las variables se realizaron las siguientes transformaciones matemáticas: linear, cuadrática, producto y *hinge*. Se tomó una muestra aleatoria de 30 % de los puntos de presencia de centroides de los SEA y el número máximo de iteraciones fue 1500. El umbral usado fue el percentil 10 de los puntos de entrenamiento para generar el mapa binario (Anexo 3). Se seleccionaron 6 variables para el cultivo del cacao:

- BIO5 = Temperatura máxima del mes más caliente
- BIO14 = Precipitación del mes más seco
- BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo
- pH
- Pendiente
- Textura

Los modelamientos realizados para café y cacao muestran un performance mejor que el esperado por el azar (AUC = 0.5). Esto se muestra en la curva ROC (AUC) que tienen valores por encima de 0.90. Para la data de entrenamiento y para la data de testeo los valores de AUC son mayores que 0.90 (Anexo 2).

El modelamiento de la distribución potencial para cultivos de café y cacao se realizó a nivel nacional, identificando el nicho ecológico para ambos cultivos. Posteriormente se realizó un análisis más detallado para los departamentos de Cusco, Madre de Dios, Ucayali, Huánuco, Junín y Pasco para identificar la superficie potencial efectiva donde, en términos legales, es posible realizar la actividad. Para ello se excluyeron las áreas que tienen categorías de uso no

aptas para realizar actividades agrícolas o agroforestales, como son las ANP, los territorios indígenas, concesiones de conservación y bosques[17]. Además, se excluyeron las categorías de uso de la ZEE[18] de los seis departamentos, donde no corresponde realizar estas actividades. Este análisis detallado se realizó con la finalidad de identificar las zonas y el área efectiva con potencial para la distribución actual y futura para cultivos de café y cacao.

[17] MINAM, 2000. Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/No Bosque. Lima. 120 p.
En: http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php#download

[18] Zonificación Ecológica Económica de la Región de Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Ucayali y de la provincia de Oxapampa que corresponden a zonas productivas, zonas de recuperación y zonas de tratamiento especial.

5.3 Determinación del área efectiva de la distribución actual y futura para cultivos de café y cacao para los departamentos de Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Pasco y Ucayali

Para este modelamiento incorporamos el concepto de área efectiva debido a la necesidad de ubicar las zonas donde el café y cacao tiene condiciones ambientales favorables, pero además presenta condiciones legales para su establecimiento.

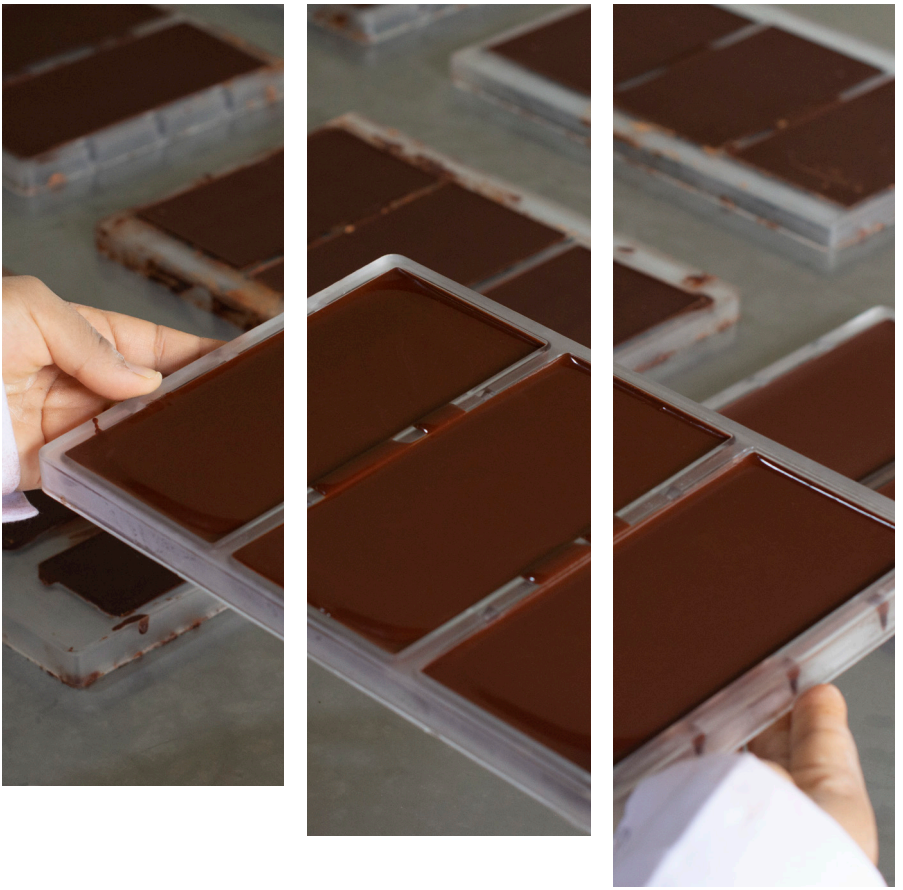
Para establecer el área efectiva de la distribución actual y futura de cada cultivo a los resultados del modelamiento del nicho ecológico para los seis departamentos, se excluyeron las áreas que tienen categorías de uso no aptas para realizar actividades agrícolas o agroforestales, como lo son ANP, los territorios indígenas, concesiones de conservación y bosques[19].

Se excluyeron las categorías de uso de la ZEE[20] de los seis departamentos, donde no corresponde realizar estas actividades, es decir, zonas de protección y conservación ecológica y zonas urbanas o industriales. Con las tres categorías restantes de la ZEE donde está permitida la actividad (zonas productivas, zonas de recuperación y zonas de tratamiento especial) se realizó una selección de las zonas donde potencialmente podrían estar los cultivos de café y cacao en base al nicho ecológico. Se revisó cada documento de las ZEE y se tomó en cuenta las alternativas de uso (usos recomendables y usos con recomendaciones con restricciones). En algunos casos, en los documentos de las ZEE se mencionaba el cultivo de café y cacao. También se tomó en cuenta la descripción climática de las zonas (cuando las había). Además, se consideró las CCNN donde se promueve estos cultivos y donde se encuentran las parcelas resilientes del proyecto Amazonía Resiliente. Este análisis detallado se realizó con la finalidad de identificar el área efectiva con potencial para la distribución actual y futura para cultivos de café y cacao.

Para este modelamiento incorporamos el concepto de área efectiva debido a la necesidad de ubicar las zonas donde el café y cacao tiene condiciones ambientales favorables, pero además presenta condiciones legales para su establecimiento.

[19] MINAM, 2000. Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/No Bosque. Lima. 120 p.
En: http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php#download

[20] Zonificación Ecológica Económica de la Región de Cusco, Huánuco, Junín, Madre de Dios, Ucayali y de la provincia de Oxapampa que corresponden a zonas productivas, zonas de recuperación y zonas de tratamiento especial.



6 RESULTADOS

6.1. Cultivo del café

a) Distribución potencial actual del café a nivel nacional en base al nicho ecológico

En términos nacionales, los resultados del modelamiento indican que, sin considerar las diferentes categorías de uso del territorio, a nivel nacional se tiene un área potencial actual de café de 11 584 382 ha.

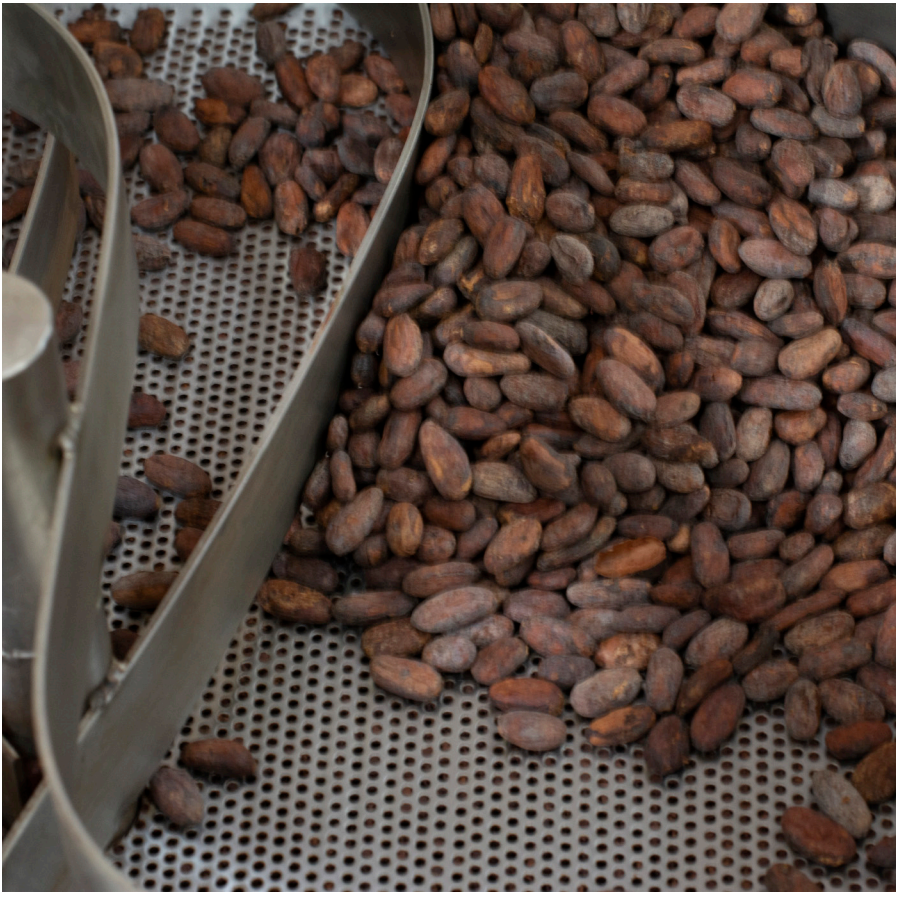
Los departamentos que actualmente tie-

nen las mayores probabilidades de contar con las mejores condiciones para el cultivo del café expresado en área son: San Martín (20 %), Junín (14 %), Cusco (13 %), Amazonas (12 %), Cajamarca (8 %), Huánuco (8 %) y Pasco (8 %). En la Figura 4 se muestra la distribución potencial actual de café; el umbral usado fue el percentil 10 de los puntos de entrenamiento (ver ítem 3.e). Este mapa presenta las zonas que reúnen las mejores condiciones ambientales basadas en los puntos de presencia usados.

Figura 4. **Modelamiento de la distribución potencial actual de café a nivel nacional según nicho ecológico**

b) Distribución potencial futura del café a nivel nacional sobre la base del nicho ecológico

A nivel nacional se observa que la distribución potencial futura al año 2050 disminuye en términos de superficie para el escenario de emisión y concentración de GEI (RCP 8.5). Cabe indicar que estos resultados a nivel nacional representan el nicho ecológico del café, considerando las características ambientales y físicas óptimas para el desarrollo del café. Esta estimación no considera la exclusión de las áreas que tienen categorías de uso donde no está permitido el cambio de uso



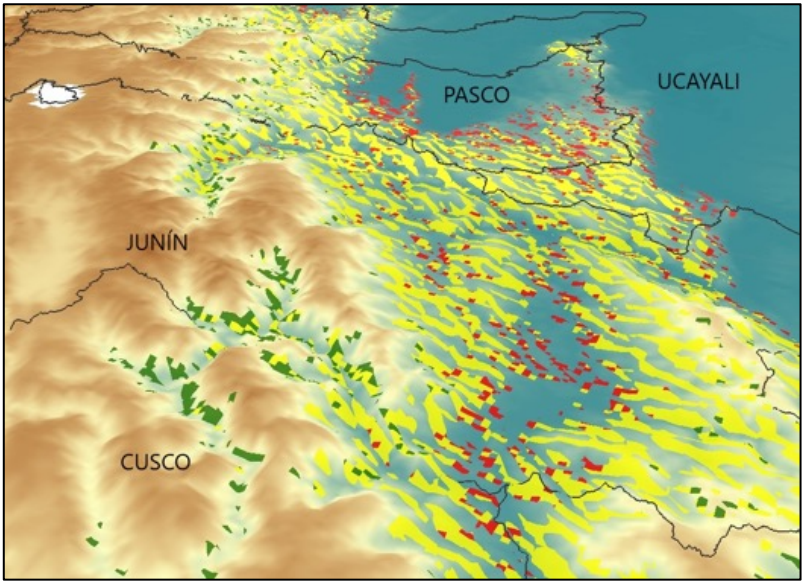
de la tierra, como las ANP, los territorios indígenas, las concesiones forestales o de conservación, entre otros.

El modelamiento indica que para el café al 2050, en el escenario de altas concentraciones RCP 8.5, se contará con una distribución potencial futura de 11 551 356 ha, estimándose una disminución en términos del potencial ambiental de 33 026 ha respecto al potencial actual estimado (Figura 5).

Figura 5. **Modelamiento de la distribución potencial futura del café a nivel nacional, según nicho ecológico al 2050 (RCP8.5)**

El modelamiento de la distribución potencial actual se desarrolla a una altitud promedio de 1391 m s. n. m., lo que indica que hay una variación en la ubicación del café hacia cotas altitudinales ubicadas en una altitud mayor (Figura 6).

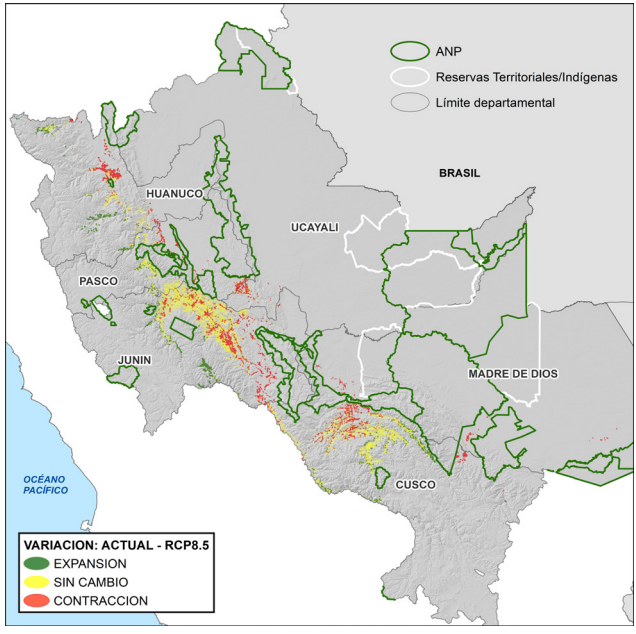
Figura 6. **Variación de altitud del café en la distribución actual y futura de acuerdo con los escenarios climáticos**



c) Distribución potencial actual y potencial futura efectiva para el cultivo de café en Cusco, Ucayali, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Junín

El análisis detallado para los departamentos de Cusco, Madre de Dios, Ucayali, Huánuco, Junín y Pasco permite identificar la superficie potencial actual y futura del café en términos efectivos. Para ello se excluye las áreas donde no está permitido realizar esta actividad productiva, y donde no se alinea a una agricultura climáticamente inteligente. Los resultados de este modelamiento muestran la misma tendencia a la disminución que la identificada a nivel nacional. La distribución potencial actual para el cultivo de café para los seis departamentos presenta 589 212 ha y la distribución potencial futura al 2050 en el escenario RCP 8.5 presenta 548 853 ha efectivas. Esto significa una disminución de 40 358 ha que presenta un 7 % del potencial productivo estimado.

Figura 7. **Variación de la distribución potencial efectiva actual y futura para el cultivo de café al 2050 (RCP8.5)**



La Figura 7 muestra el modelamiento con una superposición de las distribuciones efectivas actuales y futuras, bajo el escenario de altas concentraciones de GEI RCP 8.5. Debe entenderse que las **zonas sin cambios** son las áreas que, tanto en la distribución potencial actual y futura, conservarán las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo del café.

Las **zonas de contracción** son las áreas que presentarán una variación en las condiciones ambientales para el cultivo del café. Esto significa que, si bien existen superficies efectivas como parte de la distribución potencial actual, hay una alta probabilidad de no encontrar superficies efectivas con aptitudes óptimas para el cultivo del café en la distribución futura.

Las **zonas de expansión** son áreas que en la actualidad no tienen las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo del café, pero en el escenario futuro contarán con óptimas áreas para su desarrollo.

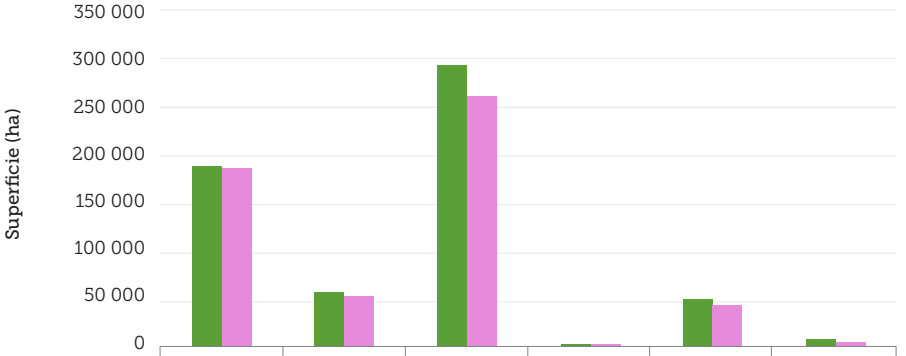
Las áreas en verde son las zonas en expansión, en amarillo son las zonas sin cambio y en rojo son las zonas de contracción de las áreas de cultivo del café. La **distribución actual potencial** para cultivos de café es la suma de las ***zonas sin cambio*** y las ***zonas en contracción***; y las **distribuciones potenciales futuras** son la suma de las ***zonas sin cambio*** y las ***zonas en expansión.***

Al comparar las superficies de la distribución potencial efectiva actual y la distribución potencial efectiva al 2050 por departamento, se observa, en todos los casos, una disminución de la superficie de la distribución potencial futura del café en el escenario RCP 8.5. En términos potenciales, los departamentos que presentan mayores disminuciones del área potencial para el cultivo del café son Madre de Dios con el 100 % y Ucayali con el 40 % (Tabla 4 y Figura 8).

Tabla 4. **Distribución potencial efectiva actual y futura para el cultivo de café al 2050 en el escenario RCP 8.5 por departamentos (ha)**

DEPARTAMENTO	Distribución potencial (ha)		Variación	
	Actual	Futura	ha	%
Cusco	187 149	186 208	-941	-0,5 %
Huánuco	57 344	52 457	-4887	-8,5 %
Junín	292 275	262 334	-29 940	-10,2 %
Madre de Dios	574	-	-574	-100 %
Pasco	45 957	44 254	-1703	-3,7 %
Ucayali	5915	3601	-2314	-39,1 %
Total	**589 213**	**548 855**	**-40 357**	**-7%**

Figura 8. **Variación de las áreas potenciales efectivas para el cultivo del café en 6 departamentos del Perú, al 2050 (RCP8.5)**



	Cusco	Huánuco	Junín	Madre de Dios	Pasco	Ucayali
ACTUAL	187 149	57 344	292 275	574	45 957	5915
RCP 8.5	186 208	52 457	262 334	1	44 254	3601
Variación %	-1 %	-9 %	-10 %	-100 %	-4 %	-39 %

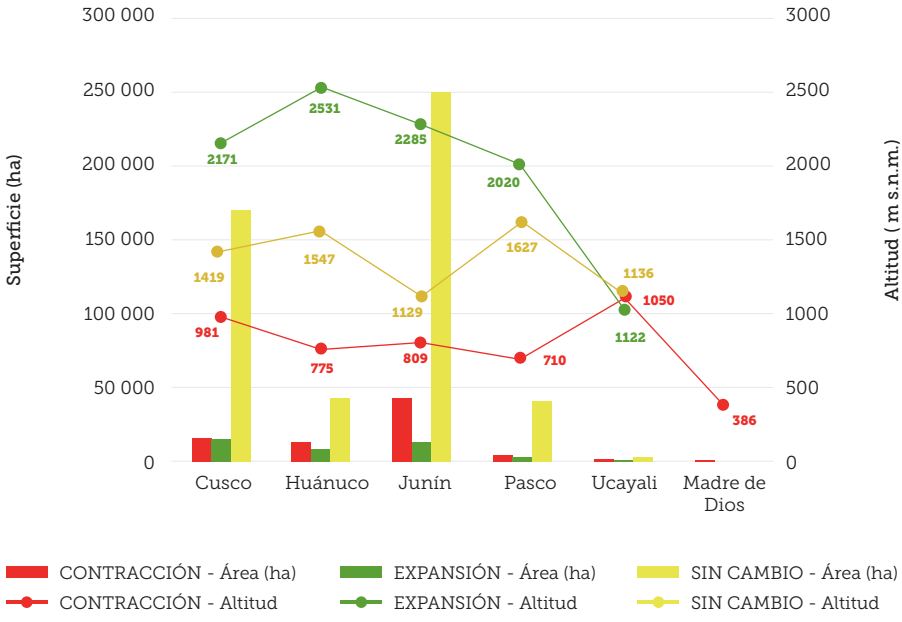
En términos de superficie en el escenario de alta concentración de emisiones (RCP 8.5), el departamento con mayor superficie de contracción (reducción de las condiciones ambientales adecuadas) sería Junín con 29 940 ha, seguido de Huánuco con 4887 y Ucayali 2314.

Madre de Dios que presentaba una zona de 572,91 ha en el distrito del Manu (Anexo 4), hacia el 2050, en el RCP 8.5, pierde las condiciones ambientales, siendo estas áreas adecuadas para el cultivo del café.

Respecto a la variación de la altitud, la distribución potencial futura para del cultivo del café, l se ubicaría en zonas con mayor altitud, según datos analizados. Cinco departamentos, a excepción de Ucayali, presentarán zonas con potencial ambiental para el cultivo de café por encima del rango altitudinal actual para este cultivo[21]. De igual manera, se observa la disminución en las zonas más bajas de todos los departamentos.

[21] CIIA, 2017. Impactos del CC sobre la cadena de valor del Café en el Perú. Lima. 55 p. / Solidaridad, 2016. Café Climáticamente Inteligente Café 2.0. Lima. 59 p. El rango de altitud de la distribución del café varía entre 800 y 1800 m s. n. m.

Figura 9. **Variación del área potencial efectiva actual y futura al 2050 y altitud para el cultivo del café en los 6 departamentos (RCP8.5)**



6.2. Cultivo del cacao

a) Distribución potencial actual del cacao a nivel nacional sobre la base del nicho ecológico

Los resultados del modelamiento indican que, en términos nacionales, sin considerar las diferentes categorías de uso del territorio a nivel nacional, se tiene un área potencial actual de cacao de 18 333 117 ha.

Actualmente, los departamentos que tienen las mayores probabilidades de contar con las mejores condiciones para el cultivo del cacao expresado en área son: San Martín (19 %), Amazonas (13 %), Loreto (12 %) y Cusco (11 %). En la Figura 10, se muestra la distribución potencial actual del cacao. El umbral usado fue el percentil 10 de los puntos de entrenamiento (ver ítem 3.e). Esta figura presenta las zonas que reúnen las mejores condiciones ambientales basadas en los puntos de presencia usados.

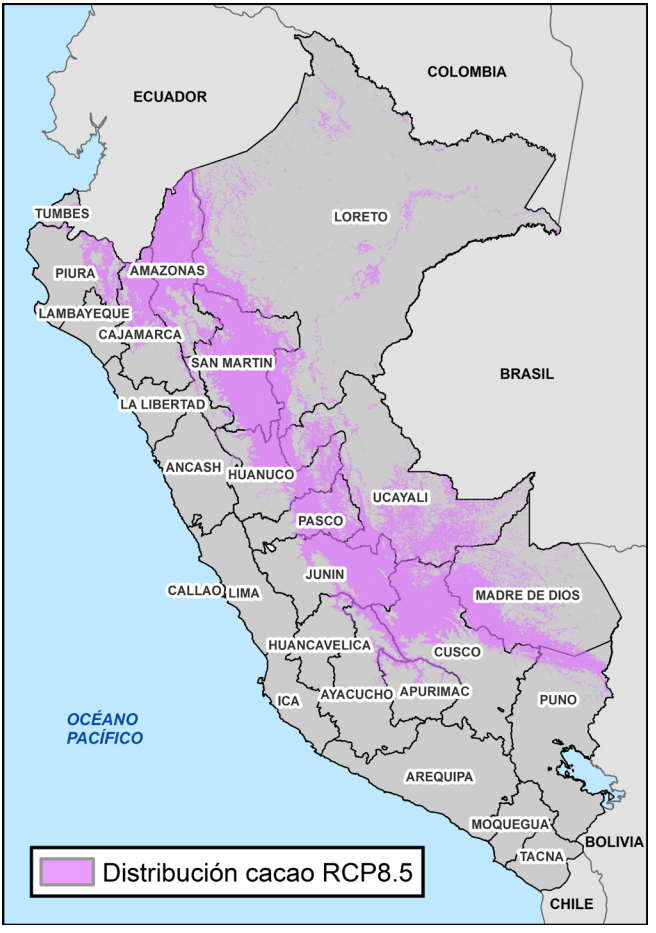
Figura 10. **Modelamiento de la distribución potencial actual para el cultivo del cacao a nivel nacional según nicho ecológico**

b) Distribución potencial futura del cacao a nivel nacional en base al nicho ecológico

A nivel nacional se observa que la distribución potencial futura al año 2050 aumenta en términos de superficie para el escenario de emisión y concentración de GEI (RCP 8.5). A nivel nacional, cabe indicar que estos resultados representan el nicho ecológico del cacao, considerando las características ambientales y físicas óptimas para el desarrollo de este. Esta estimación no considera la exclusión de las áreas que tienen categorías de uso, donde no está permitido el cambio de uso de la tierra, como las ANP, los territorios indígenas, las concesiones forestales o de conservación, entre otros.

El modelamiento para el cacao al 2050 indica que se contará con una distribución potencial futura de 28 351 181 ha en el escenario de altas concentraciones RCP 8.5, estimándose un incremento en términos del potencial ambiental de 10 018 064 ha respecto al potencial actual estimado.

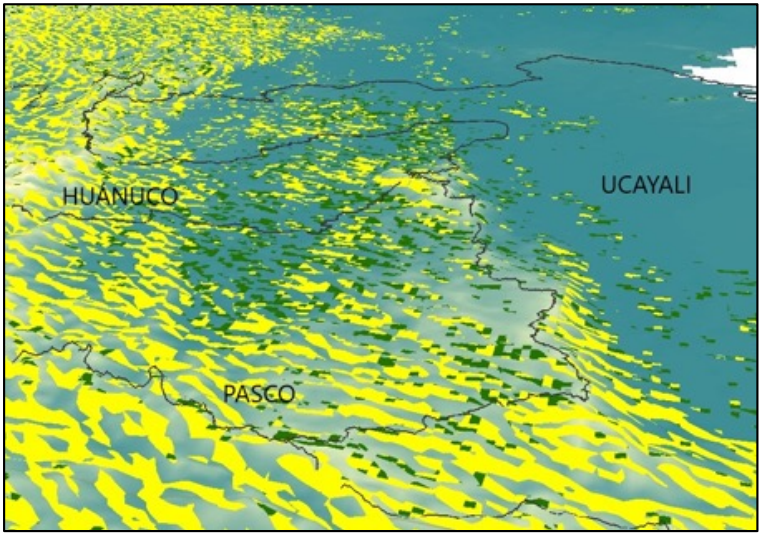
Figura 11. **Modelamiento de la distribución potencial futura para el cultivo del cacao a nivel nacional según nicho ecológico al 2050 (RCP8.5)**



A nivel nacional se encuentra que la distribución potencial futura del cacao se desarrolla en una altitud promedio en el escenario RCP 8.5 en 957 msnm. El modelamiento de la distribución potencial actual se desarrolla a una altitud promedio de 888 m s. n. m., lo que nos indica que hay una variación en la ubicación del cacao hacia cotas altitudinales ubicadas en una altitud menor (Figura 12).

La distribución potencial actual del cacao para los seis departamentos presenta 963 144 ha, y la distribución potencial futura al 2050 en el escenario RCP 8.5 presenta 1 160 467 ha efectivas. Esto significa un incremento de 197 323 ha que presenta un 20 %

Figura 12. **Variación de altitud del cacao en la distribución actual y futura de acuerdo con los escenarios climáticos**



c) Distribución potencial actual y potencial futura efectiva para el cultivo de cacao en Cusco, Ucayali, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Junín

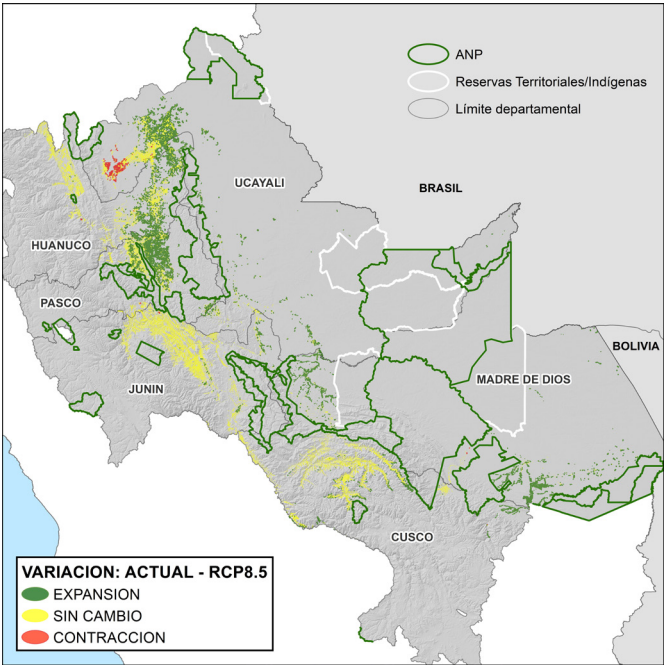
El análisis detallado en los departamentos de Cusco, Madre de Dios, Ucayali, Huánuco, Junín y Pasco permite identificar la superficie potencial actual y futura para el cultivo de cacao en términos efectivos. Para ello se excluye las áreas donde no está permitido realizar esta actividad productiva, ni se alinea a las actividades características de una agricultura climáticamente inteligente, que incluyen un enfoque de conservación de bosques. Los resultados de este modelamiento nos muestran la misma tendencia al incremento que la identificada a nivel nacional. La distribución potencial actual del cacao para los seis departamentos presenta 963 144 ha, y la distribución potencial futura al 2050 en el escenario RCP 8.5 presenta 1 160 467 ha efectivas. Esto significa un incremento de 197 323 ha que presenta un 20 % del potencial productivo estimado.

La Figura 13 muestra el modelamiento con una superposición de las distribuciones efectivas actuales y futuras, bajo el es-

cenario de altas concentraciones de GEI RCP 8.5. Debe entenderse que las **zonas sin cambios** son las áreas que, tanto en la distribución potencial actual y futura, conservarán las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo del cacao. Las **zonas de contracción** son las áreas que presentarán una variación en las condiciones ambientales para el cultivo del cacao. Esto significa que, si bien existen superficies efectivas como parte de la distribución potencial actual, hay una alta probabilidad de no encontrar superficies efectivas con aptitudes óptimas para el cultivo del cacao en la distribución futura. Las **zonas de expansión** son áreas que en la actualidad no tenían las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo del cacao, pero en el escenario futuro contarán con las condiciones óptimas para su desarrollo.

Los departamentos que presentan mayores incrementos del área potencial al 2050 para el cultivo del cacao son: Madre de Dios con un incremento del 203 %, Pasco con el 58 %, Ucayali con el 48 % y Huánuco con 26 %.

Figura 13. **Distribución potencial efectiva actual y futura para el cultivo del cacao al 2050 (RCP8.5)**



Las áreas en verde son las zonas en expansión, en amarillo son las zonas sin cambio y en rojo son las zonas de contracción de las áreas de cultivo del café. La **distribución actual potencial** para cultivos de cacao es la suma de las ***zonas sin cambio*** y de las ***zonas en contracción***, y las **distribuciones potenciales futuras** son la suma de las ***zonas sin cambio*** y de las ***zonas en expansión***.

Al comparar las superficies de la distribución potencial efectiva actual y la distribución potencial efectiva al 2050 por departamento, se observa en todos los casos que la superficie de la distribución potencial futura del cacao en el escenario RCP 8.5 aumenta. En términos potenciales los departamentos que presentan mayores incrementos del área potencial para el cultivo del cacao respecto al área

con potencial actual efectiva son Madre de Dios con un incremento del 203 %, Pasco con el 58 %, Ucayali con el 48 % y Huánuco con 26 % (Tabla 5 y Figura 14).

En términos de superficie, en el escenario de alta concentración de emisiones (RCP 8.5), el departamento con mayor superficie de incremento (expansión de las condiciones ambientales adecuadas) sería Ucayali 60 169 ha, seguido de Huánuco con 50 446 ha y Pasco con 47 996 ha.

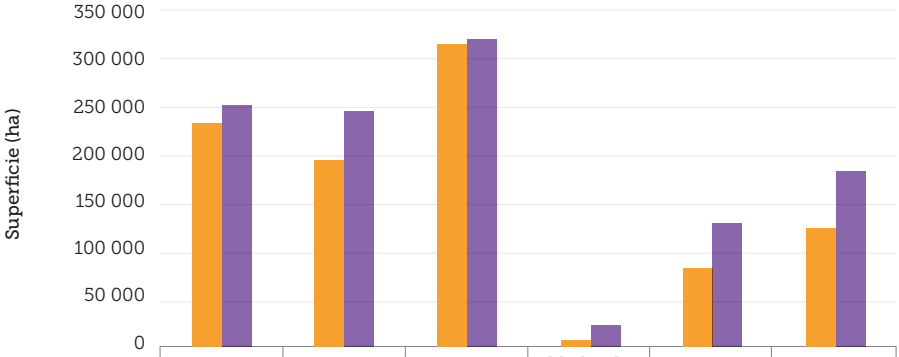
Tabla 5. **Distribución potencial efectiva actual y futura del cacao al 2050 en el escenario RCP 8.5 por departamentos (ha)**

DEPARTAMENTO	Distribución potencial (ha)		Variación	
	Actual	Futura	ha	%
Cusco	234 427	252 741	18 314	8
Huánuco	196 383	246 829	50 446	26
Junín	316 228	320 366	4138	1
Madre de Dios	8027	24 288	16 261	203
Pasco	83 207	131 203	47 996	58
Ucayali	124 871	185 040	60 169	48
Total	**963 144**	**1 160 467**	**197 323**	**20**

Respecto a la variación de la altitud, la distribución potencial futura para del cultivo del cacao se ubicará en los rangos actuales[22] de producción, con la excepción de Cusco que se ubicará entre 1371 y 1576 m s. n. m. Se observa también que los rangos altitudinales de las áreas de "expansión" están dentro del rango altitudinal actual del cultivo del cacao, es decir, existen altas probabilidades de que el cambio climático no modifique la distribución altitudinal de las áreas donde se cultiva este producto.

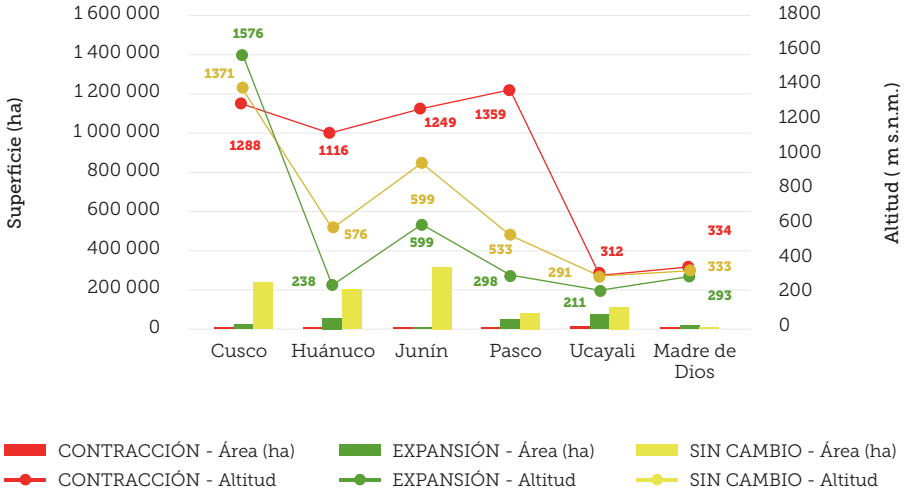
[22] El rango de altitud de la distribución del cacao varía entre 0 y 900 m s. n. m. (tomado de la Tabla 2)

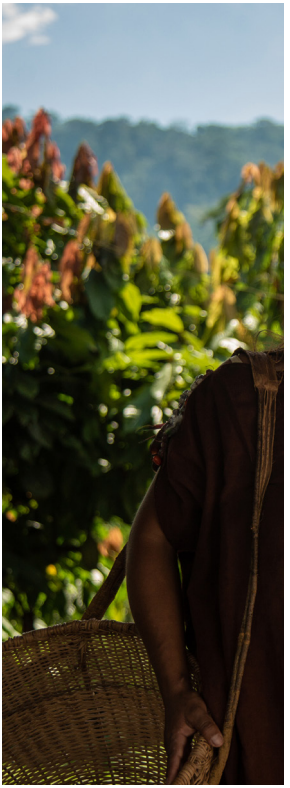
Figura 14. **Variación de las áreas potenciales efectivas para el cultivo del cacao en 6 departamentos del Perú, al 2050 (RCP8.5)**

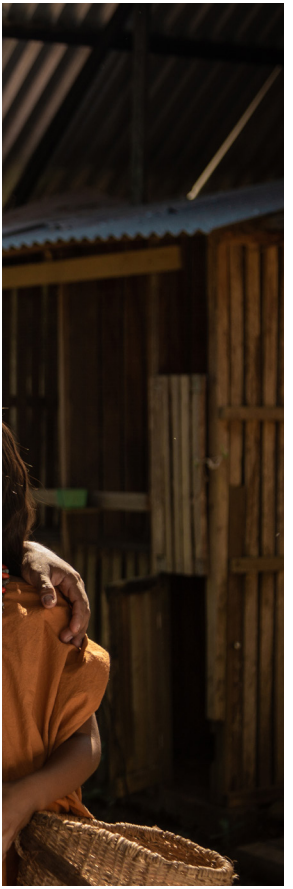


	Cusco	Huánuco	Junín	Madre de Dios	Pasco	Ucayali
ACTUAL	234 427	196 383	316 228	8027	83 207	124 871
RCP 8.5	252 741	246 829	320 366	24 288	131 203	185 040
Variación %	8 %	26 %	1 %	203 %	58 %	48 %

Figura 15. **Variación del área potencial efectiva actual y futura al 2050 y altitud para el cultivo del cacao en los 6 departamentos (RCP 8.5)**







7 CONCLUSIONES

El incremento de temperatura afectará a los sistemas productivos como el café y cacao y tendrá particularidades a nivel local. Con el cambio climático, la superficie potencial para el cultivo de café disminuirá al 2050, y para al cultivo del cacao la superficie potencial se incrementará.

A nivel nacional, la distribución potencial actual del café estimada en base al nicho ecológico y sin considerar las

diferentes categorías de uso del territorio muestra una disminución de 33 026 ha, respecto al potencial actual estimado al 2050 (superficie potencial actual 11 584 382 ha-futura 11 551 356 ha). Además, existirá una variación en la ubicación del café hacia cotas altitudinales mayores (altitud promedio actual 1391 m s. n. m.-futura 1587 m s. n. m.).

Para el caso del cacao a nivel nacional se estima un incremento de 10 018 064 ha respecto al potencial actual estimado al 2050 (superficie potencial actual de 18 333 117 ha-futura 28 351 181 ha). La altitud de las áreas potenciales para el cultivo del cacao presentará mucha variabilidad en el 2050.

Al 2050 para los departamentos de Cusco, Ucayali, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Junín, la distribución potencial efectiva del café presentará una disminución de 40 358 ha (reducción del 7 %). En los mismos departamentos, el escenario futuro del cacao se caracterizará por un incremento de 197 323,36 ha (aumento del 20 %) de la superficie potencial efectiva.

La distribución potencial de los cultivos modelados no implica su presencia en las zonas mapeadas. Esta señala que esos lugares tienen una alta probabilidad de contar con condiciones ambientales adecuadas; sin embargo, pueden existir otros factores que imposibiliten la presencia de estos cultivos.

Algunas limitaciones que presenta el estudio se orientan al uso de información secundaria. El modelamiento toma como punto de partida la ubicación o presencia de los cultivos, es decir, está sujeto a la calidad de estos puntos de presencia. En este sentido, la base de datos de parcelas de café presenta una mayor aproximación a la realidad que el caso del cacao, donde el modelamiento se realiza con áreas de referencia trabajadas a partir de centroides.

Finalmente se asume que, dada la velocidad del cambio climático, los requerimientos ambientales del café y cacao serán los mismos tanto en el presente como en el futuro. Es decir, este análisis no considera un proceso de adaptación de las especies debido al corto tiempo que se realizarán las variaciones en precipitación y temperatura.

Al 2050 para Cusco, Ucayali, Huánuco, Madre de Dios, Pasco y Junín, la distribución potencial efectiva del café presentará una reducción del 7 %. En los mismos departamentos, el escenario futuro del cacao se caracterizará por un aumento del 20 % de la superficie potencial efectiva.

8 RECOMENDACIONES

Las proyecciones de la potencial distribución actual y futura de los cultivos de café y cacao son el punto de partida para el diseño de iniciativas de adaptación. La información generada en este estudio permite orientar la focalización de las medidas de la adaptación de los sistemas productivos de café y cacao a las nuevas condiciones ambientales, y tomar decisiones estratégicas para la promoción o re-

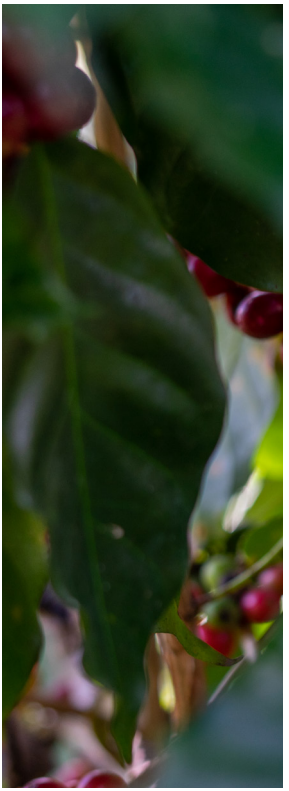
conversión de los sistemas productivos en el área efectiva con potencial distribución actual y futura en los departamentos de análisis.

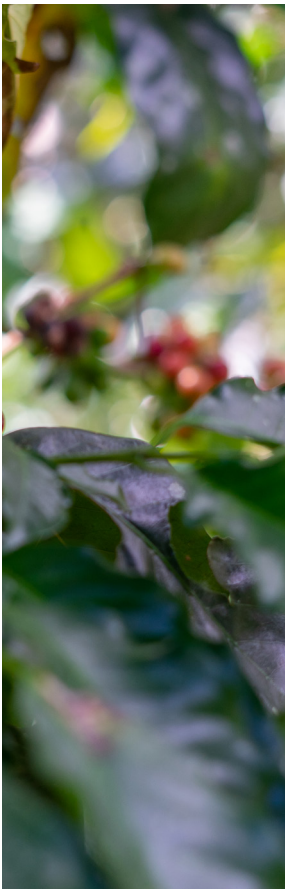
Para la estimación del escenario futuro se seleccionó el escenario RCP 8.5. De acuerdo con las proyecciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2020), que indica que la temperatura media anual mundial subirá probablemente al menos 1 °C durante los próximos cinco años respecto a los niveles preindustriales (1850-1900). Según las tendencias climáticas del futuro inmediato, existe una alta probabilidad de estar en el rango 1,4 a 2,6 °C de incremento de temperatura al 2050, pero este análisis debe actualizarse de acuerdo con el avance de las proyecciones climáticas y el establecimiento de los nuevos modelos de circulación a ser establecidos por el IPCC en el 2021.

Los resultados de este estudio están directamente relacionados a la base de datos de parcelas de distribución de los cultivos. Como se indicó para el caso del café se cuenta con una base de datos sólida que permite determinar dónde están ubicadas las parcelas de café a nivel nacional. Para el caso del cacao, se cuenta con áreas de referencia trabajadas a partir de centroides. Para el caso del cacao es importante generar a nivel nacional un registro de parcelas para una nueva estimación de la distribución presente y futura del cacao.

Otro aspecto para considerar son los procesos de ordenamiento territorial presentes y/o en cursos en el Perú, y en este caso nos referimos a la zonificación forestal. Durante el desarrollo de este estudio las regiones donde se implementa el proyecto no contaban con zonificación forestal concluida. Pese a ello, es importante considerar la integración de los resultados de este proceso para establecer una mejor precisión para las áreas efectivas potenciales presentes y futuras.

Según las tendencias climáticas del futuro inmediato, existe una alta probabilidad de estar en el rango 1,4 a 2,6 °C de incremento de temperatura al 2050, pero este análisis debe actualizarse de acuerdo con el avance de las proyecciones climáticas y el establecimiento de los nuevos modelos de circulación a ser establecidos por el IPCC en el 2021.





9 BIBLIOGRAFÍA

Barreto Schuler, C. W. (2016). *Comportamiento de la Alta de Bolivia hacia finales del siglo XXI bajo el escenario de emisión RCP8.5.* Universidad Nacional Agraria La Molina.

Benito, B. M.; Svenning, J. C.; Kellberg-Nielsen, T.; Riede, F.; Gil-Romera, G.; Mailund, T.; Kjaergaard, P. C.; & Sandel, B. S. (2016). *"The ecological niche and distribution of Neanderthals during the Last*

Interglacial". Journal of Biogeography, 44(1), 51-61.

Fick, S. E.; & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology 37 (12):* 4302-4315.

Gobierno Regional de Huánuco (2016). *Zonificación Ecológica y Económica base para el ordenamiento territorial de la región Huánuco. Provincias: Huánuco, Marañón, Leoncio Prado, Pachitea y Puerto Inca.*

Gobierno Regional de Junín (2015). *Memoria descriptiva. Zonificación ecológica y económica del departamento de Junín a nivel meso y escala 1:100 000.*

Gobierno Regional de Madre de Dios (2001). *Propuesta de zonificación ecológica y económica del departamento de Madre de Dios.*

Gobierno Regional de Pasco (2009). *Mesozonificación ecológica económica de la provincia de Oxapampa.*

Gobierno Regional de Ucayali (2017). *Zonificación ecológica y económica base para el ordenamiento territorial de la región Ucayali.*

Gobierno Regional del Cusco (2005). *Zonificación Ecológica y Económica departamento del Cusco.*

Hengl, T.; Mendes de Jesus, J.; Heuvelink, G. B. M.; Ruipérez González, M.; Kilibarda, M.; Blagotić, A.; Shangguan, W.; Wright, M. N.; Geng, X.; Bauer-Marschallinger, B.; Guevara, M. A.; Vargas, R.; MacMillan, R. A.; Batjes, N. H.; Leenaars, J. G. B.; Ribeiro, E.; Wheeler, I.; Mantel, S.; & Kempen, B. (2017). "SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning". *PloS One, 12(2),* e0169748.

Hutchinson G. E. (1957). "Concluding Remarks". *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 22:* 415- 422.

Mateo, Rubén G.; Felicísimo, Ángel M.; & Muñoz, Jesús (2011). "Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética". *Revista chilena de historia natural, 84(2),* 217-240. En: https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008

Merow, C.; Smith, M. J.; & Silander, Jr., J. A. (2013). "A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter". *Ecography 36:* 1058-1069.

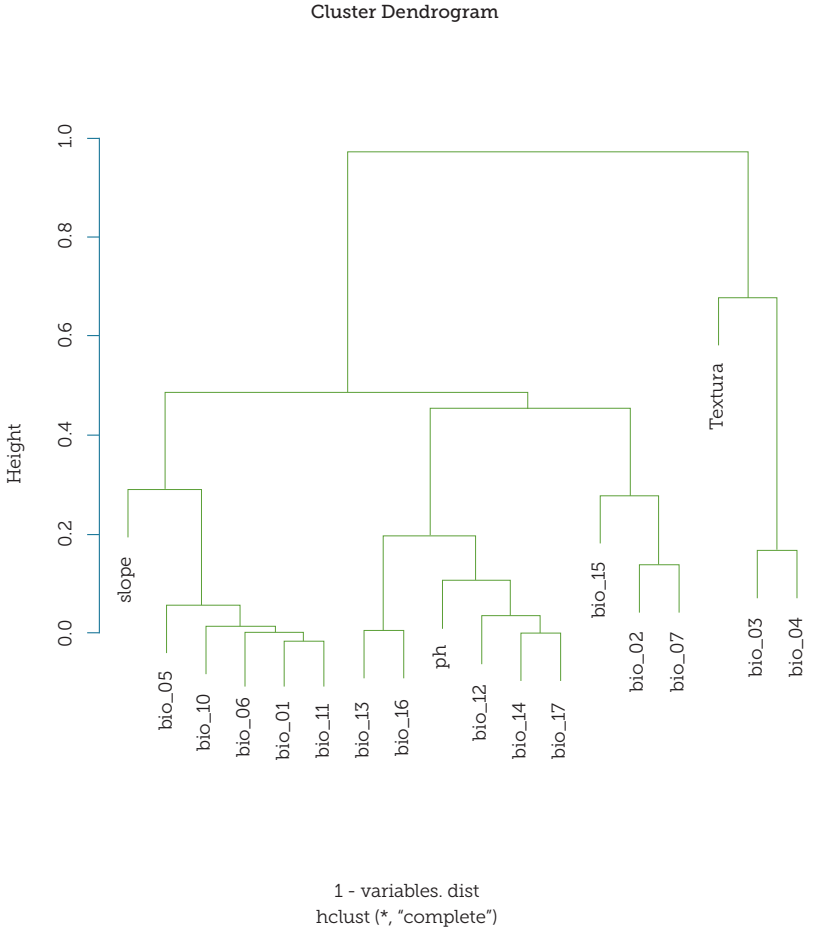
MINAM (2018). *Pérdida de bosque 2001-2018* (ráster). En: http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxxe345w34gg.

Phillips, S. J.; Anderson, R. P.; & Schapire, R. E. (2006). "Maximum entropy modeling of species geographic distributions". *Ecological Modelling, 190:* 231-259.

Robiglio, V.; Baca, M.; Donovan, J.; Bunn, C.; Reyes, M.; Gonzáles, D.; & Sánchez, C. (2017). *Impacto del cambio climático sobre la cadena de valor del café en el Perú.* Oficina Regional para América Latina - ICRAF, Lima y Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, Cali, Colombia.

10 ANEXOS

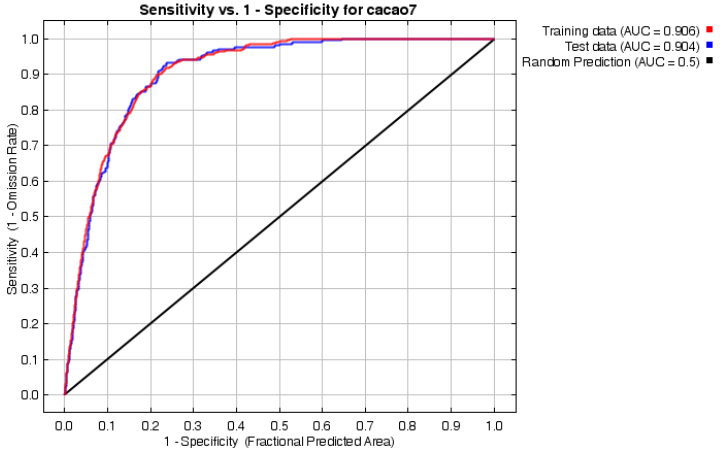
Anexo 1. Modelo de dendrograma para la selección de variables (ejemplo: café)



Anexo 2. Performance de modelamiento café y cacao

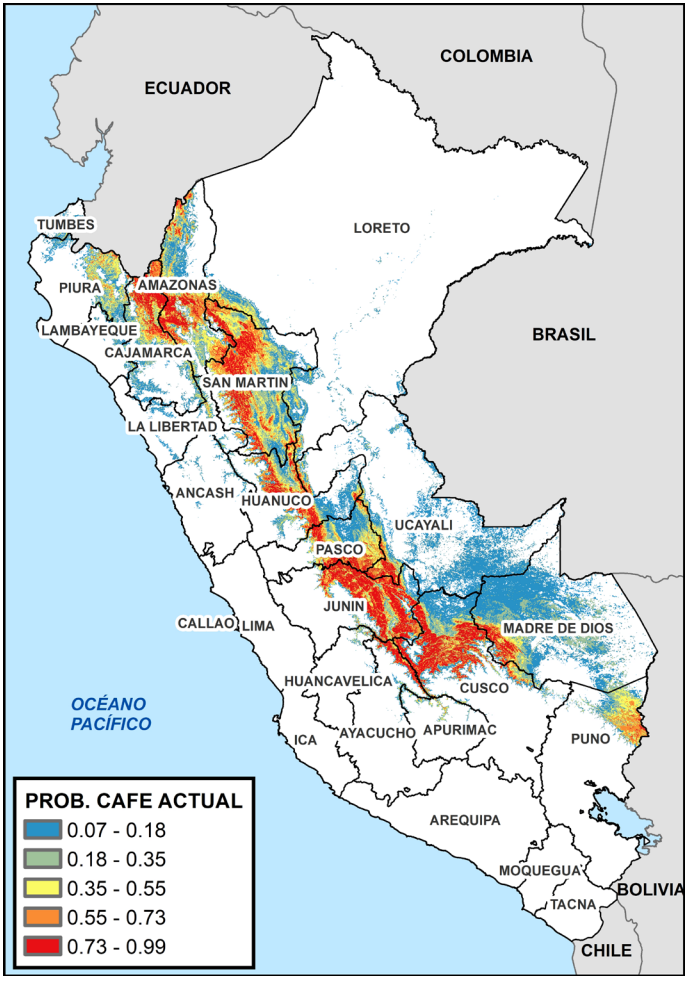
Área bajo la curva AUC para café

Área bajo la curva AUC para cacao

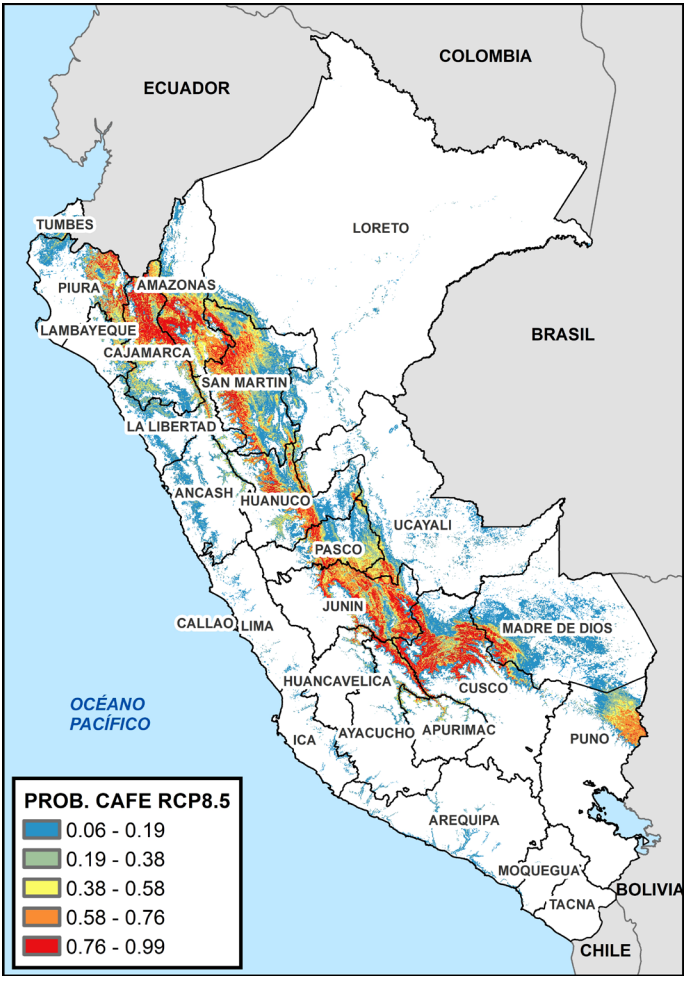


Anexo 3. Probabilidades de distribución actual y futura a nivel nacional para el café y cacao

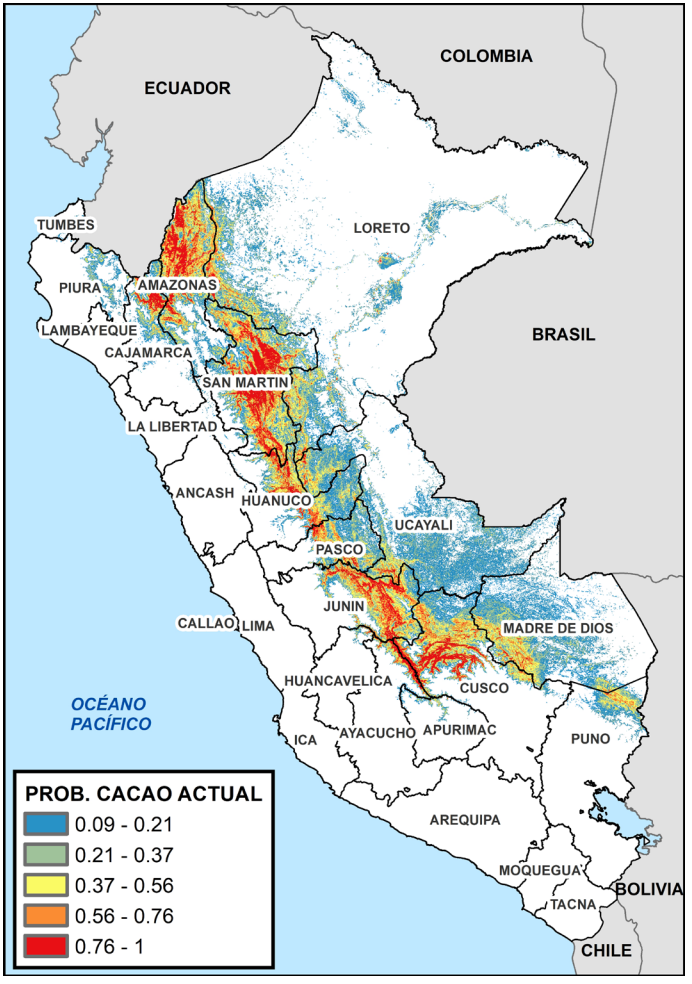
Mapa de probabilidad de distribución potencial actual del café



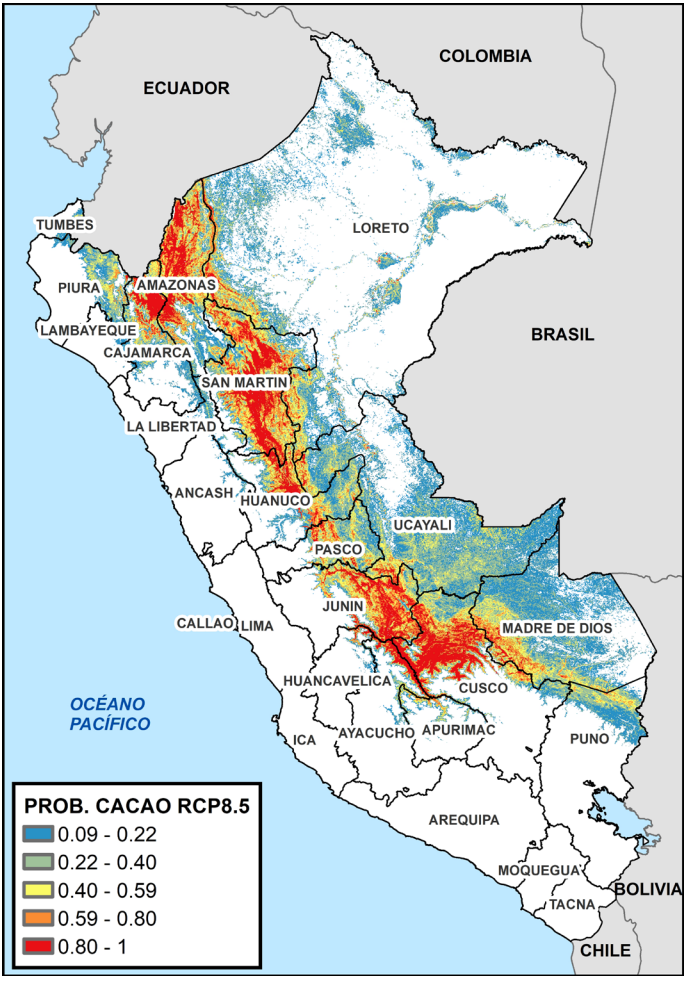
Mapa de probabilidad de distribución potencial futuro RCP 8.5 del café



Mapa de probabilidad de distribución potencial actual del cacao



Mapa de probabilidad de distribución potencial futura RCP 8.5 del cacao



Anexo 4. Datos del modelamiento Superficies de las zonas de cambio de áreas potenciales: variación actual-futura (contracción, expansión y sin cambio) para cultivos de café para los seis departamentos (2050 RCP 8.5)

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE (ha)								
	Contracción			Expansión			Sin cambio		
	C-CC	ZEE	Δ %	C-CC	ZEE	Δ %	C-CC	ZEE	Δ %
Cusco	18 620	15 833	-15%	24 537	14 891	-39%	230 787	171 316	-26%
Huánuco	21 169	13 610	-36%	56 688	8723	-85%	108 518	43 734	-60%
Junín	52 037	43 201	-17%	34 289	13 261	-61%	311 860	249 073	-20%
Madre de Dios	861	573	-33%	0	0	0	0	0	0
Pasco	11 251	4376	-61%	10 023	2674	-73%	80 187	41 581	-48%
Ucayali	6940	2314	-67%	107	0	-100%	17 700	3601	-80%
Total	**110 877**	**79 908**	**-28%**	**125 644**	**39 550**	**-69%**	**749 054**	**509 306**	**-32%**

Anexo 5. Datos del modelamiento Superficies de las zonas de cambio de áreas potenciales: variación actual-futura (contracción, expansión y sin cambio) para cultivos de cacao para los seis departamentos (2050 RCP 8.5)

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE (ha)								
	Contracción			Expansión			Sin cambio		
	C-CC	ZEE	Δ %	C -CC	ZEE	Δ %	C-CC	ZEE	Δ %
Cusco	31	29	-5%	28 923	18 343	-37%	306 166	234 397	-23%
Huánuco	241	156	-35%	82 971	50 603	-39%	320 673	196 226	-39%
Junín	225	151	-33%	5834	4289	-26%	396 100	316 078	-20%
Madre de Dios	41	40	-2%	21 679	16 301	-25%	10 041	7987	-20%
Pasco	264	74	-72%	52 284	48 070	-8%	127 535	83 133	-35%
Ucayali	17 839	14 821	-17%	122 378	74 989	-100%	173 187	110 050	-36%
Total	**18 643**	**15 272**	**-18%**	**314 069**	**212 595**	**-32%**	**1 333 702**	**947 872**	**-29%**

PERÚ
Ministerio
del Ambiente

SERNANP

gef

P N
U D