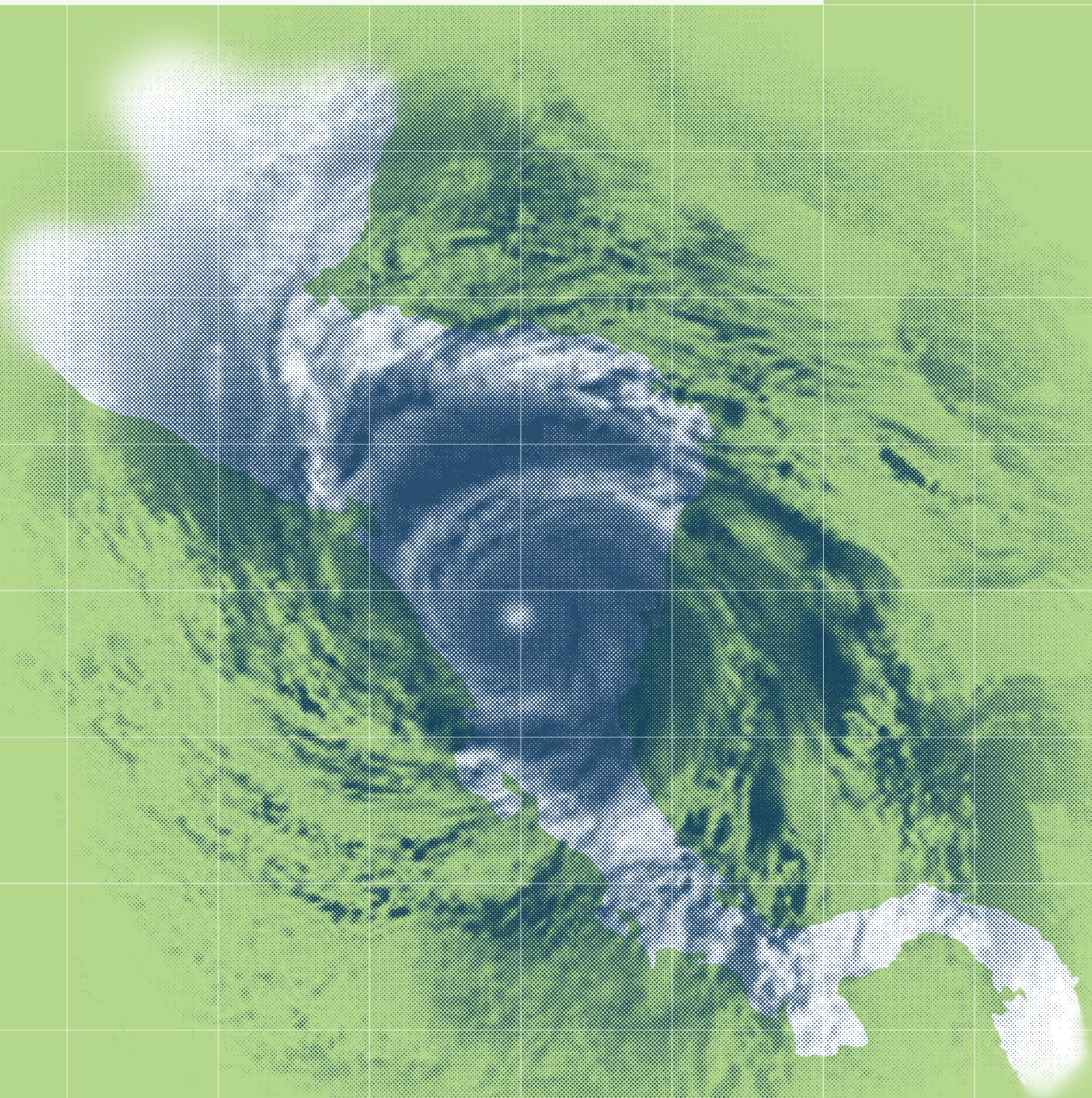


La economía del cambio climático en Centroamérica

Serie
técnica 2012

Impactos potenciales en la aridez
y los meses secos



La economía del cambio climático en Centroamérica: Serie técnica
Impactos potenciales en la aridez y los meses secos 2012

Alicia Bárcena
Secretaria Ejecutiva
Antonio Prado
Secretario Ejecutivo Adjunto
Hugo E. Beteta
Director
Sede Subregional de la CEPAL en México
Joseluis Samaniego
Director
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
y Punto focal de cambio climático de la CEPAL
Luis Miguel Galindo
Jefe de la Unidad de Cambio Climático
División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos
Julie Lennox
Punto focal de cambio climático y Jefe de la Unidad de Desarrollo Agrícola
Sede Subregional de la CEPAL en México

Esta publicación fue realizada en el marco del Convenio entre el Programa de asistencia del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (UKAID) y la Sede Subregional en México de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y del Convenio entre la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA) y la CEPAL dentro de la iniciativa “La economía del cambio climático en Centroamérica”.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL y de las instituciones socias del proyecto.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de este documento no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

El término “dólares” se refiere a la moneda de Estados Unidos de América.

LC/MEX/L.1074

Copyright © Naciones Unidas, octubre de 2012. Todos los derechos reservados.

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Diseño de portada: José Luis Lugo.

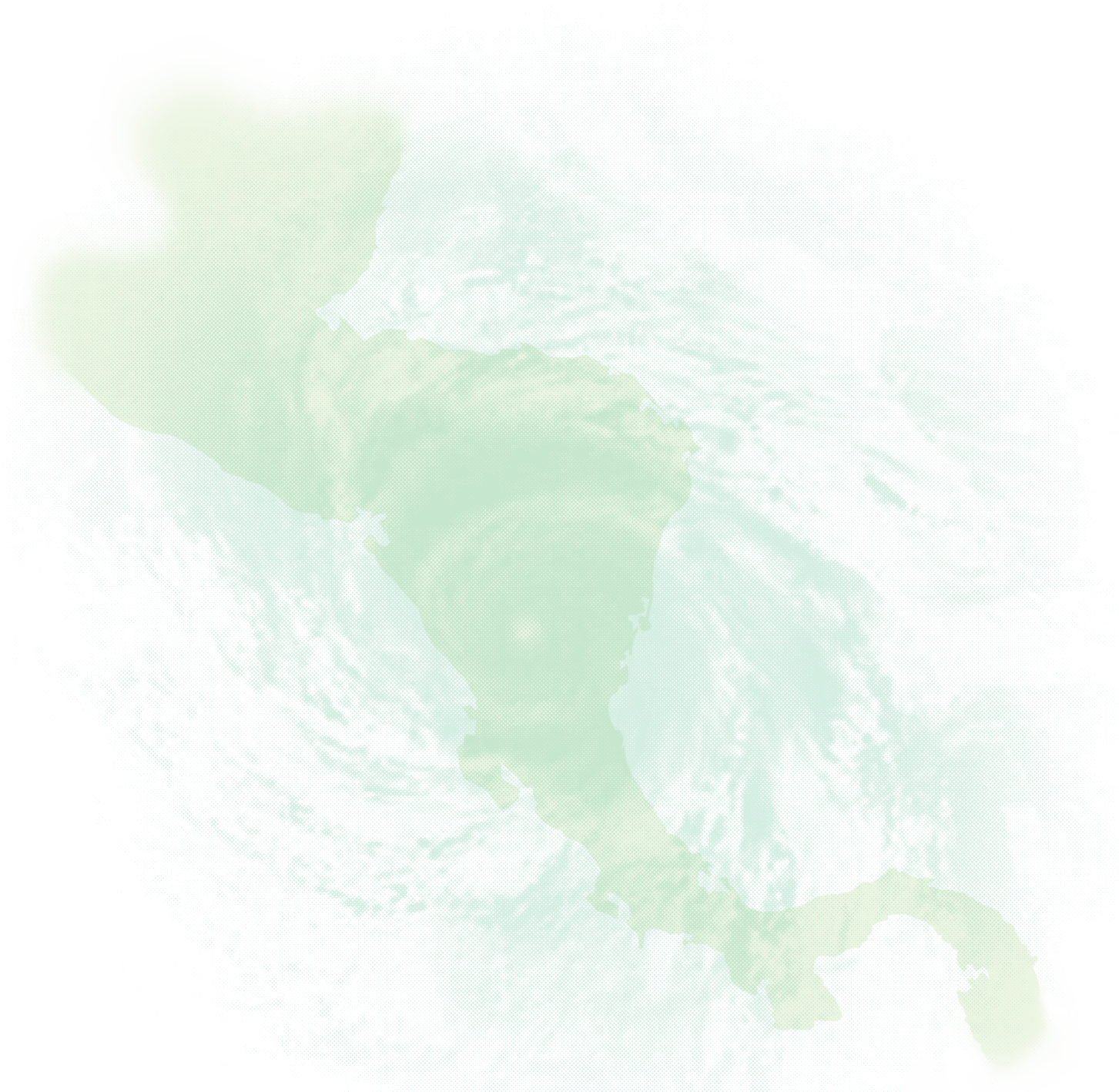
Este libro fue impreso en “Recicla100”, papel 100% reciclado.

Impresión: Maule Ediciones.

La economía del cambio climático en Centroamérica

Impactos potenciales en la aridez
y los meses secos

Serie
técnica 2012



COMITÉ DIRECTOR

Ministros/as de Ambiente:

Liselle Alamilla, Ministra del Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Belice (MNREI); Juana Argeñal, Ministra del Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Nicaragua (MARENA); René Castro, Ministro del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (MINAET); Lucía Chandeck, Administradora General de la Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (ANAM); Rigoberto Cuellar, Secretario de Estado para la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras (SERNA); Herman Rosa, Ministro del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN); y Roxana Sobenes, Ministra del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN). Autoridades anteriores: Javier Arias, Ligia Castro, Teófilo De la Torre, Roberto Dobles, Luis Alberto Ferraté, Carlos Guerrero, Jorge Rodríguez, Tomás Vaquero y Gaspar Vega.

Ministros/as de Hacienda o Finanzas:

Iván Acosta, Ministro del Ministerio de Hacienda y Crédito Público de Nicaragua (MHCP); Edgar Ayales, Ministro del Ministerio de Hacienda de Costa Rica (MH); Carlos E. Cáceres, Ministro del Ministerio de Hacienda de El Salvador (MH); Santiago Castillo, Ministro del Ministerio de Finanzas de Belice (MOF); Pavel Centeno, Ministro de Ministerio de Finanzas Públicas de Guatemala (MINFIN); Frank De Lima, Ministro del Ministerio de Economía y Finanzas de Panamá (MEF) y Wilfredo Cerrato, Secretario de Estado para la Secretaría de Finanzas de Honduras (SEFIN). Autoridades anteriores: Edgar Alfredo Balsells, Dean O. Barrow, William Chong Wong, Alfredo Rolando del Cid, Juan Alberto Fuentes, Alberto José Guevara, Héctor Guillermo Guillén, Fernando Herrero, Jenny Phillips, Rebeca Patricia Santos, Alberto Vallarino y Guillermo Zúñiga.

COMITÉ TÉCNICO REGIONAL (CTR)

Delegados/as de los Ministerios de

Ambiente: Sonia Baires, MARN El Salvador; Ana Rita Chacón, MINAET Costa Rica; Luis Fiallos, MARENA Nicaragua; Manuel López, SERNA Honduras; Carlos Mansilla, MARN Guatemala; Javier Morales, ANAM Panamá y Safira Vásquez, MNREI Belice.

Delegados/as de los Ministerios de

Hacienda o Finanzas: Rogelio Alvarado, MEF Panamá; Rina Castellanos, MHCP El Salvador; Juan Manuel de la Cruz, MINFIN

Guatemala; Manuel Deshon, MHCP Nicaragua y Lourdes González, SEFIN Honduras.

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD-SICA):

Nelson Trejo, Secretario Ejecutivo; Raúl Artiga, delegado en el CTR.

Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN):

Martín O. Portillo, Secretario Ejecutivo y delegado en el CTR.

Secretaría de Integración Económica Centroamérica (SIECA):

Ernesto Torres, Secretario General; Oscar Morales, delegado en el CTR. Autoridad anterior: Yolanda Mayora de Gavidia.

Delegados/as anteriores del CTR:

Gherda Barreto, Guillermo Barquero, Juan Sebastián Blas, Cecilia Carranza, Edgar Chamorro, Cynthia Deville, Paul Flowers, Ramón Frutos, Aristides Hernández, Leonel Lee, Darysbeth Martínez, José Francisco Rodríguez, Roberto Rodríguez, Bernardo Torres.

Colaboradores del CTR:

Luis Alejandro Alejos, William Alpizar, Roberto Araquistain, Jorge Cabrera, Beverly D. Castillo, Carlos Fuller, Carlos Gómez, René López, Leslie Marin, Roberto Motta, Carlos J. Pérez, José Francisco Rodríguez, Martha Ruiz, Bernardo Torres.

UNIDAD COORDINADORA (UC) EN LA SEDE SUBREGIONAL DE LA CEPAL EN MÉXICO (CEPAL MÉXICO)

Hugo E. Beteta, Director; Julie Lennox, coordinadora de la iniciativa, punto focal para cambio climático y jefe de la Unidad de desarrollo agrícola (UDA) de la CEPAL México; Jaime Olivares y Allan Beltrán, consultores y asistentes de investigación; Almudena Fernández, asistente de programación y Nohemí Vázquez, asistente administrativo de la iniciativa; Blanca Urrea, asistente de programa y Diana Ramírez, asistente de investigación de la UDA; Ramón Cota, editor; María Eugenia Urzúa, diagramadora. Se agradece el apoyo de los equipos de dirección y administración de la oficina.

La División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL

proporcionó asesoría, particularmente Joseluis Samaniego, Director y Luis Miguel Galindo, Jefe de la Unidad de cambio climático.

UKAID/ GOBIERNO DEL REINO UNIDO

Julie Chappel, Embajador del Reino Unido en Guatemala, Honduras y El Salvador; Ian Hughes, anterior Embajador del Reino Unido en Guatemala, Honduras y El Salvador; Tom Kennedy, anterior Embajador del Reino Unido para Costa Rica y Nicaragua; enlaces con el proyecto. Josceline Wheatley y Su Lin Garbett-Shiels de UKAID.

Se agradece la asesoría de Lord Nicholas Stern, Chris Taylor y Dimitri Zenghelis del Equipo Stern.

DANIDA/ AGENCIA DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO DE DINAMARCA

Søren Vøhtz, Embajador; Thomas Nielsen, Asesor Regional y Bayardo Quintero, Oficial de Programas

EQUIPO TÉCNICO DEL ESTUDIO DE ARIDEZ

Julie Lennox, coordinadora y Allan Beltrán, consultor de la UC de la CEPAL México, quienes prepararon el documento del estudio; César Morales, asesor del MM/CNULD; George Kerrigan, Matías Renard Reese, Rodrigo Morera, Zoraida Aranibar y Ricardo Estupiñán, consultores encargados de preparar información técnica para este estudio.

Se agradece el apoyo del Mecanismo Mundial (MM) de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (CNULD), particularmente a Luc Gnacadja, Secretario Ejecutivo de la CNULD y a Christian Mersmann, Director del MM por la colaboración en la preparación de este estudio así como por la designación de César Morales, asesor y coordinador de los consultores del estudio.

ÍNDICE

	Página
Resumen ejecutivo	9
Introducción	18
1. Índice de aridez	25
2. Número de meses secos	46
3. Conclusiones	72
Bibliografía	77
Anexo I.	79

ÍNDICE DE CUADROS

Página

1	Clasificación del índice de aridez	26
2	Centroamérica: Índice de aridez por país y región geoclimática, promedio 1950–2000	28
3	Centroamérica: Índice de aridez por región geoclimática, promedio 1950–2000 y escenarios B2 y A2, 2100	34
4	Centroamérica: Índice de aridez por país y región geoclimática, escenarios B2 y A2, 2100.....	38
5	Centroamérica: Variación del índice de aridez por país y región geoclimática, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100	38
6	Centroamérica: Departamentos con mes seco por región geoclimática, promedio 1950–2000	48
7	Centroamérica: Departamentos con mes seco por país y región geoclimática, promedio 1950–2000	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1	Centroamérica: Índice de aridez por región geoclimática, promedio 1950–2000	28
2	Centroamérica: Índice de aridez por país y región geoclimática, promedio 1950–2000	29
3	Centroamérica: Índice de aridez por región geoclimática, promedio 1950–2000 y escenario B2 y A2, 2100	34
4	Centroamérica: Índice de aridez por país y región geoclimática, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, con cortes a 2100.....	35
5	Centroamérica: Departamentos con mes seco por región geoclimática, promedio 1950–2000	47
6	Centroamérica: Departamentos y superficie según el número de meses secos al año, promedio 1950–2000.....	50
7	Centroamérica: Superficie según el número de meses secos por región geoclimática, promedio 1950–2000	51
8	Centroamérica: Departamentos con mes seco por país y región geoclimática, promedio 1950-2000.....	53
9	Centroamérica: Superficie según el número de meses secos por país, promedio 1950-2000.....	58
10	Centroamérica: Departamentos con mes seco por región geoclimática, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100	60
11	Centroamérica: Departamentos y superficie según el número de meses secos al año, promedio 1950-2000 y escenario A2, 2100.....	67
12	Centroamérica: Superficie según el número de meses secos al año por región geoclimática, promedio 1950-2000 y escenario A2, 2100	68

13	Centroamérica: Superficie según el número de meses secos al año por país, promedio 1950–2000, y escenario A2, 2100.....	71
----	---	----

ÍNDICE DE MAPAS

1	Centroamérica: Índice de aridez por departamento, promedio 1950–2000.....	27
2	Centroamérica: Índice de aridez por departamento, escenarios B2 y A2, cortes a 2100	30
2	Centroamérica: Índice de aridez por departamento, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100 (Ampliación)	32
3	Centroamérica: Variación del índice de aridez por departamento, escenarios B2 y A2, con cortes a 2100	40
3	Centroamérica: Variación del índice de aridez por departamento, escenarios B2 y A2, cortes 2020 y 2100 (Ampliación)	42
4	Centroamérica: Índice de aridez y su variación por departamento, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100	45
5	Centroamérica: Meses secos al año por departamento, promedio 1950–2000.....	49
6	Centroamérica: Meses secos al año por departamento, escenarios A2 y B2, con cortes a 2100.....	62
6	Centroamérica: Meses secos al año por departamento, promedio 1950-2000 y escenarios A2 y B2, 2100 (Ampliación)	64

ÍNDICE DE ANEXOS

GRÁFICO

A1	Centroamérica: Departamentos con mes seco por país y región geoclimática, promedio 1950-2000 y escenarios B2 y A2, 2100	79
----	---	----

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CAC	Consejo Agropecuario Centroamericano
CAZALAC	Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe
CCA	Centro de Ciencias de la Atmósfera
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNULD	Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación
COMISCA	Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana
COP15	15ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Copenhague 2009
COP16	16ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Cancún 2010
COP 17	17ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas en Durban 2011
COSEFIN	Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana
CTR	Comité Técnico Regional de la iniciativa ECCCA
DANIDA	Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (por sus siglas en inglés)
ECCCA	Iniciativa La economía del cambio climático en Centroamérica
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
MM	Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PHI	Programa Hidrológico Internacional
SICA	Sistema de Integración Centroamericana
SIECA	Sistema de Integración Económica Centroamericana
UC	Unidad Coordinadora de la iniciativa ECCCA
UKAID	Programa de Asistencia del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (por sus siglas en inglés)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (por sus siglas en inglés)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (por sus siglas en inglés)

RESUMEN EJECUTIVO

Aunque se estima que Centroamérica seguirá emitiendo niveles mínimos de gases de efecto invernadero (GEI), ya es una de las regiones más expuestas a sus consecuencias. Sus vulnerabilidades socioeconómicas históricas están siendo amplificadas por sus características de istmo estrecho entre dos continentes y dos sistemas oceánicos, el Pacífico y el Atlántico. La región siempre ha sido gravemente afectada por patrones de sequía, ciclones y el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur (ENOS). El cambio climático está magnificando estas vulnerabilidades históricas e incidirá cada vez más en la evolución económica y ambiental de la región, pues los factores climatológicos son muy significativos en agricultura, generación hidroeléctrica y muchas otras actividades.

En respuesta a esta amenaza, los Presidentes del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) acordaron un conjunto de mandatos para sus instituciones nacionales y regionales en la cumbre de mayo de 2008. Estos mandatos han sido ampliados en las cumbres de junio 2010, noviembre 2011 y junio 2012. En este marco, los Ministros de Ambiente y Hacienda o Finanzas, con sus instancias regionales, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y el Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN), la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) emprendieron la iniciativa “La economía del cambio climático en Centroamérica” (ECCCA), con financiamiento del Programa de Asistencia del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (UKAID) y la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA).

En el marco de esta iniciativa, el presente estudio busca estimar el efecto potencial del cambio climático en la aridez y el patrón de meses secos en la región para detectar riesgos para la producción agrícola, generación hidroeléctrica, consumo humano de agua y ecosistemas con requerimientos altos de humedad, como el bosque tropical húmedo montaña bajo. Los análisis presentados se beneficiaron de la colaboración con los socios de la iniciativa del Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (MM-CNULD) en la selección de la metodología y la preparación de los estudios exploratorios.

En Centroamérica existe una zona más árida que el resto, el “corredor seco” lo cual, con otras partes de la región, han sido seriamente afectadas por períodos de sequía. El corredor seco abarca regiones de todos los países, pero su porción mayor está ubicada en la vertiente del Pacífico (MARENA, 2001; Ramírez, 1983; CEPAL, 2002). Entre los años 1974 y 2004, la mayor concentración de eventos de sequía se registró en Guatemala, Honduras, Nicaragua, la costa pacífica de Costa Rica y la costa atlántica de Panamá. Las sequías más severas han ocurrido en los territorios del Oriente, Alta Verapaz y parte de El Petén en Guatemala, el norte del Departamento de Cortés y la parte norponiente de Gracias a Dios en Honduras, el Departamento de Rivas en Nicaragua, el norte de la Provincia de Guanacaste en Costa Rica. Las sequías se asocian con procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y

sequedad. El fenómeno El Niño suele causar daños y pérdidas considerables en todos los países de la región, lo que podría intensificarse por los efectos ya pronosticados del cambio climático (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

Una sequía particularmente severa ocurrió en 2001 con una reducción significativa de la lluvia entre los meses de junio y agosto e impactos en la producción agrícola e hidroeléctrica, disponibilidad de agua para consumo humano y seguridad alimentaria, entre otros. En la evaluación de este fenómeno se recomendó que las estrategias de adaptación a sequías deben incorporar las amenazas del cambio climático a mediano y largo plazos (CEPAL y CCAD, 2002).

La aridez y la sequía pueden ocurrir en una misma zona geográfica, pero son fenómenos distintos. La sequía es un evento extremo caracterizado por escasez de lluvia anormal respecto de los rangos históricos. En términos generales se le define como “tiempo seco de larga duración” (Diccionario de la Real Academia Española, 2012). Puede ocurrir con cierta frecuencia como parte de la variabilidad climática natural, pero su intensidad y duración pueden ser modificadas por la actividad humana, especialmente por la deforestación, la degradación de ecosistemas y el cambio climático (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). Cuando la temperatura, la precipitación o fenómenos como El Niño sufren cambios más permanentes, la zona afectada puede experimentar cambios en su nivel de aridez o en su patrón de meses secos más allá de una sequía entendida como evento extremo. No obstante, los cambios de este tipo pueden ser percibidos como prolongación e intensificación de condiciones de sequía habituales. En este sentido, los análisis deben ampliarse para abarcar las posibles tendencias de aridez futura.

Este estudio analiza la evolución de la aridez y el patrón intraanual de meses secos por países, departamentos y regiones geoclimáticas, considerando la diversidad de climas y su desagregación para el diseño de acciones apropiadas. Con referencia al período histórico, estima los cambios potenciales para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, con dos escenarios de cambio climático: uno más pesimista y otro menos pesimista. Extiende el análisis previo de temperatura y precipitación por países y temporalidad anual, disponible en el primer capítulo del Reporte Técnico publicado en 2011 (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011) y el estudio La economía del cambio climático en Centroamérica: Patrones intraanuales y espaciales del clima de esta misma serie técnica; ambos preparados por la CEPAL con un equipo técnico y revisados y aprobados por el Comité Técnico Regional (CTR) de la ECCCA, en consulta con expertos de la región.

Los indicadores de aridez y meses secos fueron calculados con la “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe” (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), como recomendado por la MM/CNULD. El índice de aridez es utilizado para delimitar las diferentes zonas climáticas por su sequedad según los criterios de Hassan y Dregne (1997) y los del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997). Este índice expresa la relación insumo/pérdida de humedad. El primer factor es la precipitación media y el segundo es la pérdida es la evapotranspiración en un mismo período (CAZALAC Y PHI/UNESCO, 2005). Los resultados se presentan a nivel de departamentos, países y cuatro regiones geoclimáticas acordadas con el CTR, meteorólogos nacionales y la UC/CEPAL. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como cifras exactas.

Los dos escenarios de emisiones de GEI utilizados son del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El escenario más pesimista (llamado A2) proyecta

un aumento continuo de las emisiones globales de GEI, resultando en un mayor incremento de la temperatura y una disminución sustancial de la lluvia en la mayor parte de Centroamérica, salvo en regiones de Costa Rica y Panamá. Los supuestos básicos de este escenario son una población mundial creciente, donde los patrones de fertilidad humana de las regiones convergen lentamente, el desarrollo económico se enfoca a nivel regional, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico evolucionan en forma lenta y fragmentada. Este escenario advierte altos riesgos para la región si la comunidad internacional no reduce la trayectoria actual de emisiones de GEI a nivel global.

El escenario menos pesimista (llamado B2) prevé una disminución menor de la lluvia en la mayor parte de la región y un incremento menor de la temperatura, suponiendo una trayectoria de emisiones de GEI menor que la del escenario A2. Sus supuestos básicos son un modelo de desarrollo orientado a soluciones económicas, sociales y ambientales locales, un crecimiento de la población mundial menor que en A2 y un desarrollo económico moderado. La materialización de este escenario probablemente requerirá un acuerdo y acciones internacionales para reducir substancialmente las emisiones globales de GEI a corto plazo.

El estudio utiliza las variables de temperatura media mensual (°C) y precipitación acumulada mensual (mm) por países, departamentos, distritos o provincias, según la denominación de cada país. La palabra “departamento” se usa para designar genéricamente estas divisiones administrativas cuando se habla del conjunto de la región. Las Comarcas de Kuna Yala y Ngöbe-Bugle de Panamá cuentan con estimados propios. Debido a la disponibilidad de datos y su ubicación geográfica, para las comarcas de Madugandí se recomienda utilizar los resultados de la provincia de Panamá, y los de Darién para las Comarcas Emberá-Wounan y Wargandí. Con la orientación de los delegados de los Ministerios de Ambiente y meteorólogos nacionales, se identificaron tres grandes regiones geoclimáticas: Pacífico, Atlántico y Centro. Los departamentos con costa de mar extensa están incluidos en las regiones Pacífico o Atlántico; los departamentos sin costa o con costas poco extensas fueron incluidos en la región Centro. Para Guatemala se acordó agregar una cuarta región, Altiplano Occidental.

En el análisis histórico por departamentos y regiones geoclimáticas se utiliza la temperatura media y la precipitación acumulada anuales promediadas por el período 1950 a 2000, según la base de datos de WorldClim. Para estimar los escenarios al corte 2100 se utilizaron los promedios de los modelos ECHAM4 y HADCM3 (para B2) y ECHAM4 y HADGEM (para A2). Para identificar la tendencia con mayor claridad se calcularon promedios de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100).

Los niveles de temperatura y precipitación del período 1950 a 2000 generan un índice de aridez de 1.6 para Centroamérica y todos sus departamentos, lo que la cataloga como una región húmeda, según la clasificación internacional adoptada. Sin embargo, los departamentos presentan grados de humedad variables, desde un valor máximo del índice de aridez (menor aridez) de 2.78 en la Provincia de Cartago, Costa Rica, hasta un mínimo de 1.05 (mayor aridez) en el Departamento de Zacapa, Guatemala. Los niveles de aridez también varían por región geoclimática: el del Altiplano Occidental guatemalteco es el menor con un valor del índice de aridez de 1.96, seguido por la región Atlántico (1.62), Centro (1.54) y Pacífico (1.53).

En el escenario menos pesimista (B2) al corte 2020, la mayoría de los departamentos experimentarían ligeros aumentos de aridez, con cambios del índice, en el rango de -0,01 a -0,20 unidades. Solo en 18 departamentos (19%) habría una reducción ligera de aridez, con un incremento del índice en el rango de 0 a 0,05. En contraste, en el escenario más pesimista (A2) al corte 2020, los resultados sugieren que en la mayor parte del territorio de Centroamérica habría mayor aridez con cambios ligeros en el rango de -0,01 a -0,20. En los Departamentos de Alta Verapaz (región Centro) y Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché y San Marcos (Altiplano Occidental guatemalteco) el aumento de aridez sería mayor alcanzando el rango de -0,21 a -0,40 en el cambio del índice. En general, los cambios al corte 2020 son relativamente menores y de ambas tendencias.

Los resultados para la década 2030 muestran una tendencia a mayor aridez respecto al período histórico. Con el escenario B2, solamente tres departamentos presentarían una ligera disminución de aridez, Totonicapán, Zacapa y El Progreso en Guatemala con variaciones en el rango de 0 a 0,01 en el índice, mientras que en el resto de Centroamérica la aridez aumentaría en el rango -0,01 a -0,20. Con el escenario A2, la aridez aumentaría respecto al período histórico con cambios en el rango de -0,01 a -0,20. En Guatemala se incrementaría el número de departamentos con aridez creciente en el rango de -0,21 a -0,40, incluyendo los Departamentos de Baja Verapaz, Chimaltenango, Izabal, Sacatepéquez, Sololá y Totonicapán, además de los cinco departamentos que perfilan este rango para el corte al 2020. El Distrito de Toledo en Belice también tendría aumento de aridez en este rango.

Hacia el corte 2050, en el escenario B2, todo el territorio de Centroamérica experimentaría aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 respecto al período histórico. Bajo el escenario A2, 40 departamentos experimentarían un aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40 unidades, lo cual representa 42% del total. Estos departamentos se localizan en la mayor parte del territorio de Guatemala, la región Atlántico de Belice, Atlántico y Centro de Honduras, Centro de El Salvador, Atlántico y Centro de Nicaragua, Centro y Pacífico de Costa Rica y Pacífico en Panamá. Además, siete departamentos tendrían aumento de aridez en el rango de -0,41 a -0,60; son Alta Verapaz, Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango en Guatemala, Heredia y Limón en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. La Provincia de Cartago en Costa Rica tendría el mayor aumento de aridez (rango de -0,61 a -0,80).

Durante la segunda mitad del presente siglo se aceleraría el aumento de aridez en ambos escenarios climáticos. En B2, para el corte 2100, 61% de los departamentos registraría un aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 unidades; 31% experimentaría un aumento en el rango de -0,21 a -0,40, principalmente en la región Atlántico, y en menor medida en las regiones Centro, Altiplano Occidental guatemalteco y la costa Pacífico de Guatemala, Costa Rica y Panamá. Las regiones con mayor aumento de aridez serían las de Centro y Atlántico de Costa Rica, y Bocas del Toro, Chiriquí y la Comarca Ngöbe-Bugle en Panamá, con disminuciones en el rango de -0,41 a -0,60 (5% de los departamentos). La provincia con mayor aumento de aridez en el escenario B2 es Cartago, Costa Rica, en el rango de -0,61 a -0,80.

En el escenario A2 las condiciones serían más severas. Para el corte 2100 se espera que únicamente 11 departamentos (12%) tengan rangos bajos de aumento de aridez, de -0,01 a -0,20 unidades. Tres de ellos se ubican dentro del corredor seco en la región Atlántico de Guatemala; los otros son El Paraíso en Honduras; Estelí, León, Managua, Masaya y Rivas en Nicaragua, y Los Santos y Darién y las comarcas de esta región en Panamá. Cincuenta y un departamentos (54%) tendrían aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40; 21 departamentos (22%) tendrían aumentos en el rango de -0,41 a -0,60; ocho (8%) tendrían aumentos en el rango de -0,61 a -0,80 y cuatro (4%) tendrían aumentos en el rango de -0,81 a -1,00. Los departamentos con mayor aumento son Alta

Verapaz (-0,85), San Marcos (-0,86) y Quetzaltenango (-0,90) en Guatemala, y la Provincia de Cartago (-1.00) en Costa Rica.

Así, para el corte 2100, Centroamérica podría experimentar niveles de precipitación y temperatura que resultarían en un valor promedio del índice de aridez de 1.4 en el escenario menos pesimista (B2) y 1.2 en el escenario más pesimista (A2). Esto significa un cambio de 0.2 y 0.4 unidades menos (mayor aridez) respecto al período 1950–2000. En el escenario B2, el Departamento de Quetzaltenango del Altiplano Occidental de Guatemala podría experimentar la menor aridez de la región con un valor máximo de 2.09, mientras que el Departamento de Zacapa de la región Atlántico del mismo país podría enfrentar la mayor aridez con un valor mínimo de 1.01. En el escenario A2, la Provincia de Cartago en Costa Rica experimentaría la menor aridez con un valor de 1.78, y el Departamento de Zacapa en Guatemala el mayor nivel de aridez con un valor de 0.96.

Los países con mayor humedad en la región Atlántico serán Panamá y Costa Rica con valores entre 1.51 y 1.75; los más áridos serían Guatemala y Belice con un rango de 1.06 a 1.41, dependiendo del país y el escenario. En la región Pacífico, los países con mayor humedad serían Guatemala y Costa Rica con valores entre 1.35 y 1.61, mientras que los de mayor aridez serían Honduras y Nicaragua con valores en el rango de 1.05 a 1.14. En la región Centro, el país con mayor humedad sería Costa Rica con valores de 1.58 y 1.80, mientras que el más árido sería Belice con valores de 1.09 y 1.20. Para el Altiplano Occidental guatemalteco, los resultados sugieren un valor de 1.69 en el escenario B2 y 1.26 en el escenario A2.

En general se puede observar que los departamentos que sufrirían el mayor aumento de aridez serían los que históricamente han sido más húmedos. Por el contrario, los departamentos con mayores niveles de aridez en el período 1950 a 2000 resultarían con el menor aumento de aridez durante el siglo actual. Al mismo tiempo, en términos absolutos los departamentos con menor aridez históricamente seguirían siendo los departamentos con menor aridez en estos escenarios, aunque sufrirían aumentos mayores de aridez. Así se mantendría la distribución relativa de regiones con mayor y menor aridez, habría un aumento generalizado de aridez, más severo con el escenario más pesimista (A2) y más pronunciado en las regiones de mayor humedad. Como resultado, hacia el final del siglo, la variación del índice entre las regiones climáticas se reduciría, especialmente con el escenario A2, bajo el cual las cuatro regiones tendrían un valor del índice de aridez cercano a 1.2. Esto implicaría condiciones de aridez promedio cada vez más homogéneas en gran parte de la región, similares a las zonas más áridas del arco seco centroamericano en el período histórico.

La segunda parte del estudio analiza el número de meses secos por año en el período 1950 a 2000 y en ambos escenarios de cambio climático. Un mes seco es aquel en el que la precipitación es menor al 50% de la evapotranspiración del mismo mes (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005). El análisis incluye consideraciones de cambios en el patrón intraanual (mes por mes) de la temporada seca por regiones y países.

En el período histórico, la región Pacífico es la que ha tenido el mayor número de meses secos por año, entre cuatro y seis, principalmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En contraste, la región Atlántico presentaba el menor número. De hecho, en el Distrito de Toledo, en Belice, los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal en Guatemala y Atlántida en Honduras y la región Atlántico de Costa Rica normalmente no hayan experimentado meses secos como norma histórica. El resto de esta región tiene entre uno y dos meses secos. Las regiones Centro y Altiplano Occidental guatemalteco presentan climas más diversos con entre uno y seis meses secos. Como promedio histórico, ningún departamento registra más de seis meses secos al año.

Durante las próximas décadas, la mayor parte de los departamentos experimentarían cambios menores en el número de meses secos en ambos escenarios, principalmente a causa de fluctuaciones de precipitación hasta el período del corte de 2030. Puede ocurrir una mayor variabilidad tanto de aumento como reducción de meses secos en las próximas décadas. Considerando que la variabilidad actual, tanto interanual como intraanual, genera serios impactos en la región, es de suma importancia mejorar la capacidad de adaptación y gestión de riesgo a corto plazo. A partir del corte de 2050 se evidencia una tendencia más generalizada de aumento de meses secos y una progresiva diferenciación entre los dos escenarios con A2 siendo el más severo. Los esfuerzos a corto plazo de responder a la variabilidad climática y los eventos extremos, serían clave para bajar las pérdidas a corto plazo y preparar a la región por los cambios severos acumulativos que podrían venir a mediano plazo.

En el escenario B2 al corte 2020, el número de meses secos aumentaría en 13 departamentos y disminuiría en 18, pero 64 departamentos experimentarían condiciones relativamente estables respecto al promedio de 1950 a 2000. En términos de la superficie, estos tres grupos de departamentos representarían 8%, 28% y 64% del territorio regional respectivamente. Al corte de 2030 en el escenario B2, 18 departamentos podrían experimentar un mayor número de meses secos, ocho tendrían un menor número de meses secos y 69 quedarían en condiciones similares a las históricas. Estos tres grupos representarían 13%, 9% y 78% del territorio regional respectivamente. Para el corte 2050 con el escenario B2, el número de meses secos habría aumentado en 12 y disminuido en 24 departamentos, mientras 59 quedarían en condiciones similares a las históricas. Estos tres grupos representarían 8%, 23% y 69% del territorio regional respectivamente. En general, en el escenario B2 hasta el corte de 2050, la mayoría de los departamentos experimentarían cambios limitados en aumento o reducción de meses secos. A más largo plazo, más de una quinta parte de los departamentos experimentarían aumento del número de meses secos. Al corte 2100, el número de meses secos habría aumentado en 22 y disminuido en 30 departamentos; 43 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 28% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 27% experimentarían menos meses secos y 45% condiciones parecidas a las históricas.

En el escenario A2 los cambios serían más notables. Al corte 2020, se estima un aumento del número de meses secos en 35 departamentos y una disminución en 14, mientras que 46 permanecerían estables, y representando 39%, 13% y 48% del territorio regional respectivamente. Al corte 2030, este escenario se acerca más al B2: el número de meses secos aumentaría en 18 departamentos (17% del territorio), se reduciría en 14 (11%) y se mantendría relativamente estable en 63 (72%) respecto del promedio histórico. No obstante, al corte 2050 los cambios retomarían un sendero más severo: el número de meses secos aumentaría en 36 departamentos (34% del territorio), se reduciría en diez (6%) y se mantendría relativamente estable en 49 (60%) respecto del promedio histórico. Para el corte 2100, el número de meses secos habría aumentado en 47 y disminuido en 11 departamentos; 37 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 53% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 8% experimentarían menos y 39% condiciones parecidas a las históricas.

Bajo este escenario, las provincias de Limón y Cartago en Costa Rica y la de Bocas del Toro en Panamá serían las únicas sin meses secos al final del siglo. Destaca el incremento de aridez en la mayor parte de los departamentos de la costa Atlántico, principalmente en los que ahora tienen entre uno y dos meses secos, los cuales pasarían a tener tres. Destaca también el incremento del número de meses secos en regiones de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua a partir del corte 2070. Se espera que los Departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso y Jalapa en el corredor seco

guatemalteco, los Departamentos de Choluteca, El Paraíso y Francisco Morazán en Honduras, y León y Estelí en Nicaragua tengan temporadas secas de siete meses en contraste con los patrones históricos de seis meses en los departamentos de Guatemala y cinco en los de Honduras y Nicaragua. Los resultados dan indicios de posibles fluctuaciones a rangos aun mayores en el número de meses secos hacia finales del siglo. Por ejemplo en el corte 2070, varios departamentos podrían experimentar ocho a nueve meses secos, como son los Departamentos de Guatemala, Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa en Guatemala, los últimos cuatro siendo parte del corredor seco.

En cuanto al patrón intraanual de meses secos, en el escenario B2 se prevé una disminución del número de departamentos en condiciones de mes seco durante abril y un incremento de aquellos con condiciones secas durante noviembre. Esto indica que el inicio y el final de la temporada de lluvias se adelantarían. En el escenario A2, en cambio, el número de departamentos en condiciones de mes seco durante abril aumentaría, mientras que el de aquellos con condiciones secas durante noviembre disminuiría, es decir, el inicio y el final de la temporada de lluvias se retrasarían. Los cambios del patrón intraanual de meses secos serían más notorios en Guatemala, Honduras y Nicaragua por la posible ocurrencia de meses secos en partes de sus territorios en junio, julio y agosto bajo el escenario A2. Durante estos meses ocurre regularmente la canícula¹, la cual históricamente no ha resultado en reducciones de humedad tan notorias para definirse como meses secos. Estos cambios podrían ser muy importantes por su impacto en los ciclos de producción agrícola y las reglas de operación de las hidroeléctricas.

En resumen, este estudio demuestra que los dos escenarios de cambio climático generan diferentes impactos en aridez y meses secos a nivel de país, departamentos y regiones geoclimáticas. No obstante, si las emisiones globales siguen con su tendencia actual de alza, el escenario más probable sería el más pesimista (A2). Así, en las próximas décadas pueden ocurrir fluctuaciones de mayor aridez y mayor humedad, lo que contribuiría a una variabilidad climática mayor que la ya experimentada. A mediano y largo plazos se experimentaría una marcada tendencia a mayor aridez y más meses secos. La combinación de estas dos tendencias probablemente hará más vulnerable la región a sequías y otros eventos hidrometeorológicos extremos aun en el corto plazo. En este sentido, es urgente diseñar acciones para reducir la vulnerabilidad y adaptarse al cambio climático, incluyendo una mayor variabilidad de precipitación y de eventos extremos a corto plazo.

Las sociedades centroamericanas necesitan evitar estrategias *ad hoc* de lógica inercial que podrían resolver urgencias pero profundizarían los riesgos. En esta lógica el cambio climático puede considerarse importante pero no atendible a fondo dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y las presiones de las urgencias sociales y económicas. En las negociaciones internacionales hay una tendencia a separar las medidas de adaptación de las de mitigación. Esta solución puede ser impráctica para países con recursos fiscales y de inversión limitados.

Más recomendable sería lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales para impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables** que integren las acciones de reducción de vulnerabilidades, incluyendo la reducción de pobreza, con las de adaptación y las medidas de transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto incluye acciones de interés para la agenda de desarrollo sostenible e incluyente que pueden generar cobeneficios de reducción de

¹ La canícula se caracteriza por la disminución de la precipitación a mediados de la temporada de lluvias (García, Fernández y Rivas, 2003).

emisiones, como la protección o restauración de bosques y una mayor eficiencia energética e hídrica. En este escenario la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático serían convertidos en oportunidad para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías.

Considerando la variabilidad de las condiciones y la tendencia acumulativa de aridez prevista en las próximas décadas, las sociedades centroamericanas necesitan volverse gestoras audaces del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. Aun sin cambio climático, la demanda de agua aumentará significativamente en la región. Con el cambio climático se estima una disminución de la humedad y de la disponibilidad total de agua renovable, particularmente en los cinco países al norte de Costa Rica. Si el indicador clave de los esfuerzos de mitigación es la reducción de emisiones CO₂e, un indicador clave de adaptación será la eficiencia del uso del agua per cápita y por unidad del PIB. Los marcos institucionales nacionales de los recursos hídricos son heterogéneos y no siempre aptos para la gestión coordinada. Esta situación probablemente es uno de los mayores retos para enfrentar el cambio climático.

Los escenarios de aridez y meses secos también indican la urgencia de blindar la seguridad alimentaria, particularmente el abasto de granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible. Esto es un gran reto, pero encararlo es necesario para proteger a la población pobre, tanto pequeños productores como consumidores urbanos. La protección de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, incluyendo bosques, sistemas montañosos y fluviales, zonas costero-marinas, incluyendo corales y manglares, es vital para mantener los múltiples servicios que éstos proporcionan a la población humana y otros seres vivos, incluyendo su función regulatoria del ciclo hídrico.

La región ha desarrollado una alta dependencia de fuentes energéticas importadas de origen fósil altamente contaminantes. El tránsito a una matriz energética basada en fuentes renovables locales mejoraría la seguridad energética, ahorraría divisas y reduciría los impactos negativos de los combustibles fósiles en la salud humana y las emisiones GEI. Es necesario diseñar hidroeléctricas integradas a la gestión integral de agua y de cuencas para minimizar impactos ambientales negativos. Para ello se requiere crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hídrica que supere el bagaje conflictivo del pasado y permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y a las zonas de conservación. Las normas de infraestructura hídrica y sus planes de gestión deberán prever posibles cambios estacionales, mayor variabilidad de precipitación y disponibilidad del agua a niveles espacial y temporal y demandas crecientes de generación de hidroelectricidad, riego, consumo humano y gestión de flujos.

Finalmente, los cambios previstos en aridez tendrán implicaciones para la viabilidad de los ecosistemas de la región y el impacto de eventos extremos como los incendios. Estos ecosistemas dependen de climas relativamente húmedos, aunque con variaciones, por ejemplo, entre diferentes tipos de bosques tropicales húmedos y secos. Proteger y restaurar estos ecosistemas es un importante reto de desarrollo aun sin cambio climático. Con este fenómeno se vuelve más necesario adoptar el principio de precaución, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. Existen sinergias potenciales con otras medidas de adaptación como mejorar la eficiencia del uso del agua, desarrollar una agricultura más sostenible y aumentar el uso de energía eléctrica por la población pobre, pero todo esto requerirá coordinación de planes de desarrollo sostenibles entre diversos sectores.

La información georeferenciada y desagregada por departamentos y regiones geoclimáticas, y dividida temporalmente en años corte y por patrones intraanuales, es una herramienta útil para afinar los análisis de impactos potenciales en sectores como la agricultura, el consumo del agua, la salud y la hidroelectricidad. Su especificación a menores escalas es también importante para formular acciones de adaptación en zonas geográficas particulares. Es importante recalcar que la región estaría mejor provista del conocimiento requerido si expande y fortalece su red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas y profesionales en climatología y hidrología.

INTRODUCCIÓN

Aunque se estima que Centroamérica seguirá produciendo una mínima parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del planeta, ya es una de las regiones más vulnerables a sus consecuencias negativas. Sus vulnerabilidades socioeconómicas históricas se exacerban por su ubicación geoclimática en un istmo estrecho entre dos continentes y entre los océanos Pacífico y Atlántico. La región es recurrentemente afectada por sequías, ciclones y el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS). El cambio climático está magnificando estas vulnerabilidades e incidirá cada vez más en la evolución económica de la región, dado que los factores dependientes del clima son decisivos para las actividades productivas, como la agricultura. En términos fiscales, el cambio climático constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas en forma creciente; las cuales ya enfrenta mayores demandas por los impactos de un creciente número de eventos extremos como huracanes, lluvias intensas e inundaciones.

La región contiene valiosos acervos que requieren ser preservados y valorados por su contribución al desarrollo de las generaciones actuales y futuras. Tales son sus ecosistemas y biodiversidad abundante, que proveen múltiples servicios. Estos ecosistemas se están deteriorando por el patrón de desarrollo insostenible y lo serán más por el cambio climático. La población de la región, relativamente joven, con gran diversidad cultural, étnica y de estilos de vida, es un tesoro que requiere mayor reconocimiento e inversión para revalorar y desarrollar sus capacidades de respuesta.

En su cumbre de mayo de 2008, los Presidentes del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) acordaron un conjunto de mandatos para sus instituciones nacionales y regionales sobre la respuesta al cambio climático. A partir de entonces, la preocupación por los impactos de este fenómeno se ha mantenido en la agenda regional, y los Presidentes han ratificado y ampliado sus mandatos originales en las cumbres de junio 2010, noviembre 2011 y junio 2012.

En este marco, los Ministros de Ambiente y Hacienda o Finanzas, sus instancias regionales, la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y el Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN), la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA) y la Comisión Económica para América latina y el Caribe (CEPAL), han emprendido la iniciativa “La economía del cambio climático en Centroamérica”. Dicha iniciativa busca generar evidencia de la vulnerabilidad de la región al cambio climático, estimar impactos y costos potenciales en diferentes sectores, alertar a los tomadores de decisiones y actores clave de la región sobre la urgencia de enfrentar este reto y propiciar un diálogo sobre opciones de políticas y acciones nacionales y regionales. La iniciativa ha contado con financiamiento del Ministerio para el Desarrollo Internacional del Gobierno Británico (UKAID) y de la Agencia para la Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA) y se apoya en un mecanismo de gestión conjunta con los Ministerios de Ambiente y Hacienda o Finanzas. El mecanismo incluye las instancias ministeriales y un Comité Técnico Regional (CTR) con delegados de dichos ministerios, CCAD, COSEFIN y SIECA. Recientemente se han realizado consultas y

establecido acuerdos con los Consejos de Ministros de Agricultura y Salud (CAC y COMISCA) y sus secretarías ejecutivas sobre la agenda de cambio climático en estos dos sectores.

El análisis considera el impacto potencial del cambio climático en Centroamérica en diversos escenarios de desarrollo y trayectorias de emisiones, frente a los costos y beneficios de posibles respuestas de inacción (conocidas como *business as usual*), opciones de reducción de vulnerabilidad, adaptación y transición hacia una economía sostenible baja en carbono. Establece un escenario macroeconómico tendencial sin cambio climático contra el cual se mide el costo del fenómeno. El análisis de impactos es “de abajo hacia arriba” por sectores y ámbitos como agricultura, recursos hídricos, eventos extremos y servicios ecosistémicos, los cuales son valorizados en función del PIB. Se exploran ampliamente los retos y opciones de adaptación y desarrollo de economías bajas en carbono por sectores también. Los escenarios futuros son estimados al corte de 2100, con cortes los años 2020, 2030, 2050 y 2070. Para las opciones de mitigación se adopta un marco temporal hacia el año 2030 con cortes a 2010 y 2020 por la incertidumbre sobre cambios tecnológicos. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas.

Los primeros resultados sugieren que los impactos del cambio climático en Centroamérica en un escenario más pesimista de emisiones crecientes e inacción global (llamado A2 por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)) son significativos y crecientes, con cierta heterogeneidad entre los países. Se confirma la asimetría de que los países desarrollados que han contaminado más sufren menos impactos y tienen recursos para adaptarse. En cambio, los países que menos contribuyen al problema sufren mayores impactos y tienen menos resiliencia. Se confirma también que los costos de los impactos en un escenario de inacción global, particularmente de los países emisores grandes, serían más elevados que los de un escenario con un acuerdo internacional equitativo e incluyente que lograra reducir significativamente las emisiones. Tendría que ser un acuerdo con responsabilidades compartidas y diferenciadas entre los países, que facilite a los países altamente vulnerables, como los de Centroamérica, avanzar con medidas de adaptación y mitigación en un marco de desarrollo sostenible e incluyente.

Desde la óptica económica es más rentable actuar ahora que dejar el problema a las generaciones futuras, además de las consideraciones éticas de esta posición. Los resultados de la investigación demuestran que el valor presente del costo de los impactos del cambio climático resultará demasiado alto a la postre si no tomamos medidas ambiciosas e inmediatas. Se confirma también que el cambio climático es el mayor fracaso del mercado jamás visto por no internalizar el valor del clima como bien público global y no registrar adecuadamente sus impactos en la sociedad y en los servicios ambientales. Esto implica que, más allá de la valorización económica, se requiere tomar decisiones éticas respecto a la inequidad entre generaciones y a cómo valorizar las necesidades de las generaciones futuras y de los ecosistemas, los cuales nos prestan múltiples servicios ambientales que perderemos antes de que el mercado incentive su manejo adecuado. Se concluye también que el cambio climático no puede ser tratado como responsabilidad exclusiva de las instituciones ambientales, sino como problema económico central y transversal con serias implicaciones fiscales.

El reto de adaptación de Centroamérica exige redoblar esfuerzos para reducir la pobreza, la desigualdad y la vulnerabilidad socioeconómica y ambiental, y aumentar la capacidad adaptativa de las sociedades, poblaciones específicas y ecosistemas conexos. Debe admitirse asimismo que habrá

límites a la adaptación, con pérdidas y daños no reparables aun si hubiera financiamiento abundante, sobre todo en el escenario de inacción con una economía mundial alta en carbono. Las sociedades centroamericanas necesitan evitar estrategias *ad hoc* de lógica inercial que podrían resolver urgencias pero profundizarían los riesgos. En esta lógica, el cambio climático puede considerarse importante pero no atendible a fondo dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y la presión de las urgencias sociales y económicas que podrían enfrentarse convencionalmente. Además, en las negociaciones internacionales hay una tendencia a separar las medidas de adaptación de las de mitigación. Esta solución puede ser impráctica para países con recursos fiscales y de inversión limitados.

Más recomendable sería lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales para impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables** que integren las acciones de reducción de vulnerabilidad y de pobreza con las de adaptación y transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto incluye acciones de interés para la agenda de desarrollo sostenible e incluyente que pueden generar cobeneficios de reducción de emisiones, como la protección o restauración de bosques y la eficiencia energética e hídrica. En este escenario, la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático serían convertidos en oportunidad para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías. Esto incluiría sus formas de inserción en los mercados regional y global, los vínculos entre sus patrones energéticos y las externalidades negativas por emisiones contaminantes, pérdidas de salud pública y de cosechas, debilidades de la infraestructura rural y urbana, degradación de ecosistemas y pérdida de sus servicios.

Las sociedades centroamericanas necesitan volverse gestoras audaces del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. Blindar la seguridad alimentaria ante el cambio climático, particularmente los granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible es un reto enorme pero impostergable para proteger a la población pobre del campo y la ciudad. La protección de los ecosistemas naturales y su biodiversidad (bosques, sistemas montañosos y fluviales, zonas costero-marinas, corales y manglares) es vital para mantener sus múltiples servicios a la población humana y otros seres vivos. Un elemento esencial de adaptación al cambio climático y transición a economías bajas en carbono es el cambio tecnológico, entendido como acceso a tecnologías modernas y rescate de conocimientos y tecnologías tradicionales locales, particularmente de los pueblos indígenas y comunidades campesinas. La región ha desarrollado una gran dependencia de fuentes energéticas importadas y de origen fósil altamente contaminantes. El tránsito a una matriz energética de fuentes renovables locales mejoraría su seguridad energética, ahorraría divisas y reduciría los impactos negativos de los combustibles fósiles. Las ventajas y desventajas de las diversas opciones pueden variar entre países y dependen de acuerdos internacionales aún por establecerse. Debido a este contexto variable e incierto, la iniciativa busca proporcionar un análisis amplio, no necesariamente vinculado a la posición de países en particular.

Con el propósito de discutir, divulgar y aprovechar los resultados de esta iniciativa en la formulación de políticas nacionales y estrategias regionales, se publicaron los documentos *Síntesis 2010* y *Reporte técnico 2011*, los cuales se han presentado en casi veinte eventos nacionales y regionales con la participación de aproximadamente 800 funcionarios públicos, representantes de organizaciones no gubernamentales, de gremios, sector privado, universidades y otros centros de investigación. En coordinación con los Ministros de Ambiente, los resultados han sido presentados en las últimas tres Conferencias de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP's 15, 16 y 17), en eventos "paralelos" organizados por los Ministros de

Ambiente, la CEPAL y otras agencias internacionales. Los resultados han servido de insumo para capacitar los comités nacionales de cambio climático y equipos de negociadores. Los análisis técnicos fueron incluidos en la Estrategia Regional de Cambio Climático, aprobada por los Ministros de Ambiente en 2010 y utilizados en la preparación de proyectos de financiamiento internacional y la discusión de diversas políticas nacionales.

En función de estos avances, los socios de la iniciativa acordaron avanzar en la generación de evidencia que apoye la formulación de políticas de adaptación, tomando en cuenta las necesidades específicas de los países y sectores. Se ha dedicado atención a los análisis desagregados sectoriales, espaciales y temporales, con énfasis en las tendencias climáticas de las últimas décadas y escenarios de las próximas. Así, la iniciativa ha analizado las tendencias del clima en las últimas décadas, escenarios futuros a escala departamental y por patrones intraanuales, cambios potenciales en indicadores de aridez e impactos potenciales en generación de hidroelectricidad en Guatemala y El Salvador. Con los Ministerios de Salud y el Consejo de Ministros de Salud de Centroamérica y República Dominicana (COMISCA), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y varias instituciones expertas, se ha acordado desarrollar la iniciativa “Salud y cambio climático” para analizar el impacto potencial del cambio climático en las enfermedades sensibles al clima. Como primer paso se ha preparado un análisis del estado actual de conocimiento sobre la relación del clima y la incidencia de enfermedades como malaria, dengue y enfermedades respiratorias, entre otras.

La iniciativa desarrolla un análisis de tendencias históricas y sostenibilidad fiscal con los Ministerios de Finanzas o Hacienda de la región. Incluye dos cursos técnicos para funcionarios de los ministerios y un foro técnico. Apoya también a los Ministerios de Energía con asesoría para una propuesta de mayor integración de la respuesta al cambio climático en la Estrategia Regional Energética Sustentable Centroamericana 2020; prepara un análisis de variabilidad climática sobre la base de las series históricas de estaciones meteorológicas de la región para los Ministerios de Ambiente; y está preparando una agenda de trabajo técnico con los Ministerios de Agricultura y el Consejo Agropecuario Centroamericano (CAC). Para apoyar la divulgación y discusión de los nuevos resultados se publica esta Serie técnica 2012, incluyendo esta publicación. Estos estudios contaron con la participación de diversos equipos de expertos coordinados por la Unidad Coordinadora de la CEPAL y fueron revisados y aprobados por el Comité Técnico Regional (CTR) de la ECCCA.

El presente estudio busca estimar el efecto potencial del cambio climático en la aridez y el patrón de meses secos en la región para permitir la detección de riesgos para la producción agrícola, generación hidroeléctrica, consumo humano de agua y ecosistemas con requerimientos altos de humedad, como el bosque tropical húmedo montano bajo. Con referencia al período histórico, estima los cambios potenciales para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, con dos escenarios de cambio climático: uno más pesimista y otro menos pesimista. Los análisis presentaron beneficiaron de la colaboración de la iniciativa del Mecanismo Mundial de la Convención de Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (MM-CNULD) en la selección de la metodología y la preparación de los estudios exploratorios.

El estudio se base en dos análisis anteriores preparados en el marco de la iniciativa ECCCA. El primero es el análisis de temperatura y precipitación por país y temporalidad anual, disponible en el primer capítulo del Reporte Técnico (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA (2011), donde se reportó que la temperatura promedio en Centroamérica para el corte al 2100 podría haber aumentado 2,5 °C en el escenario B2 y 4,2 °C en el escenario A2 respecto al promedio del período

1980 a 2000. La precipitación disminuiría en 10,5% con B2 y 28,4% con A2. A continuación, la iniciativa desarrolló el análisis disponible en “La economía del cambio climático en Centroamérica: Patrones intraanuales y espaciales del clima”, en el cual se presentan los posibles cambios intraanuales en los patrones de temperatura y precipitación con una desagregación geográfica a nivel de departamentos y regiones geoclimáticas. En el presente estudio esta información permitió explorar las implicaciones para varios indicadores de aridez, condición de preocupación para la región.

En Centroamérica existe una zona más árida que el resto, el “corredor seco” lo cual, con otras partes de la región, han sido seriamente afectadas por períodos de sequía. El corredor seco abarca regiones de todos los países, pero su porción mayor está ubicada en la vertiente del Pacífico (MARENA, 2001; Ramírez, 1983; CEPAL, 2002). Entre los años 1974 y 2004, la mayor concentración de eventos de sequía se registró en Guatemala, Honduras, Nicaragua, la costa pacífica de Costa Rica y la costa atlántica de Panamá. Las sequías más severas han ocurrido en los territorios del Oriente, Alta Verapaz y parte de El Petén en Guatemala, el norte del departamento de Cortés y la parte norponiente de Gracias a Dios en Honduras, el departamento de Rivas en Nicaragua, el norte de la provincia de Guanacaste en Costa Rica. Las sequías se asocian con procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y sequedad. El fenómeno El Niño suele causar daños y pérdidas considerables en todos los países de la región, lo que podría intensificarse por los efectos ya pronosticados del cambio climático (PNUMA, PNUD, EIRD y Banco Mundial, 2010).

Una sequía particularmente severa ocurrió en 2001 con una reducción significativa de la lluvia entre los meses de junio y agosto e impactos en la producción agrícola e hidroeléctrica, disponibilidad de agua para consumo humano y seguridad alimentaria, entre otros. En la evaluación de este fenómeno se recomendó que las estrategias de adaptación a sequías deben incorporar las amenazas del cambio climático a mediano y largo plazos (CEPAL y CCAD, 2002). La sequía es un fenómeno extremo caracterizado por escasez de lluvia relativo al promedio histórico de una zona geográfica. Su impacto es evidente en el ambiente mediante la aceleración del proceso de desertificación, aumentando el riesgo de incendios y limitando la disponibilidad de agua para usos doméstico e industrial. A diferencia de las inundaciones, cuyos impactos se perciben en un breve período de tiempo, los efectos de las sequías severas pueden ser difíciles de medir durante meses o años (White y Walcott, 2009). La diversidad de tipologías climáticas dificulta la comparación de sequías a escala global. Las investigaciones de Fleig y otros (2006), Van Lanen y Tallaksen (2007) y Sheffield y otros (2009), entre otros, muestran las dificultades de utilizar un solo indicador de sequía a escala global.

La sequía meteorológica se caracteriza por falta de precipitación, la cual se presenta comúnmente con una evapotranspiración potencial superior a lo normal por un largo período en una gran extensión de terreno (Tallaksen y Van Lanen, 2004). Se habla de sequía agrícola cuando la humedad del suelo no es suficiente para permitir el desarrollo de determinados cultivos. Ya que cada cultivo tiene características fenológicas propias, no es posible adoptar un indicador único que sea válido para un área geográfica. (Marcos, 2001). La sequía hidrológica generalmente se refiere a condiciones en las que los niveles de diferentes cuerpos de agua son inferiores a lo normal (Tallaksen y Van Lanen, 2004 y Fleig, 2004). La sequía constituye un riesgo cuando se presenta en regiones geográficas semiáridas, subhúmedas y húmedas (caso del área de estudio) que normalmente no están sujetas al déficit hídrico de suelo y subsuelo en forma sostenida durante el período de

crecimiento de las plantas. En las regiones hiperáridas y áridas, en cambio, la precipitación pluvial es nula o muy escasa.

La sequía socioeconómica supone una disminución de la disponibilidad de agua al punto de producir daños a la economía o a la población. La secuencia temporal del fenómeno suele manifestarse de la siguiente manera: sequía meteorológica, sequía agrícola y sequía hidrológica. La sequía socioeconómica puede sobrevenir en cualquiera de las fases, dependiendo de las características económicas de la región (Marcos, 2001). Estos cuatro tipos de eventos reflejan un proceso de evolución de la sequía, determinado tanto por la variabilidad natural del clima, como por la duración del evento y la interacción entre clima y sociedad. Sus efectos dependen en gran medida de la capacidad de gestión de los recursos hídricos (Linsley y otros., 1975).

La aridez y la sequía pueden ocurrir en una misma zona geográfica, pero son fenómenos distintos. La sequía es un evento extremo caracterizado por escasez de lluvia anormal respecto de los rangos históricos. En términos generales se le define como “tiempo seco de larga duración” (Diccionario de la Real Academia Española, 2012). Puede ocurrir con cierta frecuencia como parte de la variabilidad climática natural, pero su intensidad y duración pueden ser modificadas por la actividad humana, especialmente por la deforestación, la degradación de ecosistemas y el cambio climático (Wilhite y Buchanan-Smith, 2005). Cuando la temperatura, la precipitación o fenómenos como El Niño sufren cambios más permanentes, la zona afectada puede experimentar cambios en su nivel de aridez o en su patrón de meses secos más allá de una sequía entendido como evento extremo. No obstante, los cambios de este tipo pueden ser percibidos como prolongación e intensificación de condiciones de sequía habituales. En este sentido, los análisis deben ampliarse para abarcar las posibles tendencias de aridez futura.

Los indicadores de aridez y meses secos fueron calculados con la “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe” (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), como recomendado por la MM/CNULD. El índice de aridez es utilizado para delimitar las diferentes zonas climáticas por su sequedad según los criterios de Hassan y Dregne (1997) y los del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997). Este índice expresa la relación insumo/pérdida de humedad. El primer factor es la precipitación media y el segundo es la pérdida es la evapotranspiración en un mismo período (CAZALAC Y PHI/UNESCO, 2005). Los resultados se presentan a nivel de departamentos, países y cuatro regiones geoclimáticas acordadas con el CTR, meteorólogos nacionales y la UC/CEPAL. Por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas “capas” de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como cifras exactas.

Los dos escenarios de emisiones de GEI utilizados son del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El escenario más pesimista (llamado A2) proyecta un aumento continuo de las emisiones globales de GEI, resultando en un mayor incremento de la temperatura y una disminución sustancial de la lluvia en la mayor parte de Centroamérica, salvo en regiones de Costa Rica y Panamá. Los supuestos básicos de este escenario son una población mundial creciente, donde los patrones de fertilidad humana de las regiones convergen lentamente, el desarrollo económico se enfoca a nivel regional, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico evolucionan en forma lenta y fragmentada. Este escenario advierte altos riesgos para la región si la comunidad internacional no reduce la trayectoria actual de emisiones de GEI a nivel global.

El escenario menos pesimista (llamado B2) prevé una disminución menor de la lluvia en la mayor parte de la región y un incremento menor de la temperatura, suponiendo una trayectoria de emisiones de GEI menor que la del escenario A2. Sus supuestos básicos son un modelo de desarrollo orientado a soluciones económicas, sociales y ambientales locales, un crecimiento de la población mundial menor que en A2 y un desarrollo económico moderado. La materialización de este escenario probablemente requerirá un acuerdo y acciones internacionales para reducir substancialmente las emisiones globales de GEI a corto plazo.

El estudio utiliza las variables de temperatura media (°C) y precipitación mensual acumulada (mm) por países y por la división administrativa subnacional de primer nivel correspondiente: departamentos, distritos o provincias, según la denominación de cada país. La palabra “departamento” se usa para designar genéricamente estas divisiones administrativas cuando se habla del conjunto de la región. Las Comarcas de Kuna Yala y Ngöbe-Bugle de Panamá cuentan con estimados propios. Debido a la disponibilidad de datos y su ubicación geográfica, para las comarcas de Madugandí se recomienda utilizar los resultados de la Provincia de Panamá, y los de Darién para las comarcas Emberá-Wounan y Wargandí. Con la orientación de los delegados de los Ministerios de Ambiente y meteorólogos nacionales, se identificaron tres grandes regiones geoclimáticas: Pacífico, Atlántico y Centro. Los departamentos con costa de mar extensa están incluidos en las regiones Pacífico o Atlántico; los departamentos sin costa o con costas poco extensas fueron incluidos en la región Centro. Para Guatemala se acordó agregar una cuarta región, Altiplano Occidental.

En el análisis histórico por departamentos y regiones geoclimáticas se utiliza la temperatura media y la precipitación acumulada anuales promediadas por el período 1950 a 2000, según la base de datos de WorldClim. Para estimar los escenarios al corte 2100 se utilizaron los promedios de los modelos ECHAM4 y HADCM3 (para B2) y ECHAM4 y HADGEM (para A2). Para identificar la tendencia con mayor claridad se calcularon promedios de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100).

I. ÍNDICE DE ARIDEZ

La aridez es una condición climática relativamente estable, que contribuye a determinar qué tipo de ecosistemas pueden establecerse en una zona geográfica y cuán viable son las actividades productivas como la agricultura. Depende de la precipitación que cae, como de la evapotranspiración. Este fenómeno incluye la evaporación de esta lluvia y del agua en sus ríos y lagos y la transpiración de las plantas, ambas afectadas por la temperatura entre otros factores.

El índice de aridez se utiliza para delimitar diferentes zonas climáticas respecto a la sequedad con los criterios propuestos por Hassan y Dregne (1997) y los del Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997). Técnicamente es una relación insumo/pérdida de humedad, en la que el insumo es la precipitación del período de estudio y la pérdida es la evapotranspiración durante el mismo período (CAZALAC Y PHI/UNESCO, 2005) con la fórmula:

$$IA_t = \frac{p_t}{ET_t}$$

donde IA es el índice de aridez en el período t , p_t representa la precipitación acumulada anual en el período t y ET_t representa la evapotranspiración del período t .

La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa más la pérdida de agua por transpiración de la vegetación (Thornthwaite, 1948; Penman, 1956; Papadakis, 1980; Perrier, 1984). Los procedimientos de evaluación de la evapotranspiración varían desde fórmulas de fácil aplicación y ecuaciones de balance hídrico, hasta modelos con información fisiográfica, meteorológica e hidrométrica detallada. Por ejemplo, los métodos de Coutgne, Turc, Keller, entre otros (Ruíz, 1999) permiten estimar el comportamiento hídrico global de cuencas. Las ecuaciones de Thornthwaite, Romanenko, Penman y Turc (1963) permiten obtener una buena estimación de la evaporación media anual a pesar de su simplicidad (Xu and Singh, 1998). Predicciones de altos niveles de evaporación en el sureste de los Estados Unidos de Norteamérica, se han obtenido con los métodos de Priestley & Taylor (1972), Turc (1963) y Hamon (1963).

En este estudio la evapotranspiración se calcula con la ecuación de Turc (1963), que considera la precipitación y la temperatura media en un período establecido:

$$ET_t = \frac{P_t}{\left(0.9 + \left(\frac{P_t}{\phi}\right)^2\right)^{1/2}}$$

Donde:

ET_t = Evapotranspiración acumulada en el período t (mm).

P_t = Precipitación acumulada en el período t (mm).

$$\varphi = 300 + 25T_t + 0.05T_t^3.$$

T_t = Temperatura media en el período t.

Los resultados obtenidos con el cálculo del índice de aridez se clasifican según los criterios propuestos por Hassan y Dregne (1997), utilizados en el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1997; CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), de la siguiente manera:

CUADRO I
CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ

Zonas	Pt/ETt
Hiperáridas	< 0,05
Áridas	0,05 a < 0,20
Semiáridas	0,20 a < 0,50
Subhúmedas-secas	0,50 a < 0,65
Subhúmedas-húmedas	0,65 a 1
Húmedas	> 1

Fuente: CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005.

Así, un valor del índice de aridez igual a uno refleja condiciones en las que la precipitación y la evapotranspiración son iguales en la región bajo estudio. Los resultados inferiores a la unidad reflejan evapotranspiración mayor a la precipitación. A mayor evapotranspiración respecto a la precipitación, menor el valor del índice de aridez. En consecuencia, una región se considerará más árida. Valores del índice superiores a la unidad reflejan condiciones en las que la precipitación es mayor a la evapotranspiración. A mayor precipitación respecto a la evapotranspiración, mayor el valor del índice de aridez. En consecuencia, una región se considerará más húmeda.

ANÁLISIS DEL PERÍODO HISTÓRICO DE CENTROAMÉRICA Y DE LOS PAÍSES

En el análisis histórico por departamentos y regiones geoclimáticas se utiliza la temperatura media y la precipitación acumulada anuales promediadas por el período 1950 a 2000, según la base de datos de WorldClim. De acuerdo con los cálculos realizados, Centroamérica presenta valores de precipitación y temperatura que resultan en un índice de aridez con valor de 1,6, lo que la cataloga como región húmeda. De hecho, todos los departamentos de la región durante este período se clasifican como húmedos, con un valor del índice de aridez superior a uno). Sin embargo, dentro de la región existen diferentes grados de humedad, que van desde un valor máximo del índice de aridez de 2,78 en la Provincia de Cartago en Costa Rica a un valor mínimo de 1,05 en el Departamento de Zacapa, Guatemala.

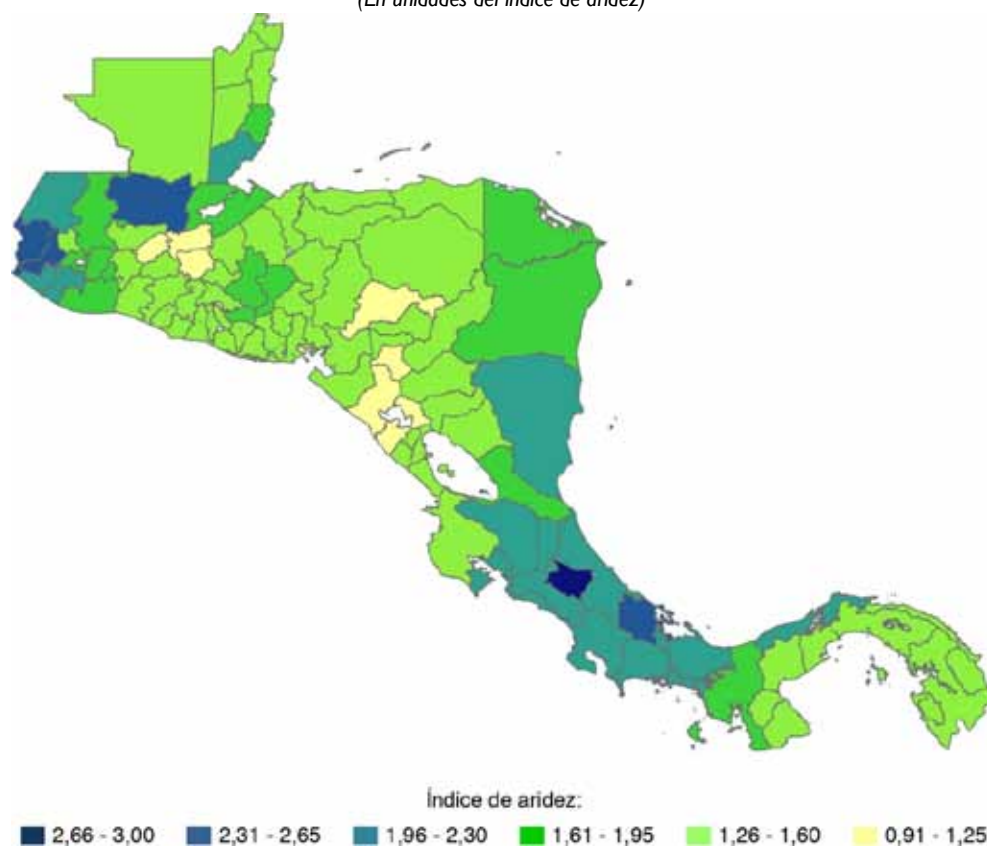
Para distinguir los niveles de humedad dentro la región centroamericana se opta por clasificar los resultados del índice de aridez en seis categorías a partir de un valor de 0,91 hasta 3,00, con un intervalo de 0,34 unidades del índice de aridez. Los departamentos comprendidos en la primera

categoría en el rango de 0,91 a 1,25 se clasifican como regiones subhúmedas-húmedas, mientras que las demás categorías se clasifican como regiones húmedas en distintos grados.

En el mapa 1 se muestra la clasificación de los departamentos de Centroamérica según el valor calculado del índice de aridez con datos del período 1950–2000. Se puede apreciar que las regiones con mayor valor del índice son parte del Altiplano Occidental guatemalteco, la mayor parte del territorio de Costa Rica y la región oeste de Panamá, que comprende las Provincias de Bocas del Toro, Chiriquí y la Comarca Ngöbe-Buglé. La región Atlántico presenta mayor humedad que la región Pacífico, mientras que la región Centro presenta mayor diversidad. Los departamentos más áridos, con niveles del índice de aridez más bajos y clasificados como subhúmedos-húmedos (en el rango del índice de 0.91 a 1.25), son los Departamentos de León (1,23), Estelí (1,20) y Managua (1,14) en Nicaragua, El Paraíso (1,21) en Honduras y Chiquimula (1,14), El Progreso (1,11) y Zacapa (1,05) en Guatemala. Aunque hay diferentes clasificaciones, estos departamentos generalmente están asociados al corredor seco de Centroamérica. Otros departamentos asociados a este corredor están en el siguiente rango del índice de 1.26 a 1.60 unidades.

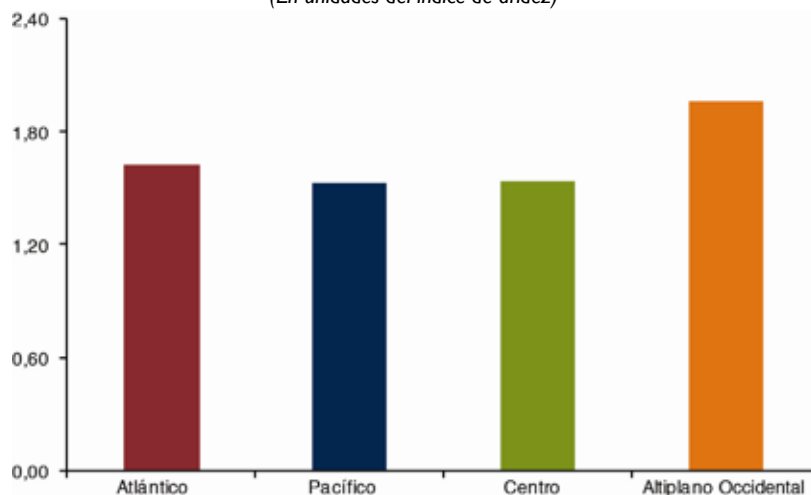
Como se puede apreciar en el gráfico 1, los niveles de humedad en las regiones geoclimáticas consideradas en el estudio difieren entre sí. El Altiplano Occidental guatemalteco presenta los mayores niveles de humedad con un valor promedio del índice de aridez de 1,96, seguido por la región Atlántico (1,62), la región Centro (1,54) y la región Pacífico (1,53).

MAPA I
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950–2000
(En unidades del índice de aridez)



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 1
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
 (En unidades del índice de aridez)



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 2 y el gráfico 2 presentan los resultados del cálculo del índice de aridez por región y país para el período 1950 a 2000. En general, la región Atlántico presenta las características más húmedas en todos los países, alcanzando un valor máximo del índice de aridez de 2,20 en Costa Rica y un valor mínimo de 1,30 en Guatemala. Destacan Costa Rica, donde la región Centro presenta mayores niveles de humedad que la región Atlántico, y Guatemala, donde la región Atlántico presenta mayor aridez (el menor nivel del índice) en el país e incluye los Departamentos de Chiquimula, El Progreso, Jutiapa y Zacapa, considerados parte del corredor seco guatemalteco.

La región Pacífico presenta mayor aridez, con menores valores del índice. Su valor mayor es de 1,84 en Guatemala; el menor es 1,26 en Nicaragua. La región Pacífico de Guatemala, que comprende los Departamentos de Escuintla, Retalhuleu, Santa Rosa y Suchitepéquez, es la tercera región más húmeda del país, superior a las regiones Atlántico y Centro. El índice de aridez de la región Centro suele tener valores medios entre los de las regiones Atlántico y Pacífico. La región del Valle Central de Costa Rica es la que presenta mayor humedad en ese país, con 2,31 en el índice. El Altiplano Occidental guatemalteco presenta la menor aridez promedio, con el mayor valor del índice, en el país (1,96) e incluye los Departamentos de Chimaltenango, Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché, Sacatepéquez, San Marcos, Sololá y Totonicapán.

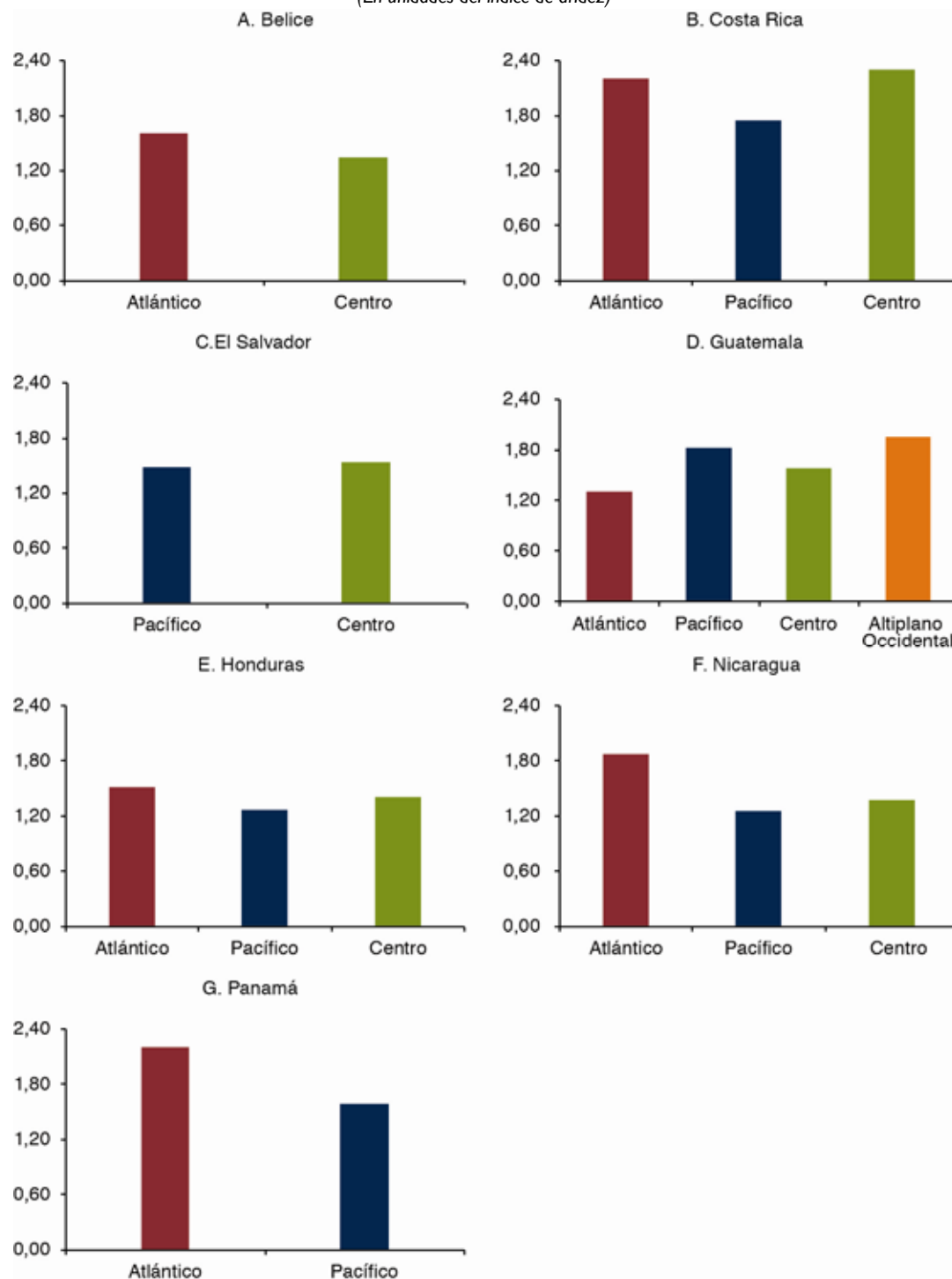
CUADRO 2
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
 (En unidades del índice de aridez)

País	Región			
	Atlántico	Pacífico	Centro	Altiplano Occidental
Belice	1,61		1,34	
Costa Rica	2,21	1,75	2,31	
El Salvador		1,48	1,54	
Guatemala	1,30	1,84	1,59	1,96
Honduras	1,51	1,27	1,41	
Nicaragua	1,88	1,26	1,38	
Panamá	2,20	1,59		
Centroamérica	1,62	1,53	1,54	1,96

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000

(En unidades del índice de aridez)

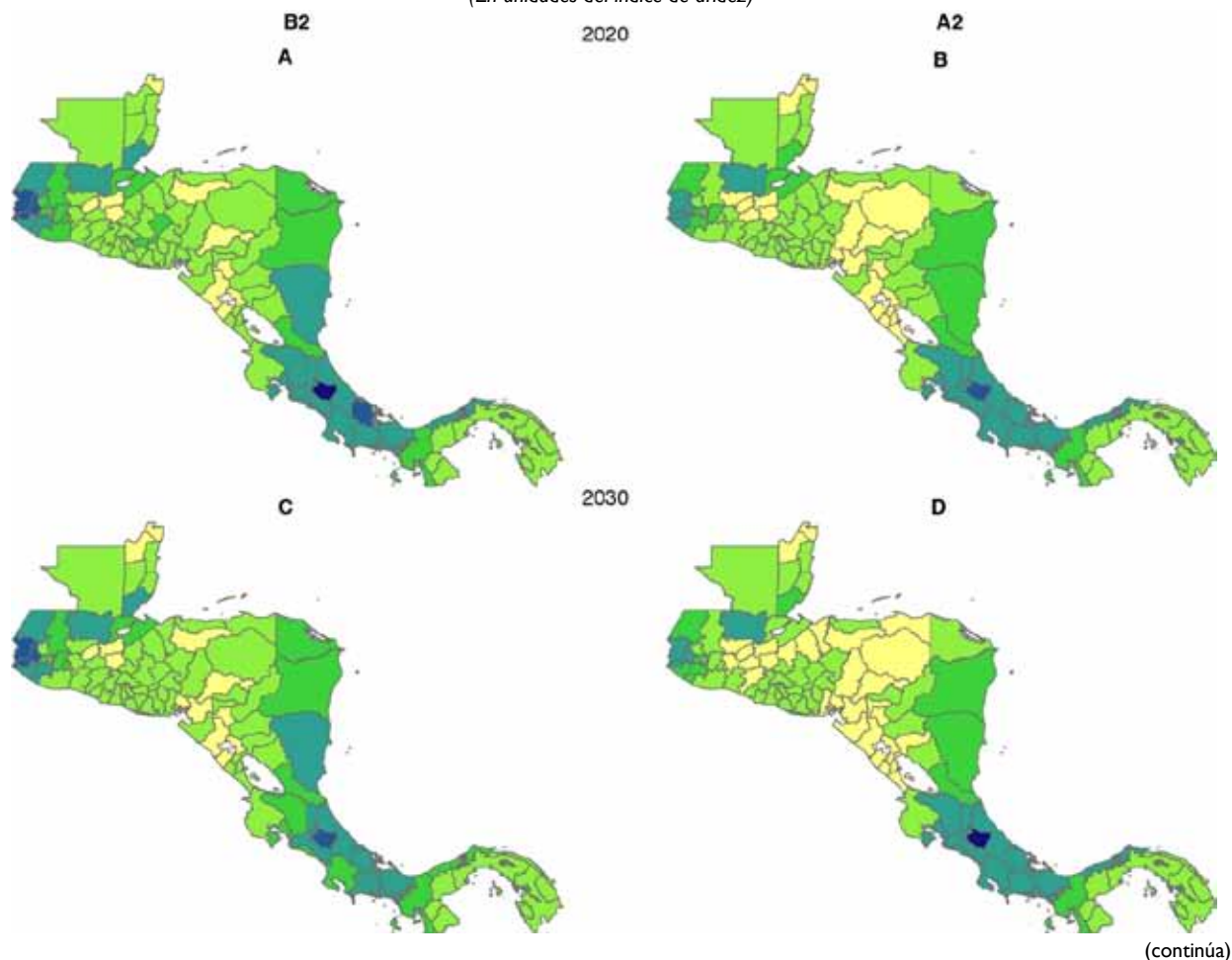


Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

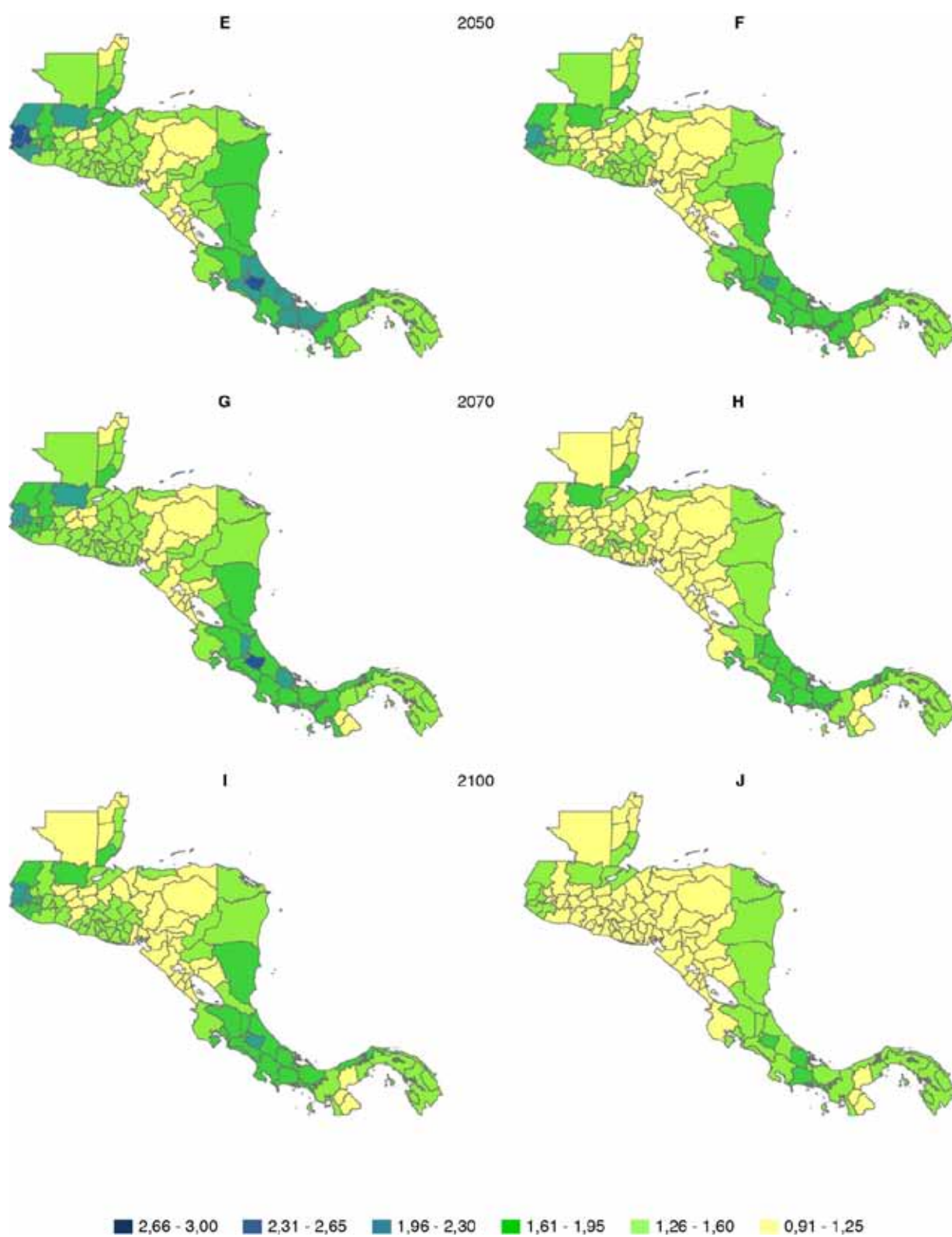
De acuerdo a los escenarios de cambio climático elaborados en la iniciativa La economía del cambio climático en Centroamérica (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011), es probable que las condiciones de temperatura y precipitación futuras en Centroamérica se vean modificadas a consecuencia del cambio climático. Se espera que la temperatura promedio aumente 2,5 °C en el escenario B2 y 4,2 °C en A2 hacia el corte 2100 y respecto al promedio histórico 1980 a 2000. La precipitación disminuiría en 10,5% con B2 y 28,4% con A2.² De esta forma, el cambio climático causaría alteraciones en las condiciones de humedad de la región. Para estimar los escenarios futuros con cambio climático, se utilizan los promedios de la temperatura media y precipitación mensual acumulada los modelos ECHAM4 y HADCM3 (para B2) y ECHAM4 y HADGEM (para A2). Para identificar la tendencia con mayor claridad se calcularon promedios de diez años para cada año de corte: 2020 (promedio 2016 a 2025), 2030 (promedio 2026 a 2035), 2050 (promedio 2046 a 2055), 2070 (promedio 2066 a 2075) y 2100 (promedio 2091 a 2100). El mapa 2 muestra la evolución de los resultados del cálculo del índice de aridez para los departamentos de Centroamérica.

MAPA 2
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIEZ POR DEPARTAMENTO, ESCENARIOS B2 Y A2, CORTES A 2100
(En unidades del índice de aridez)



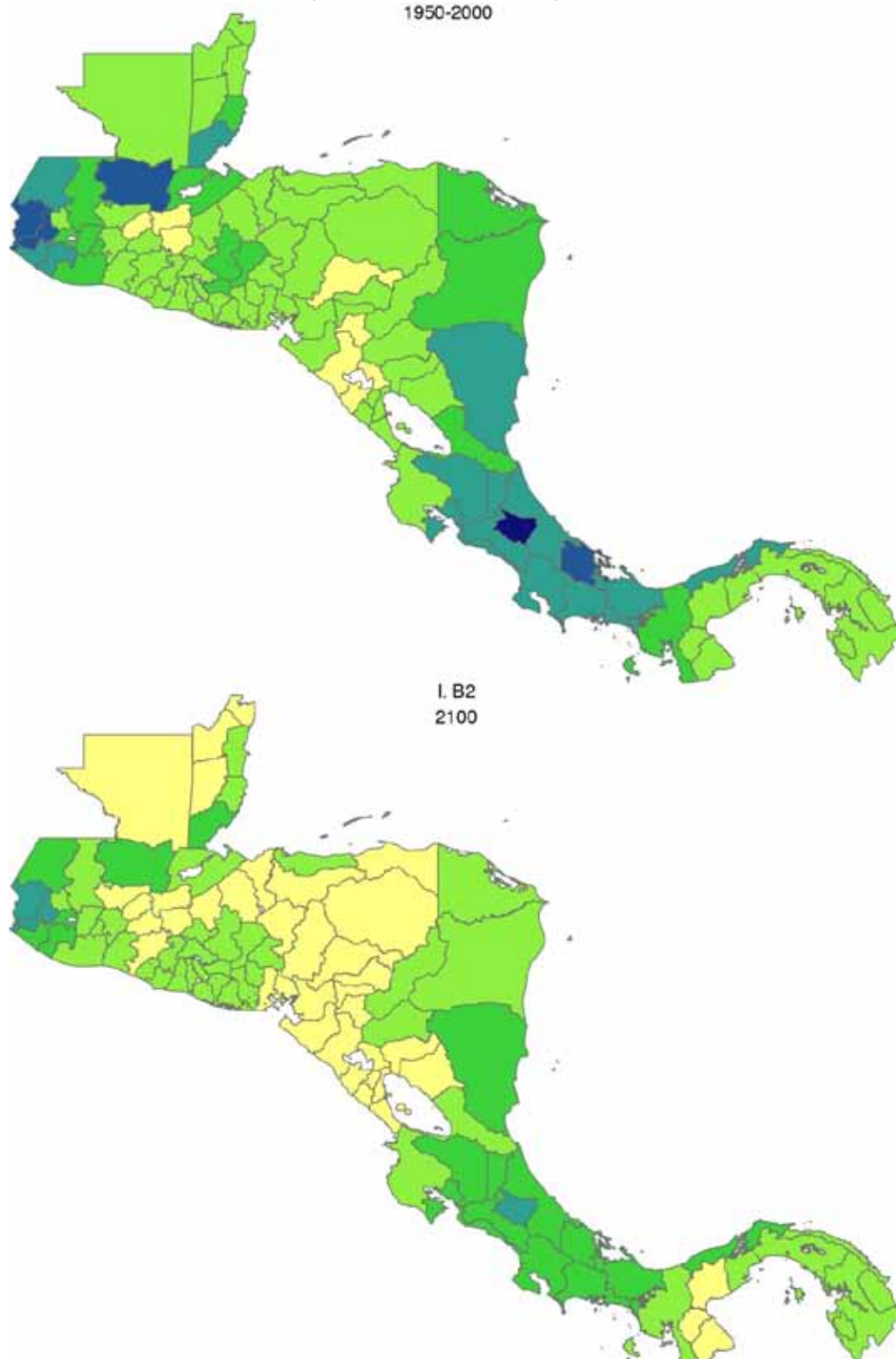
² Valores reportados para el promedio de los resultados de los modelos de circulación general HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para B2 y HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM4 para A2. Véase CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011.

(continuación Mapa 2)



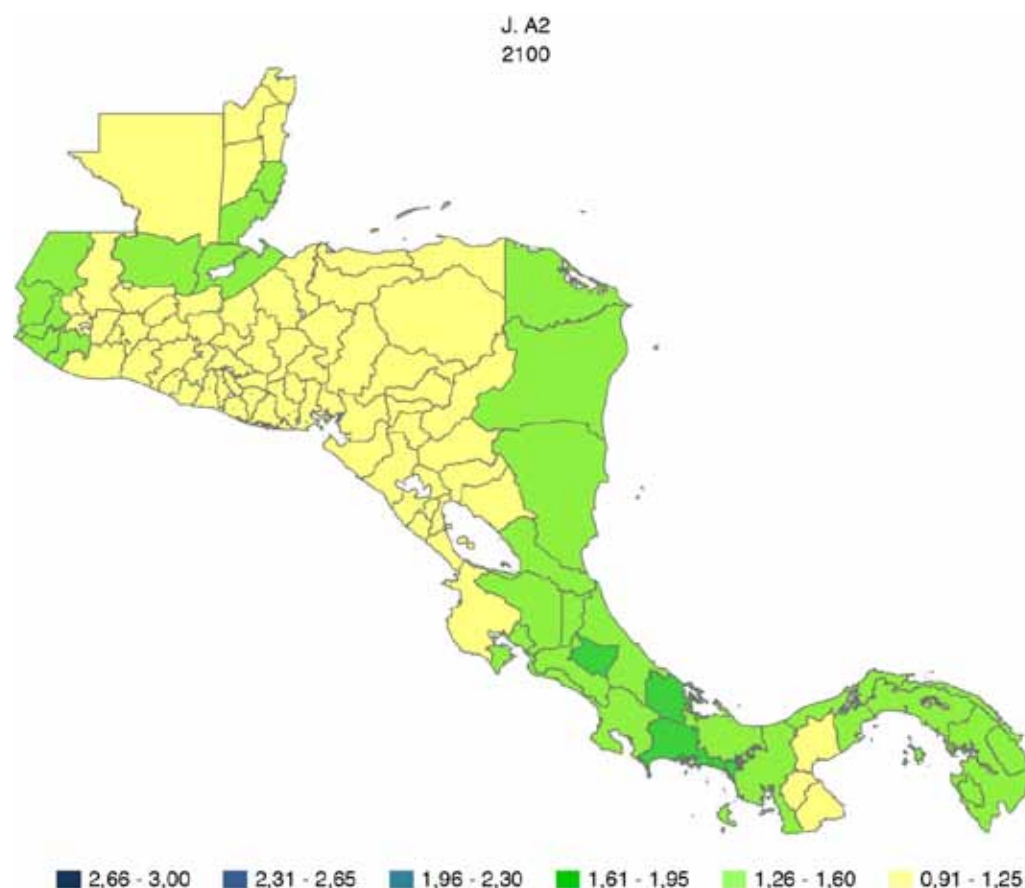
Fuente: Elaboración propia.

MAPA 2 (AMPLIACIÓN)
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIO B2 Y A2, 2100
(En unidades del índice de aridez)



(continúa)

(continuación Mapa 2 (ampliación))



Fuente: Elaboración propia.

Con los dos escenarios de cambio climático, este índice tendría una evolución hacia una mayor aridez; aunque con el escenario B2 19% de los departamentos experimentan una ligera disminución de aridez en el corte de 2020 y 3% en 2030. Posteriormente, se detecta en una tendencia acumulativa de mayor aridez en ambos escenarios, lo cual es marcadamente más severa con A2. Así, al corte 2100, Centroamérica podría experimentar niveles de precipitación y temperatura que resultarían en una mayor aridez con un valor promedio del índice de aridez de 1.4 en el escenario B2 y 1.2 en el escenario A2, con cambios de 0.2 y 0.4 unidades menos respecto al período 1950 a 2000. En el escenario B2 el Departamento de Quetzaltenango del Altiplano Occidental de Guatemala podría experimentar la menor aridez de la región con un valor máximo del índice de 2.09, y el Departamento de Zacapa de la región Atlántico del mismo país podría enfrentar la mayor aridez con un valor mínimo de 1.01 en el índice. En el escenario A2, la Provincia de Cartago en Costa Rica experimentaría la menor aridez con un valor máximo del índice de 1.78, y el Departamento de Zacapa en Guatemala el nivel mayor de aridez con un valor mínimo de 0.96 en el índice.

Como se ilustran los mapas, durante este siglo los niveles de humedad disminuirían en los 95 departamentos de la región, con más severidad en el escenario A2. De acuerdo con los resultados, en el escenario B2, para el corte de 2100, 37 departamentos presentarían un índice en el rango más bajo del período histórico, de 0,91 a 1,25, mientras que en el escenario A2 el número de departamentos en el mismo rango aumentaría a 69, en comparación con los siete departamentos en ese rango durante el período 1950 a 2000. Del total de departamentos en el rango 0,91 a 1,25 en el escenario B2, ninguno

presenta valores inferiores a la unidad, no así en A2, donde los departamentos del corredor seco de Jalapa (0,99), Chiquimula (0,97), El Progreso (0,96) y Zacapa (0,95) en Guatemala presentan valores ya menores a uno.

El cuadro 3 y el gráfico 3 muestran el valor del índice de aridez calculado al corte de 2100 para cada región climática con los escenarios B2 y A2, en comparación con el valor histórico promedio del período 1950 a 2000. Los resultados sugieren el patrón de relativa aridez entre las regiones geoclimáticas se mantendrá, no obstante todas las regiones se volverán más áridas. Al mismo tiempo, las regiones que históricamente han contado con condiciones de mayor humedad experimentarían las mayores pérdidas de humedad a consecuencia del cambio climático, y que las condiciones más severas ocurrirían bajo el escenario A2. Por otro lado, en las regiones con mayores niveles de aridez, también habría disminución, aunque menor que en las regiones más húmedas.

CUADRO 3
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

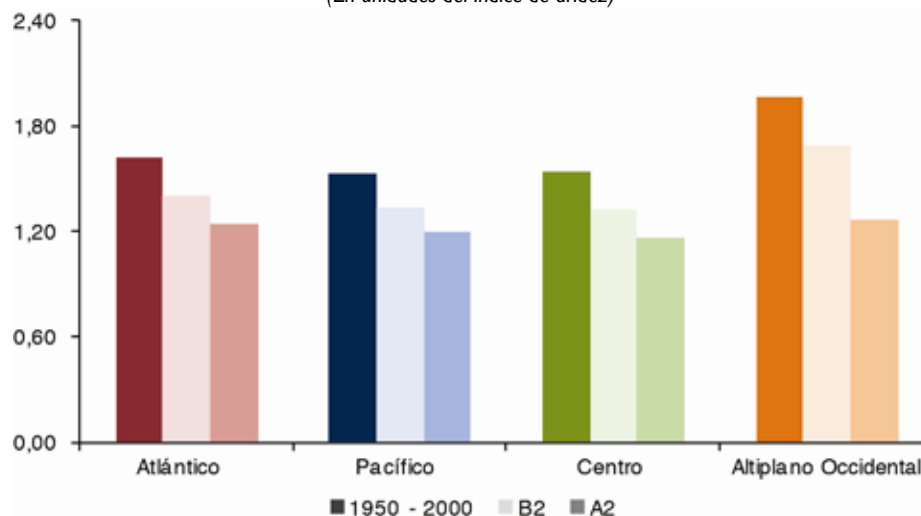
(En unidades del índice de aridez)

Región	1950 – 2000	2100		Variación del período	
		B2	A2	B2	A2
Atlántico	1,62	1,40	1,25	-0,22	-0,37
Pacífico	1,53	1,33	1,20	-0,20	-0,33
Centro	1,54	1,33	1,16	-0,21	-0,38
Altiplano Occidental	1,96	1,69	1,26	-0,27	-0,70
Centroamérica	1,59	1,38	1,20	-0,21	-0,39

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 3
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En unidades del índice de aridez)

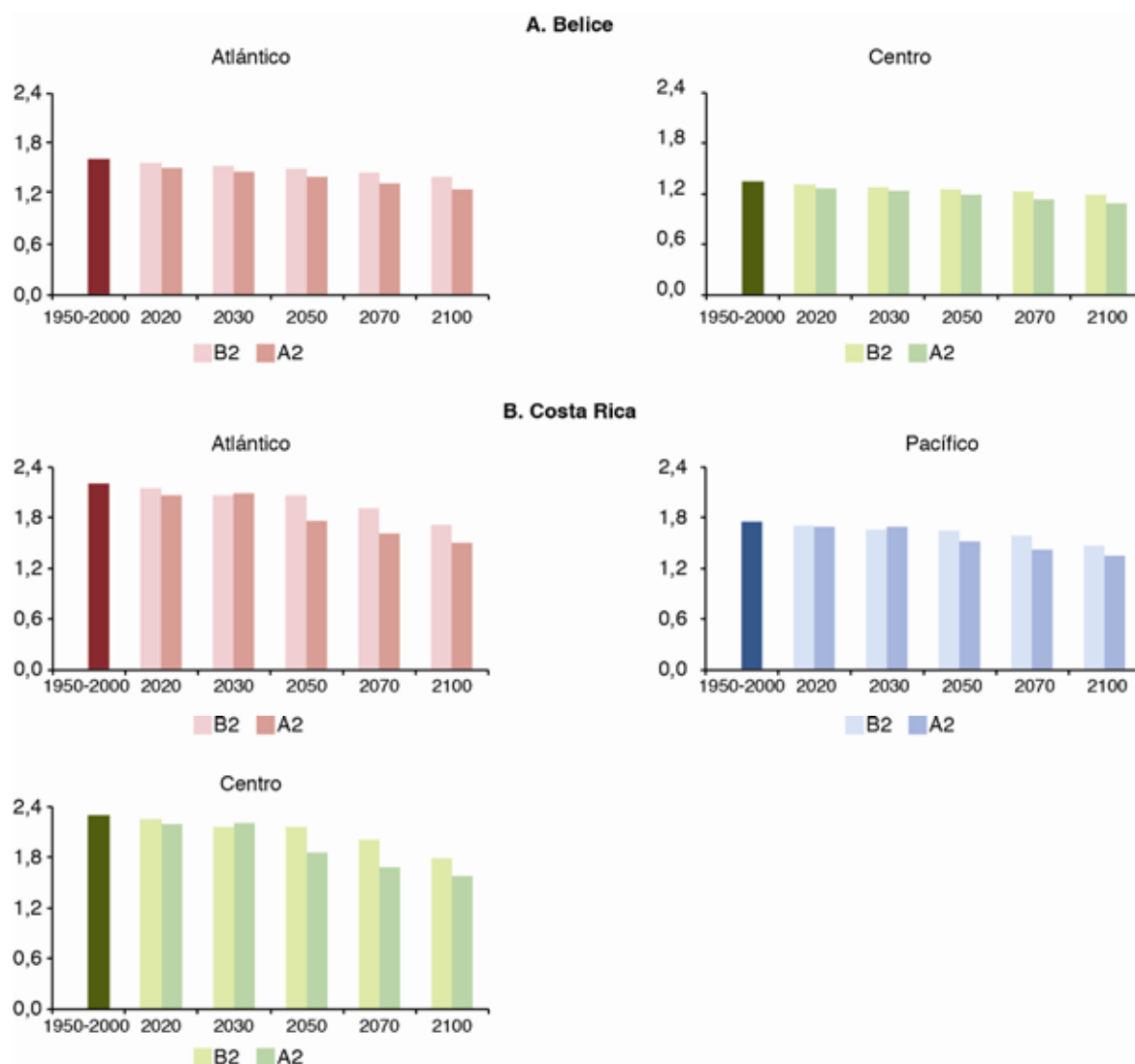


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico se aprecia que hacia el corte de 2100 se reduciría la variación del índice entre las regiones climáticas. Esto resulta más evidente en el escenario A2, bajo el cual las cuatro regiones tendrían un valor del índice de aridez cercano a 1,2. Esto implicaría condiciones de aridez promedio cada vez más homogéneas entre las regiones. El gráfico 4 muestra la evolución del índice de aridez por países y regiones en los períodos de corte 1950 a 2000, 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100. En general, la reducción del valor del índice se acelera durante la segunda mitad del presente siglo, con mayor rapidez en el escenario A2.

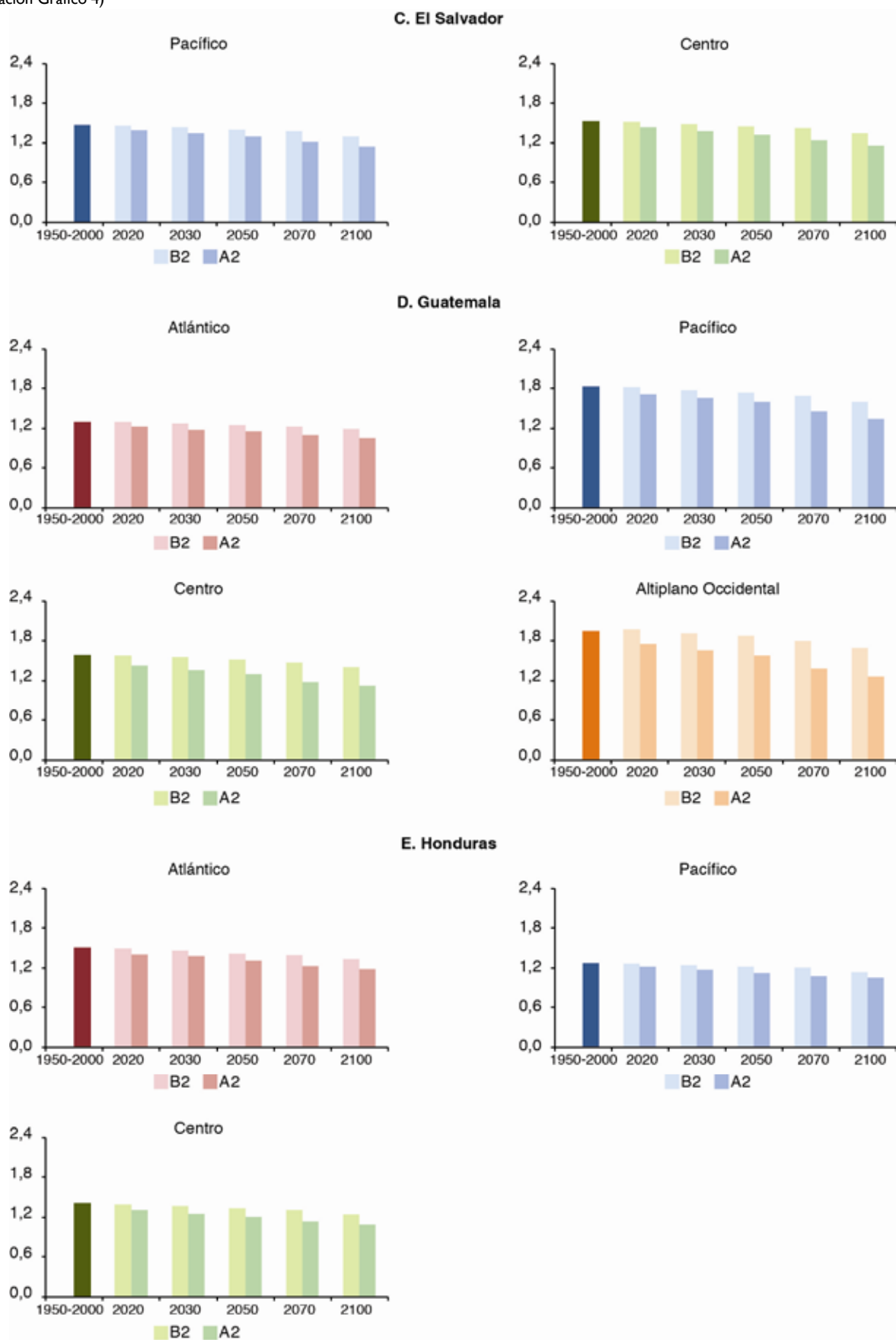
GRÁFICO 4
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950-2000 Y
ESCENARIOS B2 Y A2, CON CORTES A 2100

(En unidades del índice de aridez)



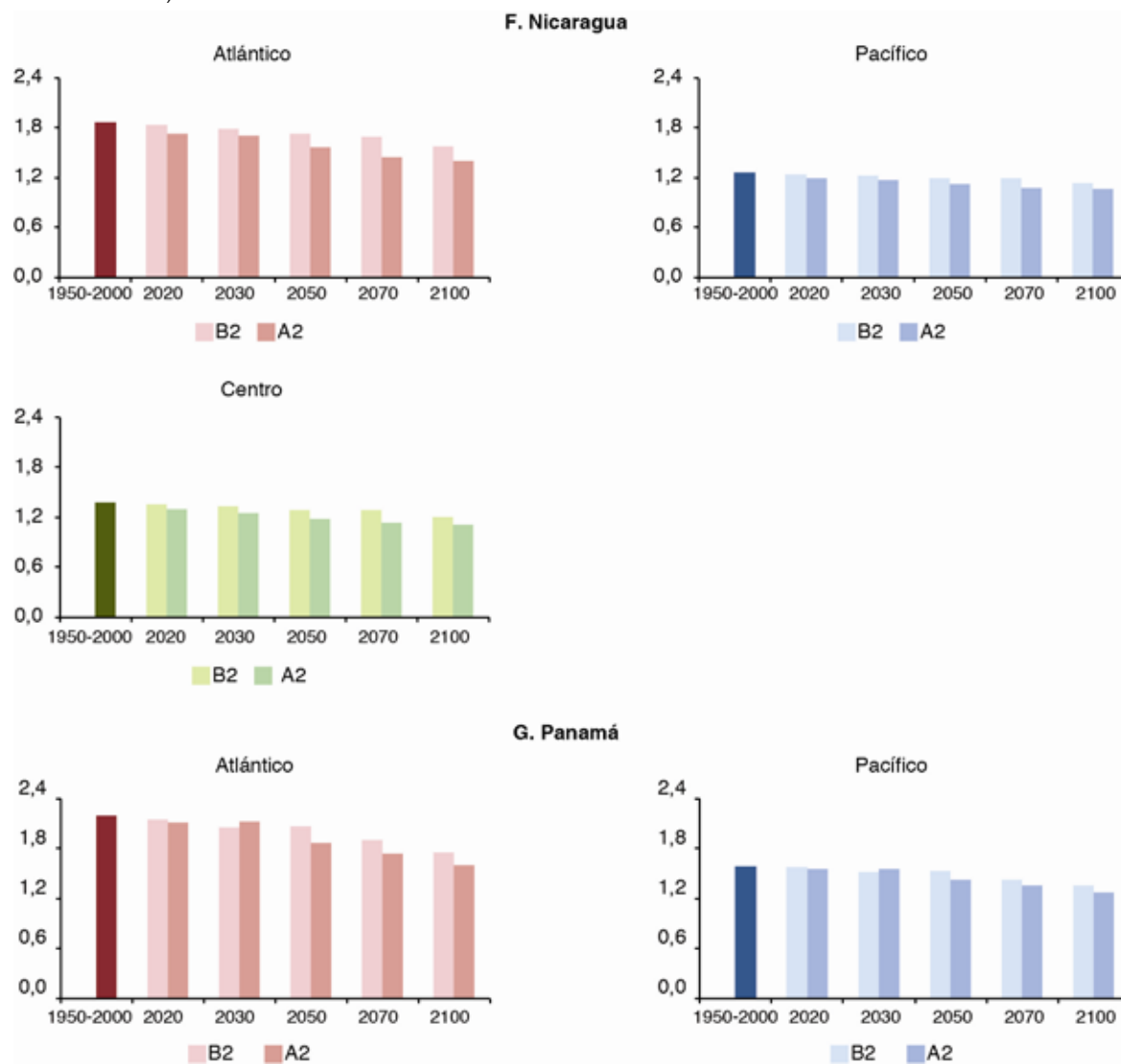
(continúa)

(continuación Gráfico 4)



(continúa)

(continuación Gráfico 4)



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 4 presenta los resultados del índice de aridez para el corte al 2100 por país y región geoclimática con los escenarios B2 y A2. Los países con mayor humedad en la región Atlántico serían Panamá y Costa Rica, con valores entre 1,51 y 1,75, dependiendo del país y el escenario. Los países más áridos serían Guatemala y Belice, en el rango de 1,06 a 1,41. En la región Pacífico, los países con mayor humedad serían Guatemala y Costa Rica, con valores entre 1,35 y 1,61, mientras que los de mayor aridez serían Honduras y Nicaragua con valores en el rango de 1,05 a 1,14. En la región Centro, el país con mayor humedad sería Costa Rica con valores de 1,58 y 1,80 y el más árido sería Belice con valores de 1,09 y 1,20. En el Altiplano Occidental guatemalteco los valores serían de 1,69 en el escenario B2 y 1,26 en el escenario A2.

Las variaciones estimadas del índice de aridez al corte 2100 por país y región geoclimática se presentan en el cuadro 5. Todas las regiones geoclimáticas presentes en cada país experimentarían reducciones en el índice, equivalentes a una mayor aridez. Costa Rica registraría el mayor incremento de aridez, con la mayor disminución del índice de -0,43 unidades, mientras que en A2 sería de -0,61 unidades. Dentro de este país, la mayor disminución ocurriría en la región Centro

con -0,51 y -0,73 unidades con los escenarios B2 y A2, respectivamente. Honduras presenta la menor disminución promedio con -0,16 y -0,29 unidades con los dos escenarios.

CUADRO 4
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, ESCENARIOS B2 Y A2, 2100
(En unidades del índice de aridez)

País	Región							
	Atlántico		Pacífico		Centro		Altiplano Occidental	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
Belize	1,41	1,26			1,20	1,09		
Costa Rica	1,72	1,51	1,47	1,36	1,80	1,58		
El Salvador			1,31	1,14	1,34	1,16		
Guatemala	1,19	1,06	1,61	1,35	1,40	1,12	1,69	1,26
Honduras	1,34	1,18	1,14	1,05	1,25	1,09		
Nicaragua	1,58	1,40	1,13	1,07	1,20	1,11		
Panamá	1,75	1,60	1,36	1,27				
Centroamérica	1,40	1,25	1,33	1,20	1,33	1,16	1,69	1,26

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 5
CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950-2000 Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100
(En cambio en unidades del índice de aridez)

País	Región							
	Atlántico		Pacífico		Centro		Altiplano Occidental	
	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2
Belize	-0,20	-0,35			-0,14	-0,25		
Costa Rica	-0,49	-0,70	-0,28	-0,39	-0,51	-0,73		
El Salvador			-0,18	-0,34	-0,19	-0,38		
Guatemala	-0,11	-0,25	-0,23	-0,49	-0,19	-0,47	-0,27	-0,70
Honduras	-0,17	-0,33	-0,13	-0,22	-0,17	-0,32		
Nicaragua	-0,29	-0,47	-0,13	-0,20	-0,18	-0,27		
Panamá	-0,45	-0,60	-0,23	-0,32				

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los resultados por región en el escenario B2 hacia finales del siglo, la región Atlántico experimentaría un mayor aumento de aridez, con la mayor disminución promedio del índice, un cambio de -0,29 unidades, seguida por la región Altiplano Occidental guatemalteco con un cambio de -0,27 unidades. En el escenario A2, el Altiplano Occidental guatemalteco experimentaría el mayor aumento de aridez, con la mayor disminución del índice en -0,70 unidades, seguida por la región Atlántico con -0,45 unidades. En el período 1950 a 2000, estas dos regiones son las que presentaron mayor humedad.

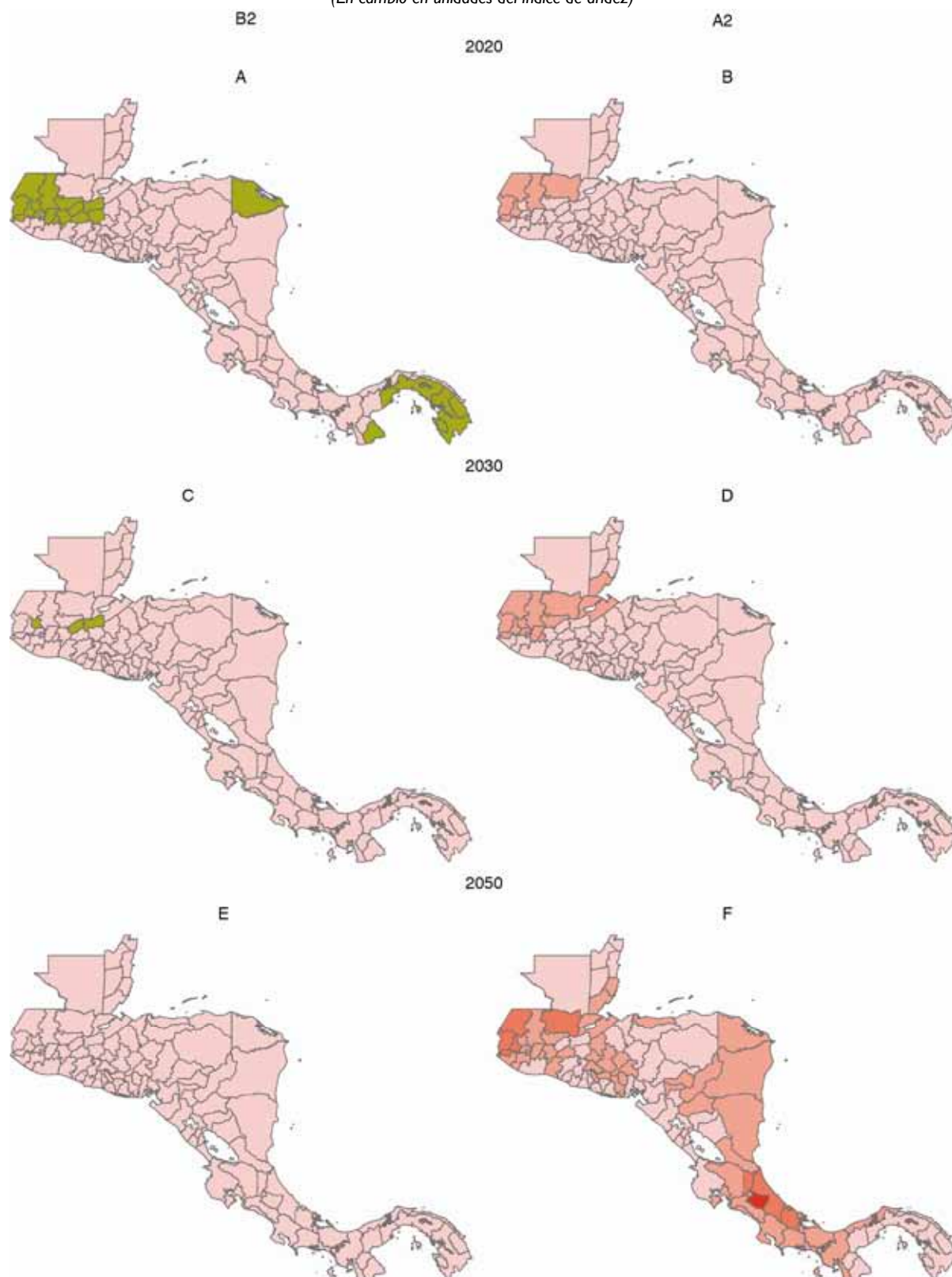
Los cambios estimados por departamento se ilustran en el mapa 3. En el escenario B2 al corte 2020, la mayoría de los departamentos experimentaría ligeros aumentos de aridez, con cambios del índice, en el rango de -0,01 a -0,20 unidades. Solo en 18 departamentos (19%) habría una reducción ligera de aridez (incremento del índice) en el rango de 0 a 0,05; incluyendo Chiquimula, El Progreso y Zacapa en la región Atlántico de Guatemala, Baja Verapaz, Guatemala y Jalapa en la región Centro y todo el Altiplano Occidental guatemalteco; Gracias a Dios en la región Atlántico de Honduras; y en las Provincias de Darién, Los Santos y Panamá en la región Pacífico de Panamá.

En contraste, en el escenario A2 al corte 2020, los resultados sugieren que en la mayor parte del territorio de Centroamérica habría mayor aridez con cambios ligeros en el rango de -0,01 a -0,20. En los Departamentos de Alta Verapaz (región Centro) y Huehuetenango, Quetzaltenango, Quiché y San Marcos (Altiplano Occidental guatemalteco), la disminución alcanzaría el rango de -0,21 a -0,40. En general, los cambios al corte 2020 son relativamente menores y de ambas tendencias.

Los resultados para la década 2030 muestran una tendencia a mayor aridez respecto al período 1950 a 2000. Con el escenario B2, solamente tres departamentos presentan disminución de aridez; Totonicapán, Zacapa y El Progreso en Guatemala con variaciones en el rango de 0 a 0,01, mientras que en el resto de Centroamérica la aridez aumentaría en el rango -0,01 a -0,20. Con el escenario A2, la aridez seguiría aumentando respecto al período histórico con cambios en el rango de -0,01 a -0,20. En Guatemala se incrementa el número de departamentos con aridez creciente en el rango de -0,21 a -0,40, incluyendo los Departamentos de Baja Verapaz, Chimaltenango, Izabal, Sacatepéquez, Sololá y Totonicapán, además de los cinco departamentos que perfilan este rango para el corte a 2020. El Distrito de Toledo en Belice también tendría aumento de aridez en el rango de -0,20 a -0,40 para el corte a 2030.

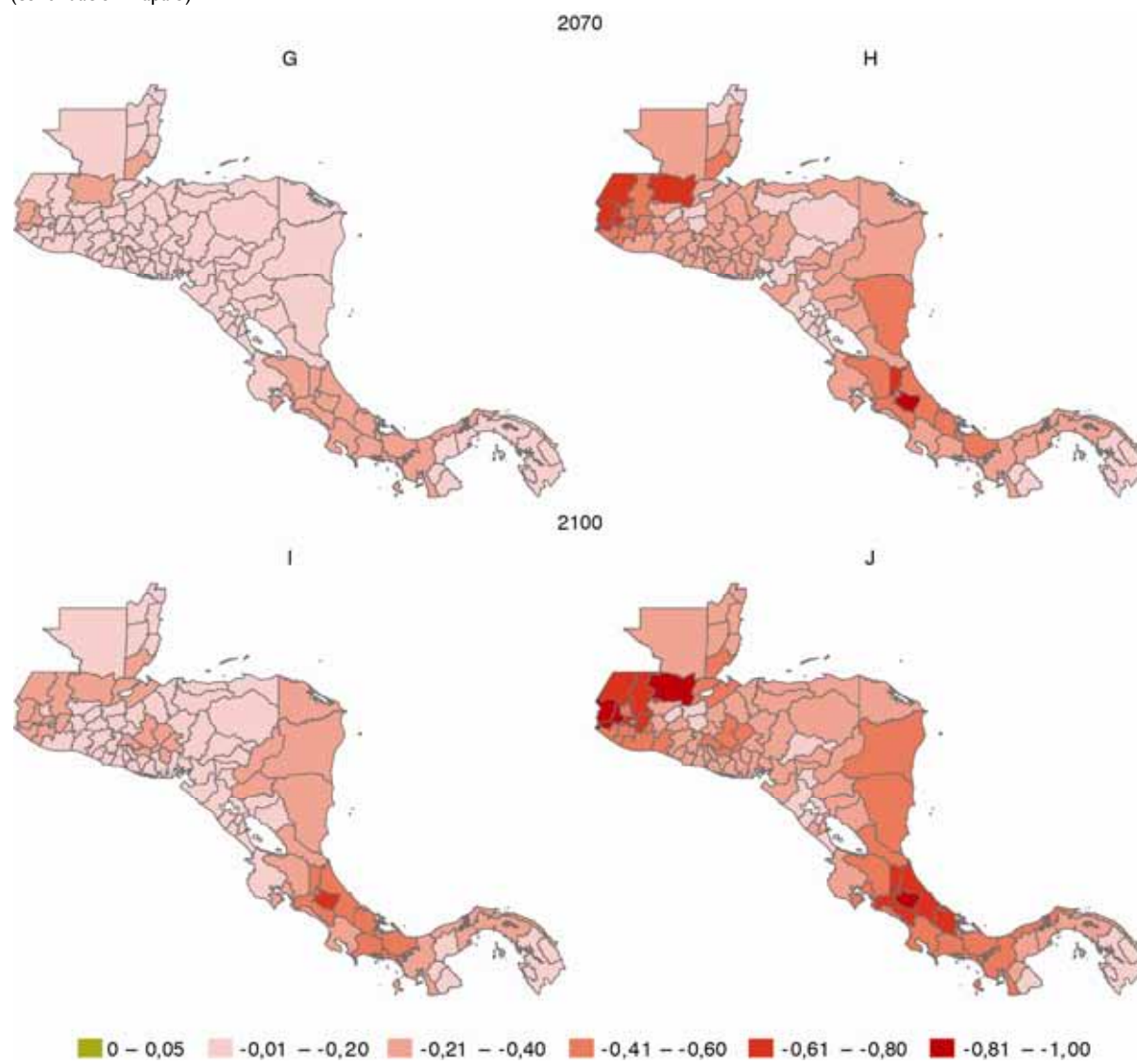
MAPA 3
CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, ESCENARIOS B2 Y A2, CON
CORTES A 2100

(En cambio en unidades del índice de aridez)



(continúa)

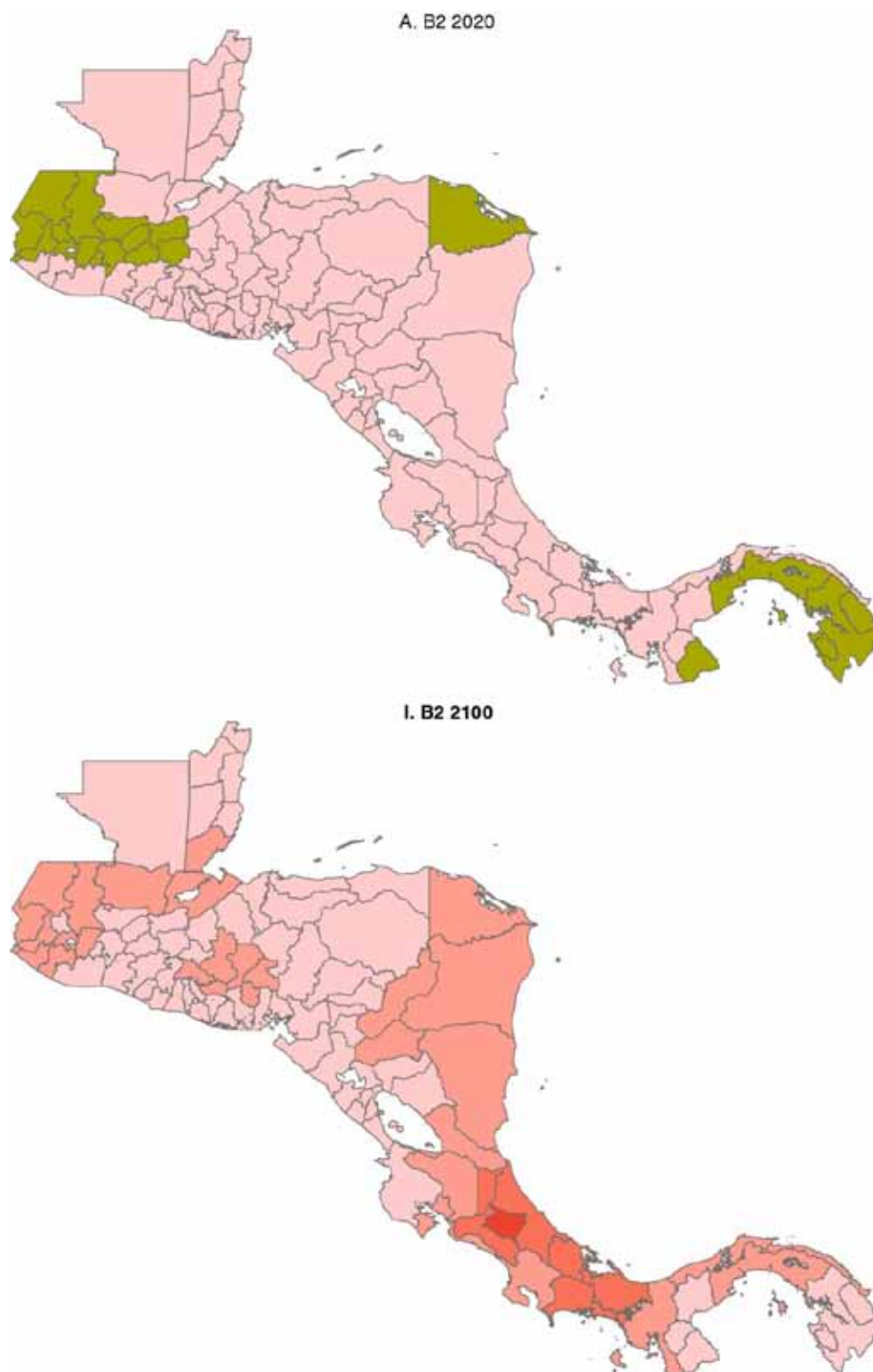
(continuación Mapa 3)



Fuente: Elaboración propia.

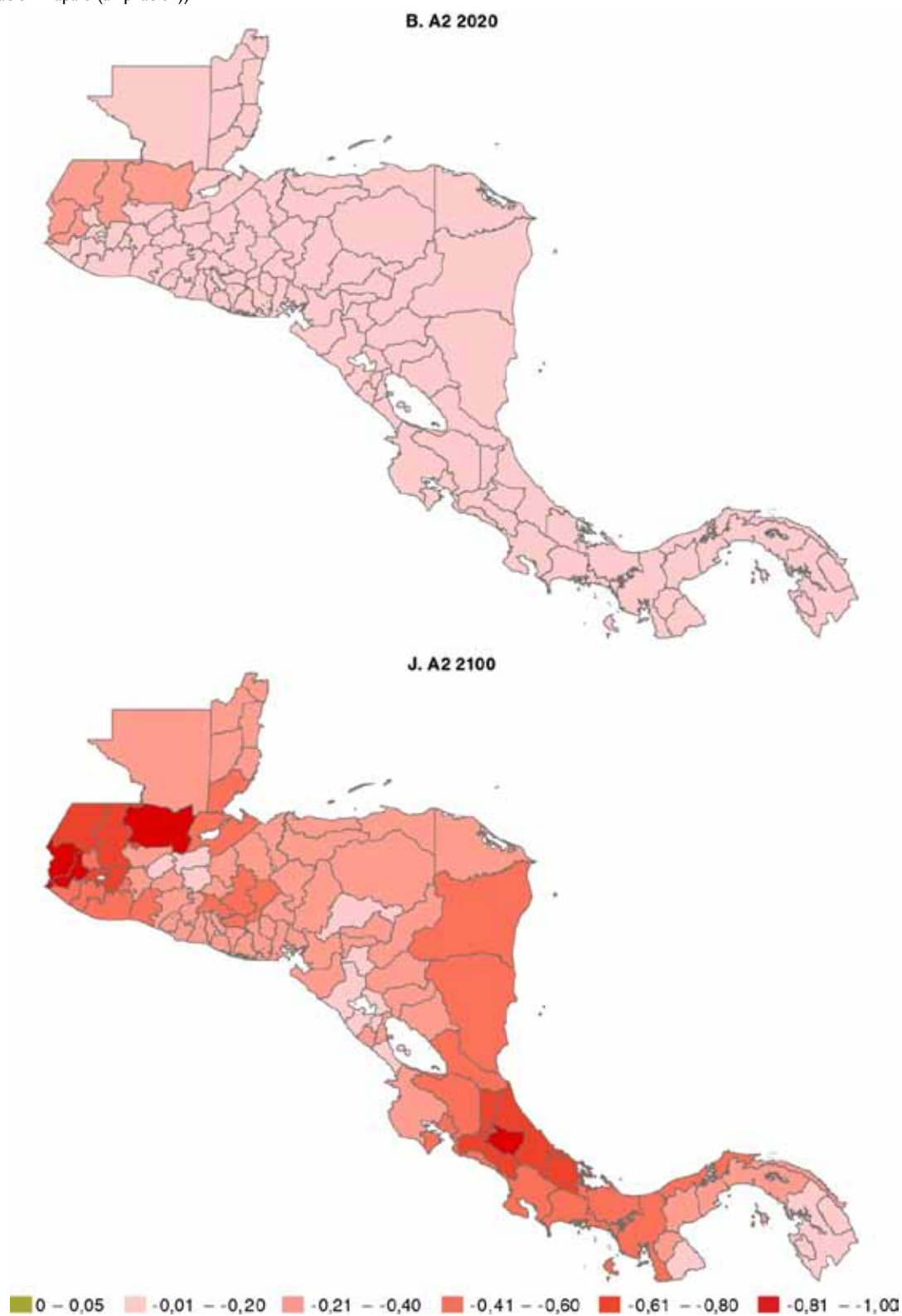
MAPA 3 (AMPLIACIÓN)
CENTROAMÉRICA: VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE ARIDEZ POR DEPARTAMENTO, ESCENARIO B2 Y A2,
CORTES 2020 Y 2100

(En cambio en unidades del índice de aridez)



(continúa)

(continuación Mapa 3 (ampliación))



Fuente: Elaboración propia.

Hacia el corte 2050, en el escenario B2, todo el territorio de Centroamérica experimentaría aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 respecto al período histórico. Bajo el escenario A2, 40 departamentos experimentarían un aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40 unidades, lo cual representa 42% del total. Estos departamentos se localizan en la mayor parte del territorio de Guatemala, la región Atlántico de Belice, Atlántico y Centro de Honduras, Centro de El Salvador, Atlántico y Centro de Nicaragua, Centro y Pacífico de Costa Rica y Pacífico en Panamá. Además, siete departamentos tendrían aumento de aridez en el rango de -0,41 a -0,60. Éstos son Alta Verapaz, Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango en Guatemala, Heredia y Limón en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. La Provincia de Cartago en Costa Rica tendría el mayor aumento de aridez (rango de -0,61 a -0,80) respecto al valor del período 1950 a 2000.

De acuerdo con los resultados presentados en el mapa 3, durante la segunda mitad del presente siglo se aceleraría el aumento de aridez en ambos escenarios climáticos. En B2, para el corte 2100, 61% de los departamentos registraría un aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 unidades; 31% experimentaría un aumento en el rango de -0,21 a -0,40, principalmente en la región Atlántico, y en menor medida en las regiones Centro, Altiplano Occidental guatemalteco y la costa Pacífico de Guatemala, Costa Rica y Panamá. Las regiones con mayor aumento de aridez serían las de Centro y Atlántico de Costa Rica, y Bocas del Toro, Chiriquí y la comarca Ngöbe-Bugle en Panamá, con disminuciones en el rango de -0,41 a -0,60 (5% de los departamentos). La provincia con mayor aumento de aridez en el escenario B2 es Cartago, Costa Rica, en el rango de -0,61 a -0,80.

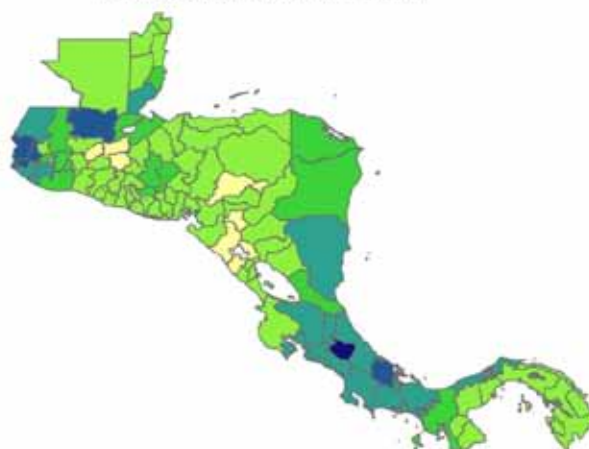
En el escenario A2 las condiciones serían más severas. Para el corte 2100 se espera que únicamente 11 departamentos (12%) tengan rangos bajos de aumento de aridez, de -0,01 a -0,20 unidades. Tres de ellos se ubican dentro del corredor seco en la región Atlántico de Guatemala; los otros son El Paraíso en Honduras; Estelí, León, Managua, Masaya y Rivas en Nicaragua, y Los Santos y Darién y las comarcas de esta región en Panamá. Cincuenta y un departamentos (54%) tendrían aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40; 21 departamentos (22%) tendrían aumentos en el rango de -0,41 a -0,60; ocho (8%) tendrían aumentos en el rango de -0,61 a -0,80 y cuatro (4%) tendrían aumentos en el rango de -0,81 a -1,00. Los departamentos con mayor aumento son Alta Verapaz (-0,85), San Marcos (-0,86) y Quetzaltenango (-0,90) en Guatemala, y la Provincia de Cartago (-1,00) en Costa Rica.

El mapa 4 presenta los resultados del índice de aridez para el período 1950 a 2000 (A), para el corte 2100 con los dos escenarios B2 (B) y A2 (D), y las variaciones del índice de aridez (C y E) por departamento. En general se puede observar que los departamentos sufrirían el mayor aumento de aridez son los que históricamente han sido más húmedos. Por el contrario, los departamentos con mayores niveles de aridez en el período 1950 a 2000 resultarían con el menor aumento de aridez durante el siglo actual. Al mismo tiempo, en términos absolutos los departamentos con menor aridez históricamente seguirían siendo los departamentos con menor aridez en estos escenarios, aunque sufrirían aumentos mayores respecto a los departamentos con mayor aridez. Así, se mantendría la distribución relativa de regiones con mayor y menor aridez, una reducción generalizada y más pronunciada en las regiones de mayor humedad.

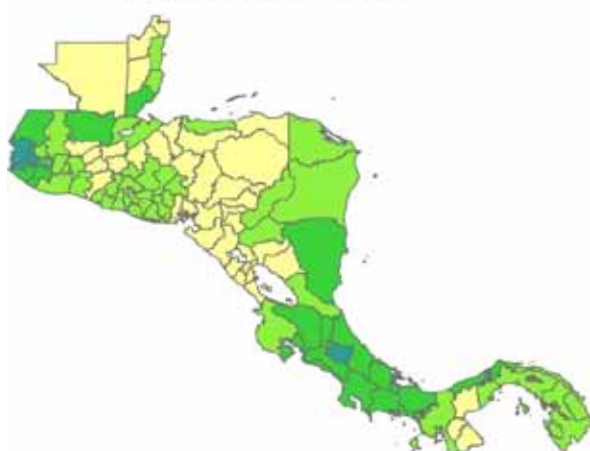
MAPA 4
CENTROAMÉRICA: ÍNDICE DE ARIDEZ Y SU VARIACIÓN POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000 Y
ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En unidades del índice de aridez y cambio en unidades en la variación)

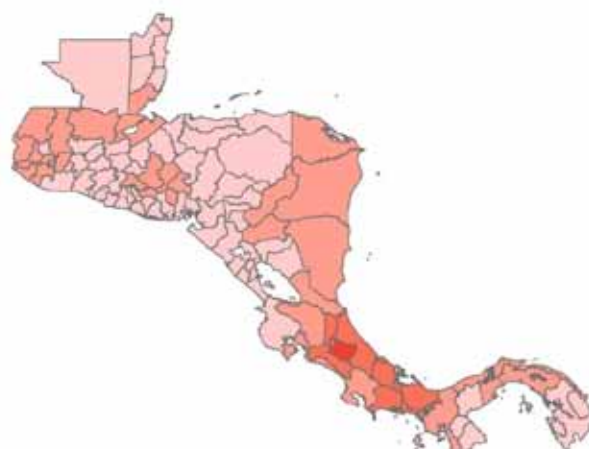
A. Índice de aridez, 1950-2000



B. Índice de aridez, 2100 B2



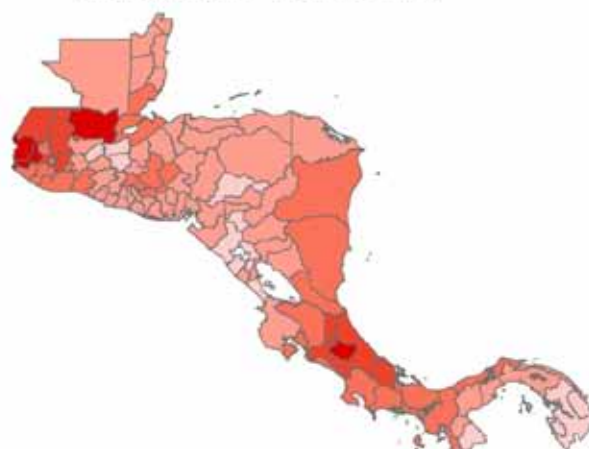
C. Variación 1950-2000 a 2100, B2



D. Índice de aridez, 2100 A2



E. Variación 1950-2000 a 2100, A2



Índice de aridez: 2,66 – 3,00 2,31 – 2,65 1,96 – 2,30 1,61 – 1,95 1,26 – 1,60 0,91 – 1,25
Variación: 0 – 0,05 -0,01 – -0,20 -0,21 – -0,40 -0,41 – -0,60 -0,61 – -0,80 -0,81 – -1,00

Fuente: Elaboración propia.

2. NÚMERO DE MESES SECOS

Los resultados presentados en la sección anterior sugieren que en las próximas dos décadas podrían ocurrir tendencias de inicio de mayor aridez, con algunas zonas limitadas experimentando menor aridez, seguido por una fluctuante pero progresiva acumulación de mayor aridez, especialmente en el escenario A2. Tales cambios podrían traer mayores riesgos dependiendo de la distribución intraanual de la precipitación, incluyendo el inicio, duración, estabilidad y fin de la temporada de lluvias y en la canícula. Así en esta sección se presentan estimaciones de cambios potenciales en estas variables intraanuales. En particular, se analiza el número de meses secos que ocurren en un año por departamento y región geoclimática, comparando el promedio histórico de 1950 a 2000 con los escenarios de cambio climático B2 y A2 para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100.

De acuerdo con la “Guía Metodológica para la Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe” (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), un mes seco es aquel en el que la precipitación es menor al 50% de la evapotranspiración³ en un área determinada, es decir:

$$LP_D = \text{No. de meses secos} = P < 0,5ET_0$$

Donde LP_D es el número de meses cuando la humedad producto de la lluvia es menor que la mitad de la evapotranspiración (ET_0) del mismo mes. Es decir, se considera que un mes es seco cuando la precipitación es insuficiente para recuperar al menos la mitad de la humedad perdida por evapotranspiración. El índice de aridez arroja información sobre las condiciones de falta de humedad promedio en el ambiente de una región determinada, mientras que el número de meses secos provee información sobre la sequedad durante un mes determinado.

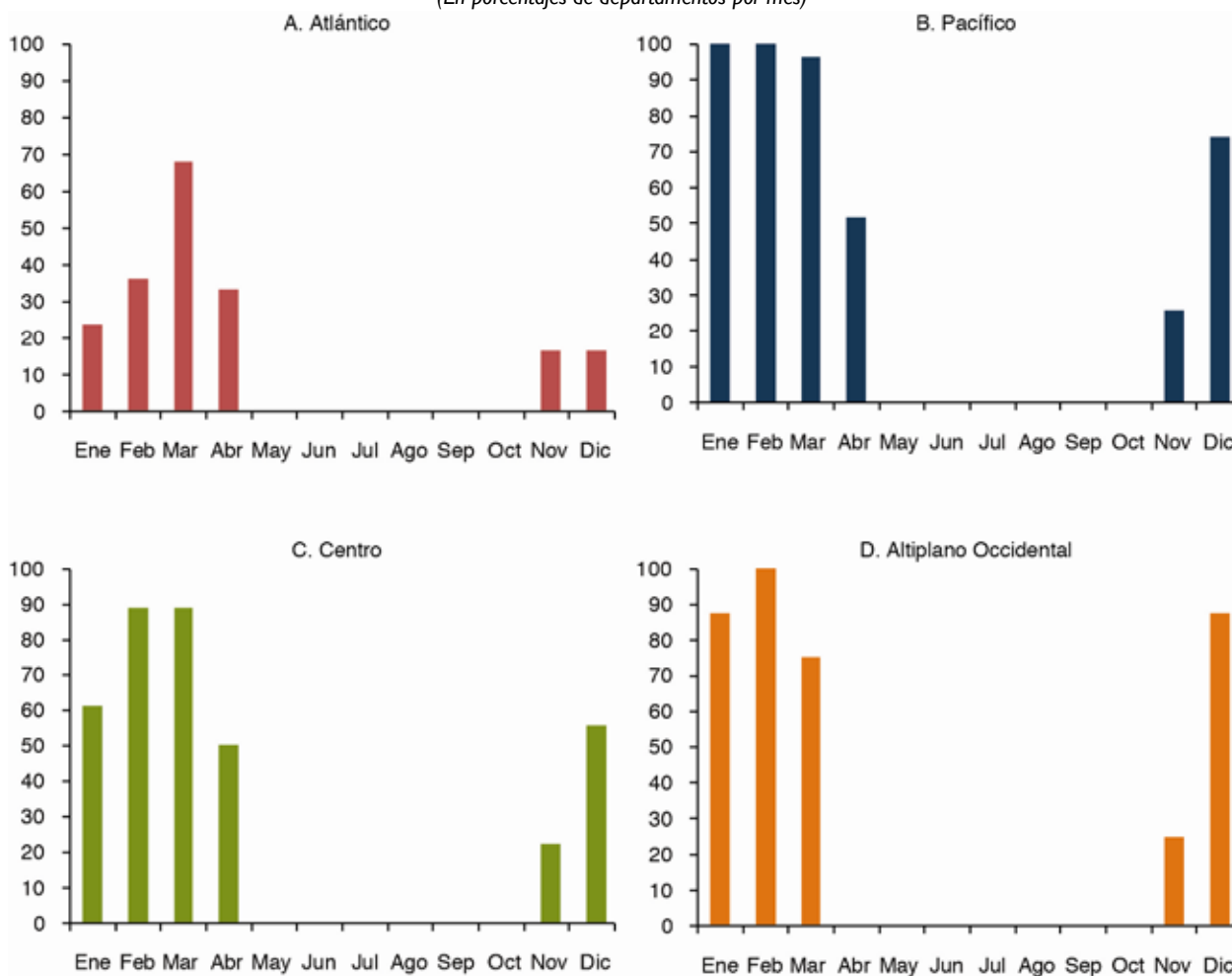
ANÁLISIS DEL PERÍODO HISTÓRICO DE CENTROAMÉRICA Y DE LOS PAÍSES

En el período histórico de 1950 a 2000, la temporada seca tendía a ocurrirse en todas las regiones entre los meses de noviembre y abril. El gráfico 5 presenta el porcentaje de departamentos en condiciones de mes seco durante cada mes como promedio de este período histórico, ordenado por región geoclimática. En la región del Pacífico y el Altiplano Occidental guatemalteco las dos temporadas, seca y de lluvia, eran más definidas, mientras que en la región Centro existía más variedad, con algunos departamentos sin mes seco y con un período más prolongado de final de la

³ La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa más la pérdida por transpiración de la vegetación. Aquí se calcula con la ecuación de Turc (1963).

temporada de lluvias. En la región Atlántico era aun menos definido, ya que muchos departamentos recibían cierta precipitación durante todo el año.

GRÁFICO 5
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
(En porcentajes de departamentos por mes)



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 6 presenta el porcentaje de departamentos en condiciones de mes seco durante cada mes, por región climática y su extensión en km². Destaca los hechos que ningún mes tenía la condición de mes seco entre mayo y octubre en ninguna de las regiones y que la región Atlántico experimentaba la menor proporción de departamentos con características de mes seco a lo largo del año. En esta región, de noviembre a enero menos de 25% de los departamentos se encontraban en condiciones secas, subiendo a casi 70% en marzo para reducirse a una tercera parte en abril. En contraste, la región Pacífico presentaba la mayor proporción de departamentos en condición seca a lo largo del año. Durante los meses de enero y febrero 100% de los departamentos presentaban esta condición y aun en marzo más de 95% lo experimentaba. Las lluvias iniciaban en abril y entre mayo y octubre no se registraban meses secos. Durante noviembre solo 26% de los departamentos se encontraban en condiciones secas.

CUADRO 6
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950–2000
(En porcentaje de departamentos y km² por mes)

Mes	Atlántico		Pacífico		Centro		Altiplano Occidental		Total
	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	Km ²
Ene.	23,6	28 820	100,0	119 186	61,1	58 007	87,5	18 868	224 881
Feb.	36,1	40 744	100,0	119 186	88,9	139 623	100,0	26 088	325 641
Mar.	68,1	156 733	96,3	112 638	88,9	139 623	75,0	14 897	423 891
Abr.	33,3	60 401	51,8	46 208	50,0	84 917	-	-	191 526
May.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ago.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov.	16,7	10 204	25,9	12 788	22,2	12 422	25,0	1 526	36 940
Dic.	16,7	10 204	74,1	58 223	55,6	49 799	87,5	18 688	136 914
Total ^a	24	202 073	27	119 487	36	159 429	8	26 088	507 078

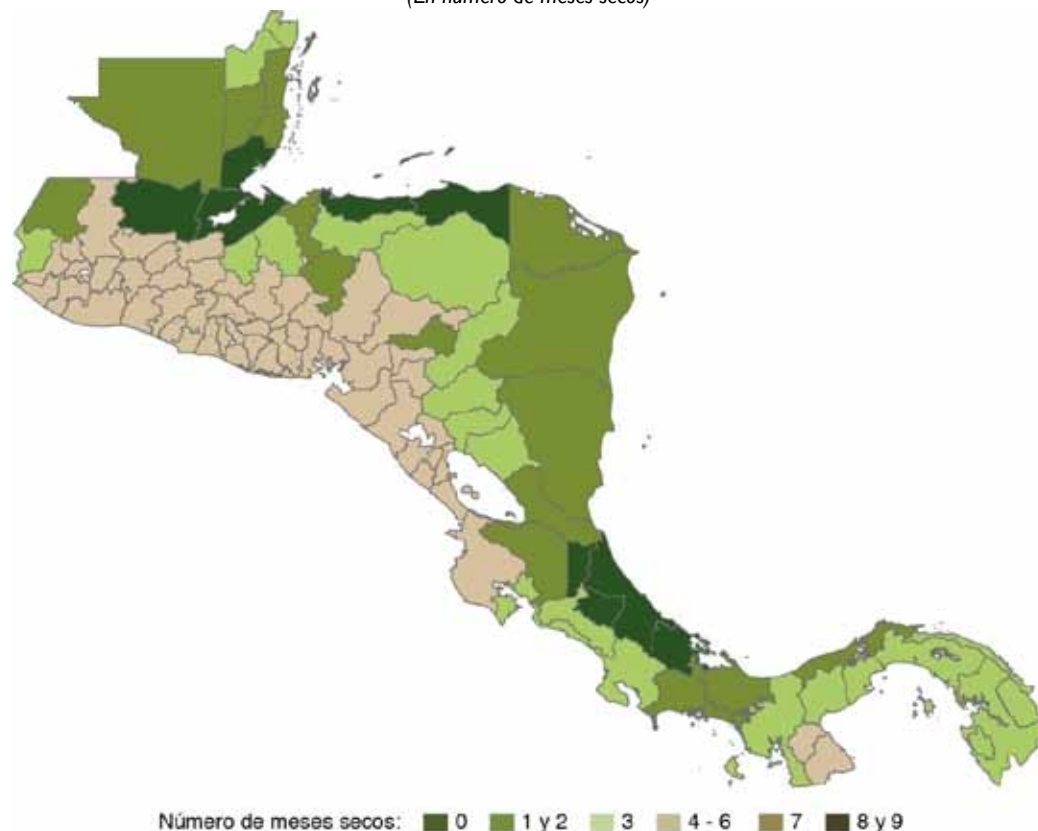
^a Se refiere al número total de departamentos en cada región y a la superficie total en km² de cada región.

Fuente: Elaboración propia.

Marzo es el mes cuando la mayor extensión del territorio centroamericano ha mostrado condiciones secas históricamente; casi 424.000 km², equivalentes a aproximadamente 85% del territorio. Por su extensión, la región Atlántico es la que presenta la mayor superficie seca durante este mes con 156.733 km², aunque solo 68% de sus departamentos muestran tal condición.

El mapa 5 ilustra el número de meses secos por año en cada departamento como promedio del período 1950 a 2000, agrupado en seis rangos. Como se puede apreciar, la región Pacífico es la que ha tenido el mayor número de meses secos por año, entre cuatro y seis, principalmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En contraste, la región Atlántico presentaba el menor número. De hecho, en el Distrito de Toledo, en Belice, los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal en Guatemala y Atlántida en Honduras y la región Atlántico de Costa Rica normalmente no hayan experimentado meses secos como norma histórica. El resto de esta región tenía entre uno y dos meses secos. Las regiones Centro y Altiplano Occidental guatemalteco presentaban climas más diversos con entre uno y seis meses secos. Como promedio histórico, ningún departamento registraba más de seis meses secos por año.

MAPA 5
CENTROAMÉRICA: MESES SECOS AL AÑO POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950–2000
(En número de meses secos)

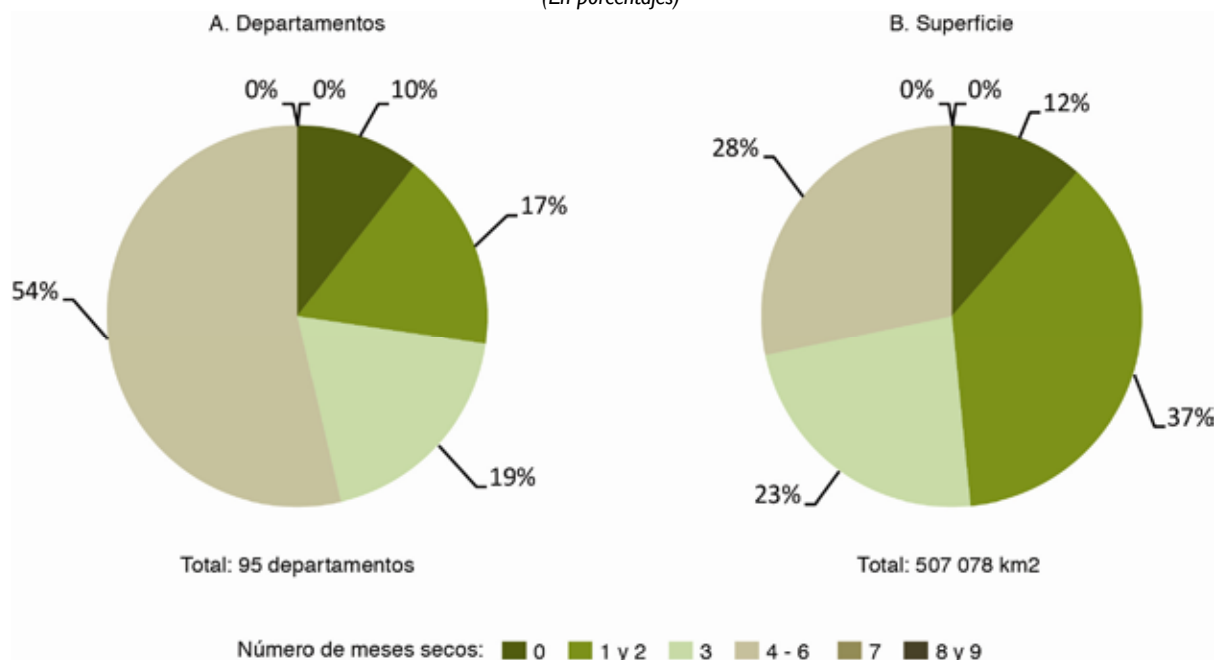


Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 6 se aprecia que 54% de los departamentos de Centroamérica experimentaban entre cuatro y seis meses secos al año como promedio en el período histórico, 19% lo presentaban durante tres meses y 17% entre uno y dos meses, cubriendo 28%, 23% y 37% del superficie total de la región, respectivamente. En resumen, aproximadamente 49% de la superficie experimentaban entre cero y dos meses secos durante el período de 1950 a 2000. Este porcentaje se concentra en la región Atlántica y en la parte este de la región Centro (mapa 5). El 51% restante, concentrado en la región Pacífica y la parte oeste de la región Centro, ha presentado entre tres y seis meses secos. En términos administrativos, 27% de los departamentos tenían una temporada seca de cero a dos meses secos y 73% restante experimentaba una de tres a seis meses, principalmente en la región Pacífica y la parte oeste de la región Centro.

GRÁFICO 6
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS Y SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS AL AÑO,
PROMEDIO 1950–2000

(En porcentajes)

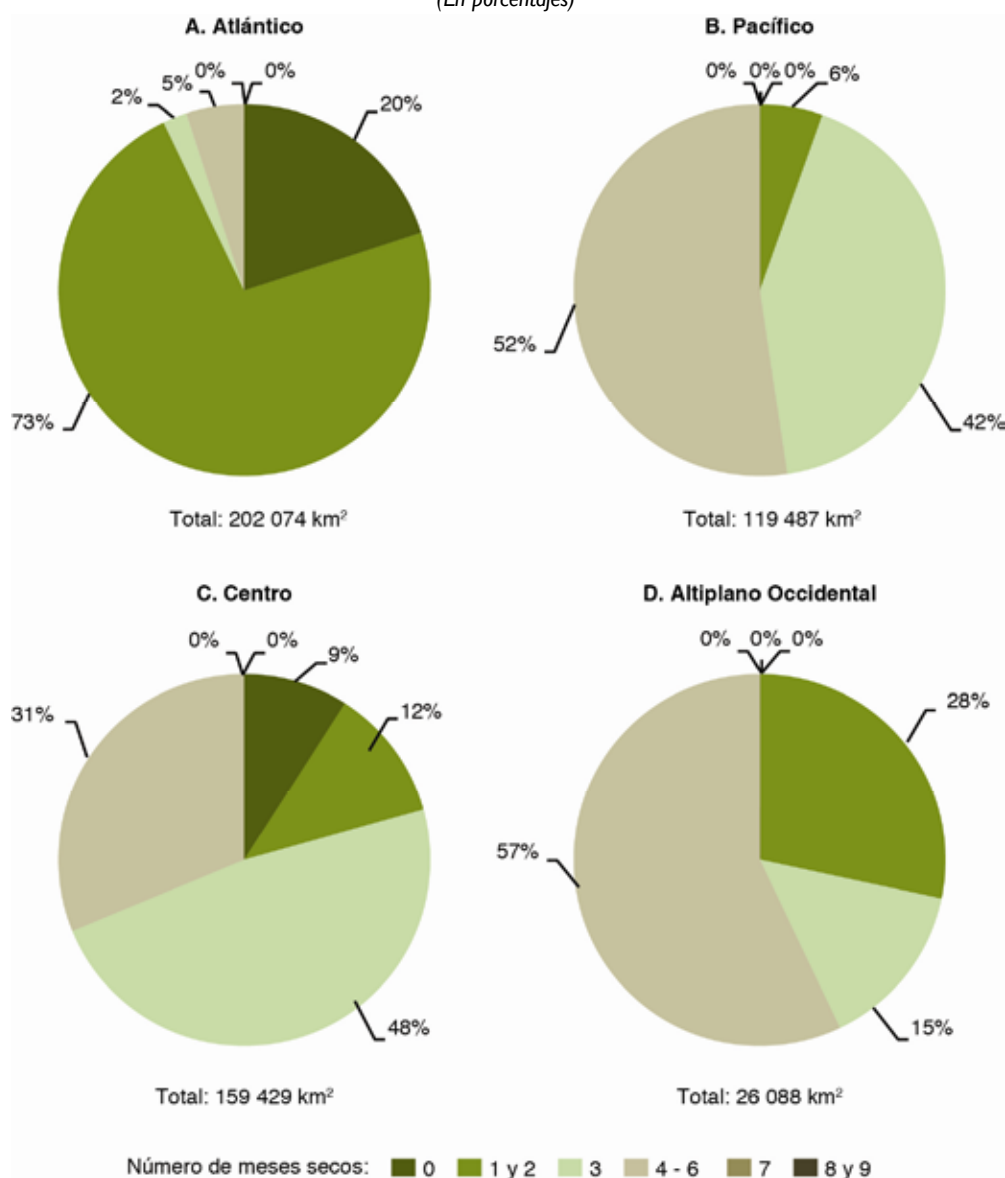


Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 7 presenta las diferencias de superficie afectada por diferentes números de meses secos, ordenadas por región geoclimática. Del total de la superficie de la región Atlántico, 93% tenía de cero a dos meses secos, el 2% experimentaba tres meses secos y el 5% entre cuatro y seis. En contraste, en la región Pacífico solamente 6% de la superficie tenía una temporada seca de cero a dos meses, 42% tiene experimentaba tres meses secos, y poco más del 50% de la superficie entre cuatro y seis meses secos (62.133 km²). La región Centro presentaba entre tres y seis meses secos en casi 80% de su territorio (125.949 km²). El resto tenía entre cero y dos meses secos. En el Altiplano Occidental guatemalteco seis de los ocho departamentos, equivalentes a 57% de la superficie, experimentaban temporada seca de cuatro a seis meses.

En resumen, el gráfico 7 permite observar el contraste de duración de la temporada seca entre la costa Atlántico y la costa Pacífico. La región Centro aparece como zona de transición entre ambas costas, experimentando entre tres y seis meses secos. En términos administrativos, la mayoría de los departamentos de Centroamérica experimentaba un período seco de entre cuatro y seis meses, si bien la temporada duraba entre uno y dos meses en la mayor parte de la superficie, concentrada en la región Atlántico.

GRÁFICO 7
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA,
PROMEDIO 1950–2000
(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

El patrón de la temporada seca también muestra comportamientos diferentes entre los países. El gráfico 8 presenta el porcentaje de departamentos en condiciones de mes seco por cada mes del año en cada región y país según el promedio del período 1950 a 2000.

Belice presentaba una temporada seca de tres meses (febrero, marzo y abril). Más de 70% de sus distritos en la región Atlántico tenían características secas en marzo y el 100% de los distritos de la región Centro las experimentaban en abril.

La región Atlántico de Costa Rica, conformada por la Provincia de Limón, normalmente no experimentaba meses secos. La temporada seca de su región Pacífico duraba cinco meses en promedio, de diciembre a abril con 100% de sus provincias en condición de mes seco durante enero,

febrero y marzo, y 50% en abril y diciembre. En la región Centro el período seco ocurría en el 50% de las provincias en enero, febrero y marzo.

La temporada seca de El Salvador dura generalmente seis meses, de noviembre a abril. Todos los departamentos se catalogan en condición de mes seco entre diciembre y marzo en el período histórico. En noviembre y abril se daba la transición de inicio y final de la temporada seca.

En Guatemala ocurren varios patrones de temporada seca. En las regiones Atlántico y Centro tenía una duración de seis meses, de noviembre a abril, mientras que en las regiones Pacífico y Altiplano Occidental, duraba cinco meses entre noviembre y marzo. En la región Atlántico más de 60% de los departamentos presentaba características secas durante estos seis meses; y en marzo más de 80% de los mismos. En la región Centro más de 70% de los departamentos presentaban características secas entre diciembre y marzo; esta proporción disminuye a 50% en los meses de transición de abril y noviembre.

En Honduras las tres regiones tienen características diferentes. En el Atlántico la temporada seca duraba los meses de marzo y abril, pero con solamente 40% y 20% de los departamentos experimentando mes seco, respectivamente. En la región Pacífico la temporada duraba seis meses, de noviembre a abril. En la región Centro la temporada seca se extendía de diciembre a abril; durante febrero y marzo, el 100% de los departamentos presentaba características de mes seco.

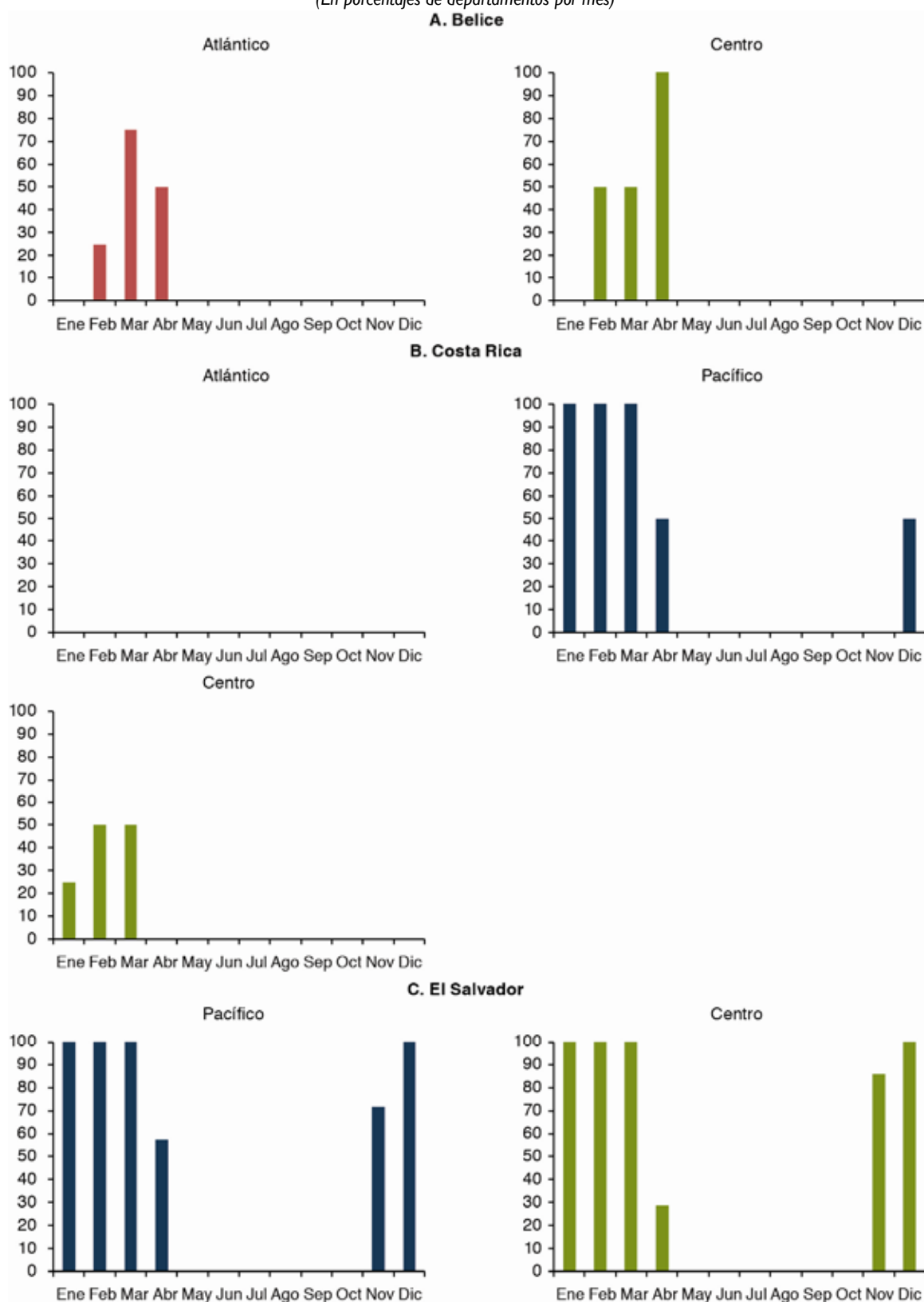
En Nicaragua los patrones de la temporada seca también difieren entre las regiones climáticas. En la región Atlántico se limitaba a marzo y abril, con más fuerza en el primero, cuando todos los departamentos muestran tal condición; en abril era apenas 30%. En contraste, la temporada seca de la región Pacífico se extiende de diciembre a abril en todos de sus departamentos. En la región Centro, la temporada seca normalmente se concentraba en los meses de febrero a abril, con menos que la mitad de los departamentos en condiciones de mes seco en diciembre y enero.

En la región Atlántico de Panamá, la temporada seca en la Provincia de Colón ocurre en febrero y marzo, en la comarca Ngöbe-Bugle en los dos primeros meses y en Kuna Yala de enero a marzo. En la región Pacífico ocurría de diciembre a abril con casi todas las provincias presentando condiciones secas durante los primeros tres meses del año.

El cuadro 7 resume la información del gráfico 8 y presenta la estimación de la extensión de territorio con característica de mes seco por país y por región geoclimática. Se puede concluir que en la región Atlántico el mes con mayor superficie en condición de mes seco ha sido marzo; en las regiones Pacífico y Centro la temporada seca comprendía de diciembre a marzo, y en el Altiplano Occidental guatemalteco abarcaba de diciembre a febrero.

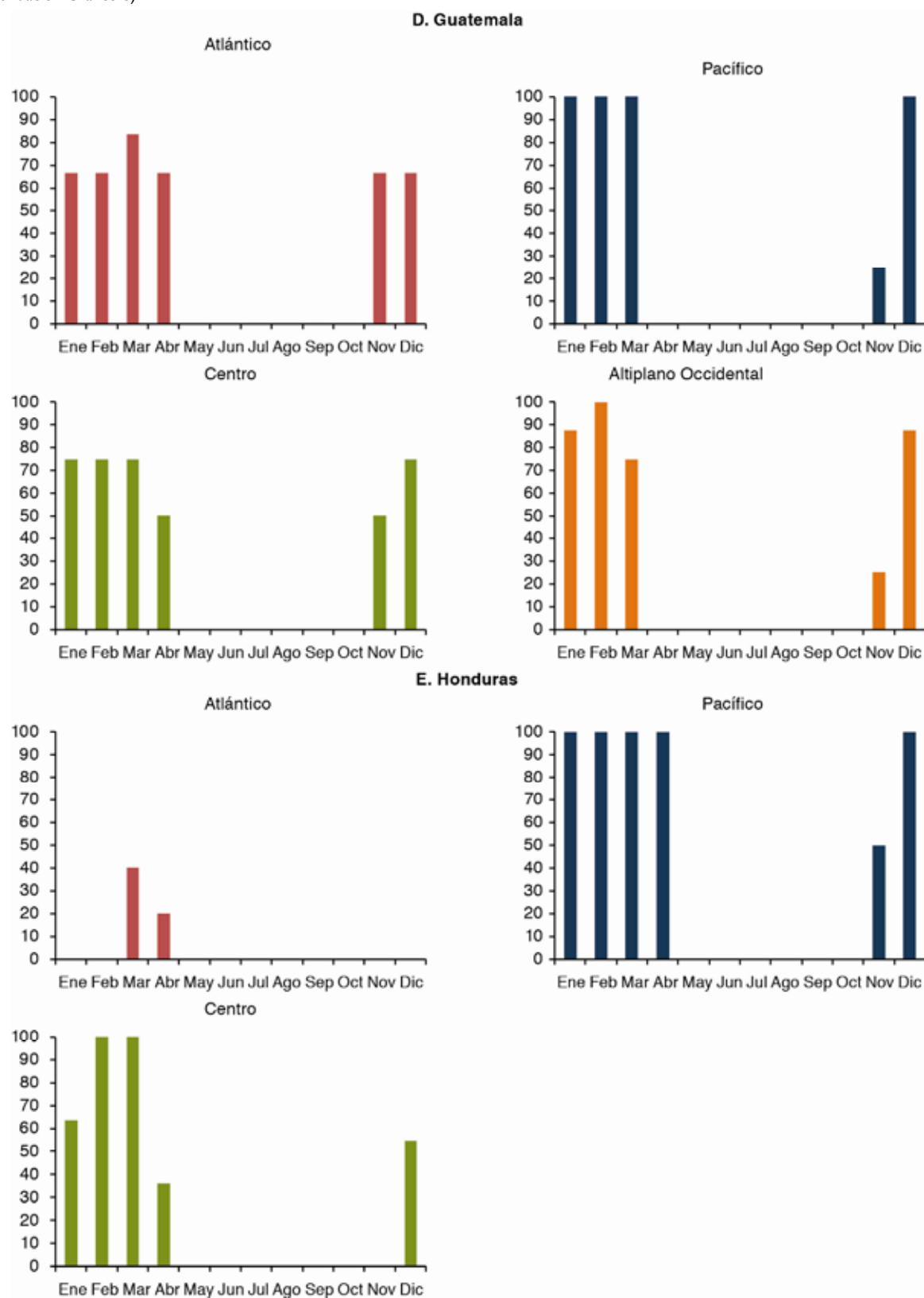
GRÁFICO 8
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950-2000

(En porcentajes de departamentos por mes)



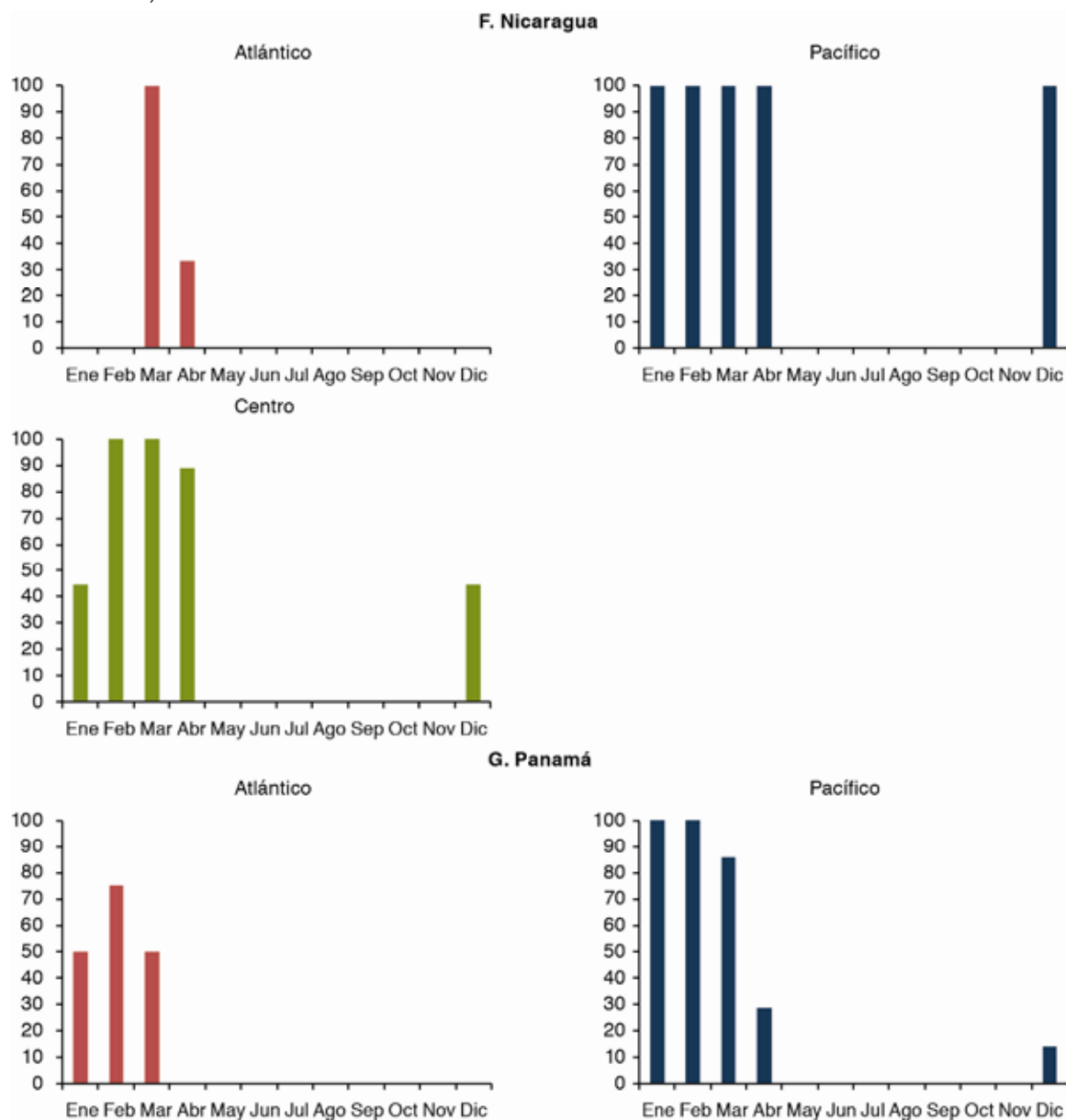
(continúa)

(continuación Gráfico 8)



(continúa)

(continuación Gráfico 8)



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 7
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA,
PROMEDIO 1950–2000

(En porcentaje de departamentos por región y km² de los departamentos clasificados en condición de mes seco)

Mes	Atlántico		Pacífico		Centro		Altiplano Occidental		Total
	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	Km ²
Belice									
Feb.	25,0	1 860			50,0	4 737			6 597
Mar.	75,0	8 240			50,0	4 737			12 977
Abr.	50,0	6 064			100,0	10 075			16 139
Total ^a	4	12 889			2	10 075			
Costa Rica									
Ene.	-	-	100,0	21 406	25,0	4 966			26 372
Feb.	-	-	100,0	21 406	50,0	14 724			36 130
Mar.	-	-	100,0	21 406	50,0	14 724			36 130
Abr.	-	-	50,0	10 141	-	-			10 141
Dic.	-	-	50,0	10 141	-	-			10 141
Total ^a	1	9 188	2	21 406	4	20 505			
El Salvador									
Ene.			100,0	11 624	100,0	9 417			21 041
Feb.			100,0	11 624	100,0	9 417			21 041
Mar.			100,0	11 624	100,0	9 417			21 041
Abr.			57,1	7 505	28,6	2 631			10 136
Nov.			71,4	8 268	85,7	8 233			16 501
Dic.			100,0	11 624	100,0	9 417			21 041
Total ^a			7	11 624	7	9 417			
Guatemala									
Ene.	66,7	10 204	100,0	11 705	75,0	7 313	87,5	18 688	47 910
Feb.	66,7	10 204	100,0	11 705	75,0	7 313	100,0	26 088	55 310
Mar.	83,3	46 058	100,0	11 705	75,0	7 313	75,0	14 897	79 973
Abr.	66,7	10 204	-	-	50,0	4 189	-	-	14 393
Nov.	66,7	10 204	25,0	2 955	50,0	4 189	25,0	1 526	18 874
Dic.	66,7	10 204	100,0	11 705	75,0	7 313	87,5	18 688	47 910
Total ^a	6	55 096	4	11 705	4	15 999	8	26 088	
Honduras									
Ene.	-	-	100,0	6 025	63,6	30 856			36 881
Feb.	-	-	100,0	6 025	100,0	72 762			78 787
Mar.	40,0	20 920	100,0	6 025	100,0	72 762			99 707
Abr.	20,0	3 923	100,0	6 025	36,4	44 199			54 147
Nov.	-	-	50,0	1 665	-	-			1 665
Dic.	-	-	100,0	6 025	54,5	27 614			33 639
Total ^a	5	33 777	2	6 025	11	72 762			

(continúa)

(continuación Cuadro 7)

Mes	Atlántico		Pacífico		Centro		Altiplano Occidental		Total
	%	Km2	%	Km2	%	Km2	%	Km2	
Nicaragua									
Ene.	-	-	100,0	16 637	44,4	5 589			22 226
Feb.	-	-	100,0	16 637	100,0	35 764			52 401
Mar.	100,0	67 107	100,0	16 637	100,0	35 764			119 508
Abr.	33,3	7 541	100,0	16 637	88,9	32 273			56 451
Dic.	-	-	100,0	16 637	44,4	5 589			22 226
Total ^a	3	67 107	5	16 637	9	35 764			
Panamá									
Ene.	50,0	9 309	100,0	52 038					61 347
Feb.	75,0	14 177	100,0	52 038					66 215
Mar.	50,0	7 209	85,7	45 490					52 699
Abr.	-	-	28,6	6 150					6 150
Dic.	-	-	14,3	2 341					2 341
Total ^a	4	18 821	7	52 038					

^a Se refiere al número total de departamentos en cada región y a la extensión superficial total en km² de cada región.

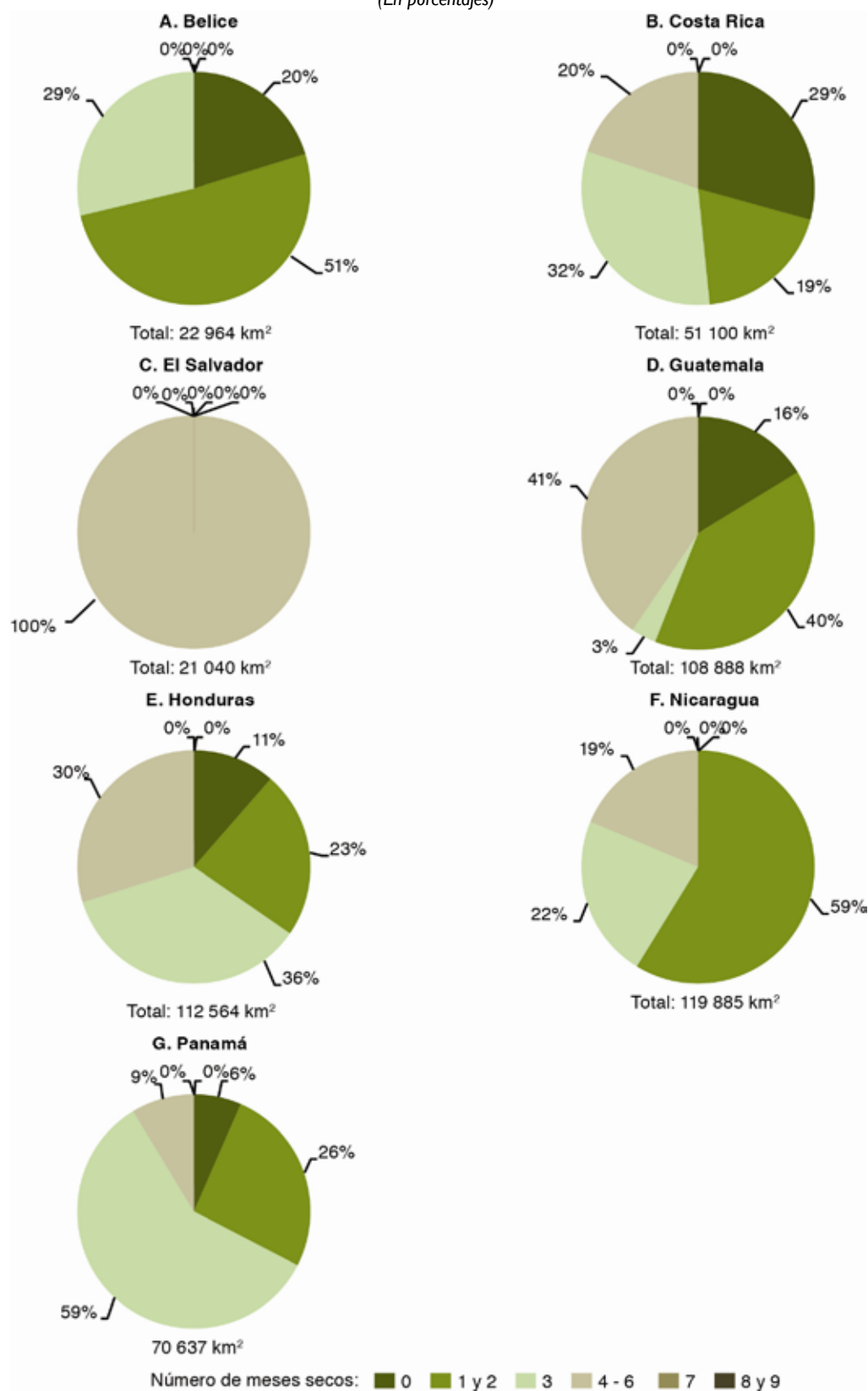
Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 9 ilustra la extensión territorial de cada país en condición de mes seco según la duración de esta característica por año. Del total del territorio de Belice, 71% permanecía seco de cero a dos meses, y el resto tres meses. En El Salvador la temporada seca duraba de cuatro a seis meses en todo el territorio. En Costa Rica, Nicaragua y Panamá 80%, 81% y 90% de sus territorios, respectivamente, permanecían secos de cero a tres meses. Todos los departamentos de Nicaragua tenían al menos un mes seco. En Guatemala y Honduras 40% y 30% de sus territorios permanecían en condición de mes seco entre cuatro y seis meses, respectivamente, y el 70% restante duraba de cero a tres meses en esta condición.

El país con mayor superficie seca en una temporada de cuatro a seis meses es Guatemala con 44.644 km², seguida de Honduras con 33.769 km², Nicaragua con 22.778 km², El Salvador con 21.040 km², Costa Rica con 10.220 km² y Panamá con 6.357 km². En algunos países la superficie seca representaba una proporción importante del territorio, como El Salvador, cuya temporada seca de cuatro a seis meses abarcaba todo su territorio, situación que lo hace altamente vulnerable a problemas de disponibilidad de agua.

GRÁFICO 9
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS POR PAÍS, PROMEDIO 1950-2000

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con el Reporte técnico de la iniciativa La economía del cambio climático en Centroamérica (CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011), es probable que la temperatura promedio de Centroamérica aumente 2,5 °C en el escenario B2 y 4,2 °C en el escenario A2 al corte 2100 respecto al promedio del período 1980 a 2000. La precipitación disminuiría 10,5% en B2 y 28,4% en A2.⁴ Ahora bien, la evidencia internacional y regional sugiere que no solamente cambios en la tendencia promediada de temperatura y precipitación tendrían consecuencias negativas en la sociedad, sino también los cambios de variabilidad inter e intraanual.

En Centroamérica, la precipitación varía en forma significativa en su acumulado año con año, y su distribución intraanual varía geográfica y temporalmente. Estos tipos de cambios pueden ser especialmente dañinos. (IPCC, 2007). De acuerdo con los resultados de otro estudio de esta Serie técnica, “La economía del cambio climático en Centroamérica: Patrones intraanuales y espaciales del clima”, es probable que ocurran cambios en los patrones de precipitación mensual a consecuencia del cambio climático. Estos cambios son diferentes en los escenarios B2 y A2, y están relacionados con el inicio, duración y fin de la temporada de lluvias y de la canícula. Estos patrones determinarían en gran medida las condiciones climáticas de la región durante los períodos de siembra y cosecha. Otros cambios, como la mayor concentración de la precipitación, pueden provocar inundaciones y aludes y complicar el manejo del agua, el control de riego, la prevención de erosión hídrica y la agricultura de secano.

De acuerdo con lo anterior, se espera que ocurran cambios en el patrón de meses secos en Centroamérica con el cambio climático. Utilizando la información mensual de temperatura media y precipitación acumulada en los departamentos para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100,⁵ estimados en función de los escenarios de emisiones B2 y A2 del IPCC, se estimó el patrón de la temporada seca y su duración y extensión, usando el indicador de mes seco. El gráfico 10 presenta el patrón estimado de la temporada seca en las regiones geoclimáticas identificadas para el corte 2100 con los escenarios B2 y A2, comparado con el patrón promedio del período 1950 a 2000.

En la región Atlántico con el escenario B2, se estima un incremento del número de departamentos en condición de mes seco durante febrero y marzo, y una disminución en abril. Para los demás meses los cambios son pocos. Con el escenario A2 se espera un incremento del número de departamentos con características secas durante marzo y en abril una ligera disminución respecto a B2, mientras que en noviembre ninguno presentaría tales características al corte 2100. En este mismo escenario, aproximadamente 20% de los departamentos podrían experimentar meses secos en junio, julio y agosto. Este cambio de patrón podría ocurrir específicamente en los Departamentos de Cortés e Islas de la Bahía en Honduras, y Zacapa, Jutiapa, El Progreso y Chiquimula en el corredor seco guatemalteco.

En la región Pacífico con el escenario B2, el cambio más representativo para el corte 2100 sería una notable disminución de los departamentos con características de mes seco en abril. En el escenario A2 se espera una disminución del número de departamentos en tal condición durante

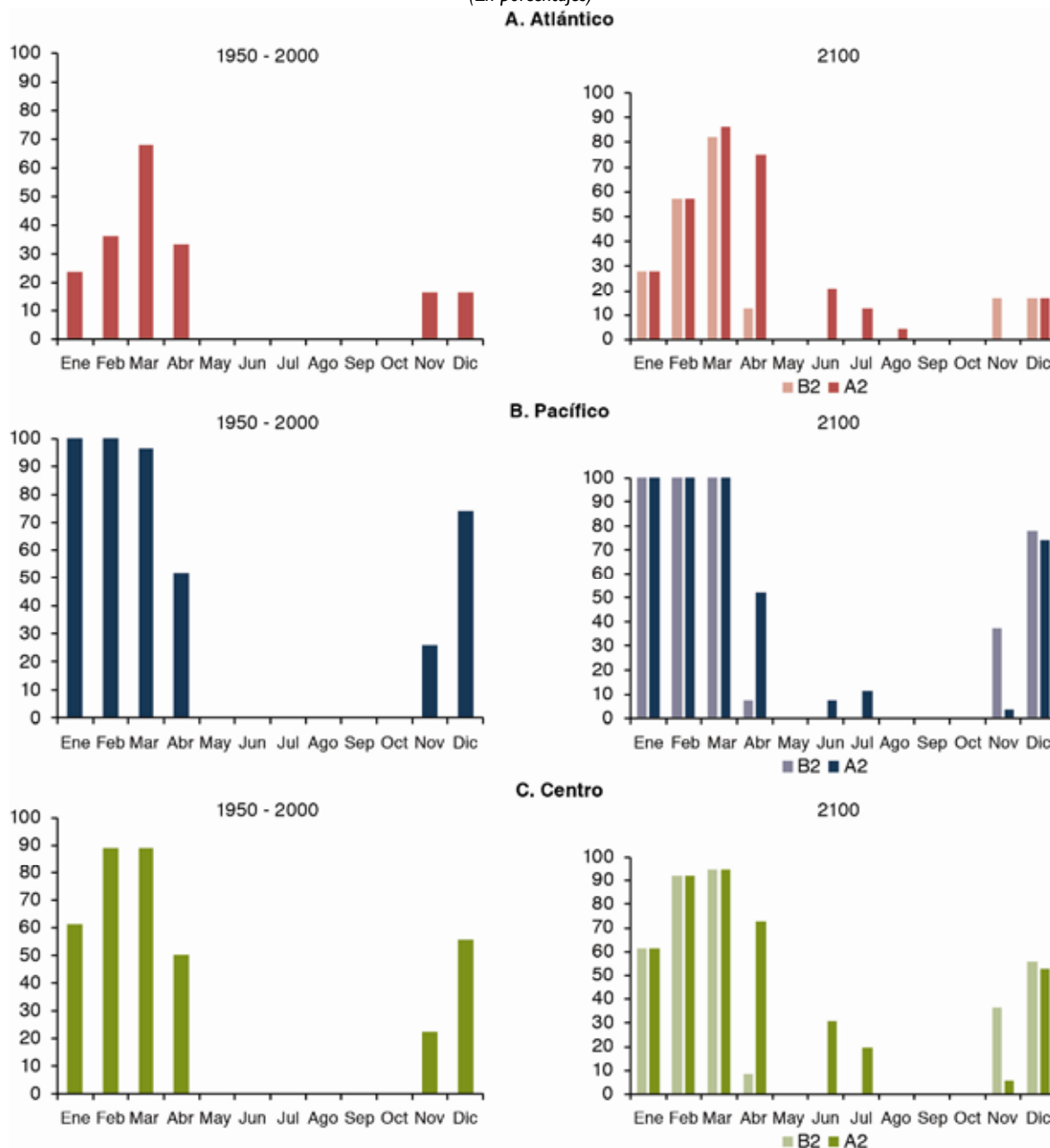
⁴ Valores reportados para el promedio de los resultados de los modelos de circulación general HADCM3, GFDL R30 y ECHAM4 para B2 y HADGEM1, GFDL CM2.0 y ECHAM4 para A2. Véase CEPAL, CCAD/SICA, UKAID y DANIDA, 2011.

⁵ Los años de corte 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 se refieren a información promedio de un período de diez años: 2016-2025 (corte 2020), 2026-2035 (corte 2030), 2046-2055 (corte 2050), 2066-2075 (corte 2070) y 2091-2100 (corte 2100).

noviembre. Destaca la anomalía de un pequeño número de departamentos con características secas en junio y julio. Este fenómeno ocurriría en los Departamentos de León y Managua en Nicaragua y en Choluteca en Honduras.

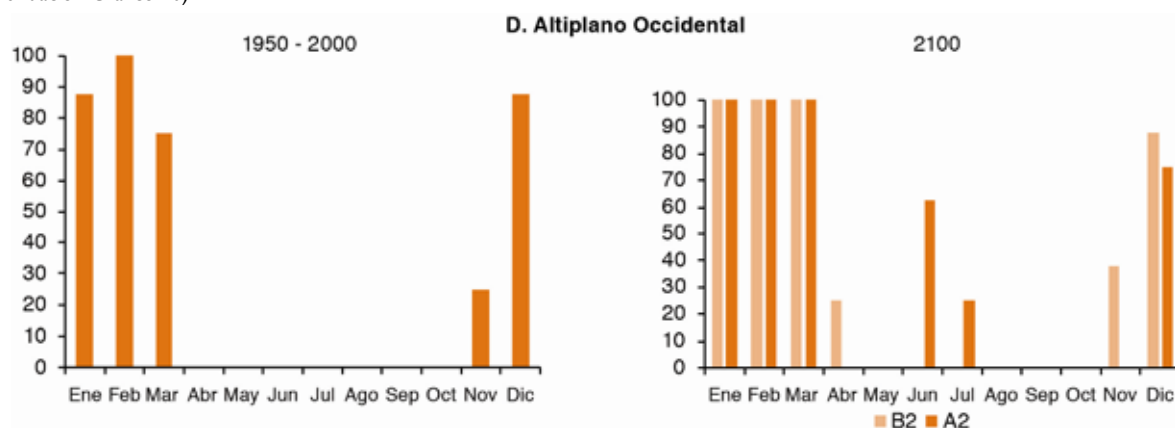
GRÁFICO 10
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR REGIÓN GEOCLIMÁTICA PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En porcentajes)



(continúa)

(continuación Gráfico 10)



Fuente: Elaboración propia.

Para la región Centro, en el escenario B2 al corte 2100, se prevé una disminución del porcentaje de departamentos con características secas en abril, mientras que en A2 aumentarían ese mismo mes y disminuirían en noviembre. En este mismo escenario, los departamentos con condiciones de mes seco en junio y julio serían Matriz y Estelí en Nicaragua, Santa Bárbara, Ocotepeque, Francisco Morazán, El Paraíso y Copán en Honduras y Jalapa, Guatemala, Baja Verapaz y Alta Verapaz en Guatemala.

En el Altiplano Occidental guatemalteco destaca el incremento del porcentaje de departamentos con características secas en marzo y abril en B2, mientras que en A2 aumentarían en marzo. En este último escenario, el número de departamentos en tal condición disminuiría en noviembre y aumentaría notablemente en junio y julio. Este fenómeno ocurriría en los Departamentos de Chimaltenango, El Quiché, Sacatepéquez, Sololá y Totonicapán.

Los cambios en el patrón mensual de la temporada seca por país y región geoclimática se pueden observar en el gráfico A1 del Anexo. En general, se aprecia que el porcentaje de departamentos en condición de mes seco aumentaría en ambos escenarios, más en el escenario A2. En el escenario B2 destaca la disminución del número de departamentos en condiciones secas en abril y su incremento en noviembre. En A2 la tendencia está al revés con un posible aumento en abril y reducción en noviembre.

Destacan los cambios del patrón en Guatemala, Honduras y Nicaragua con departamentos en condición de mes seco en junio y julio con el escenario A2. En Guatemala el cambio ocurriría en las regiones Atlántico, Centro y Altiplano Occidental. En Nicaragua ocurriría en las regiones Pacífico y Centro, mientras que en Honduras ocurriría en las tres regiones. Estos cambios ocurrirían en muy pocos departamentos a partir de 2020, pero hacia el año 2050 sería un fenómeno persistente.

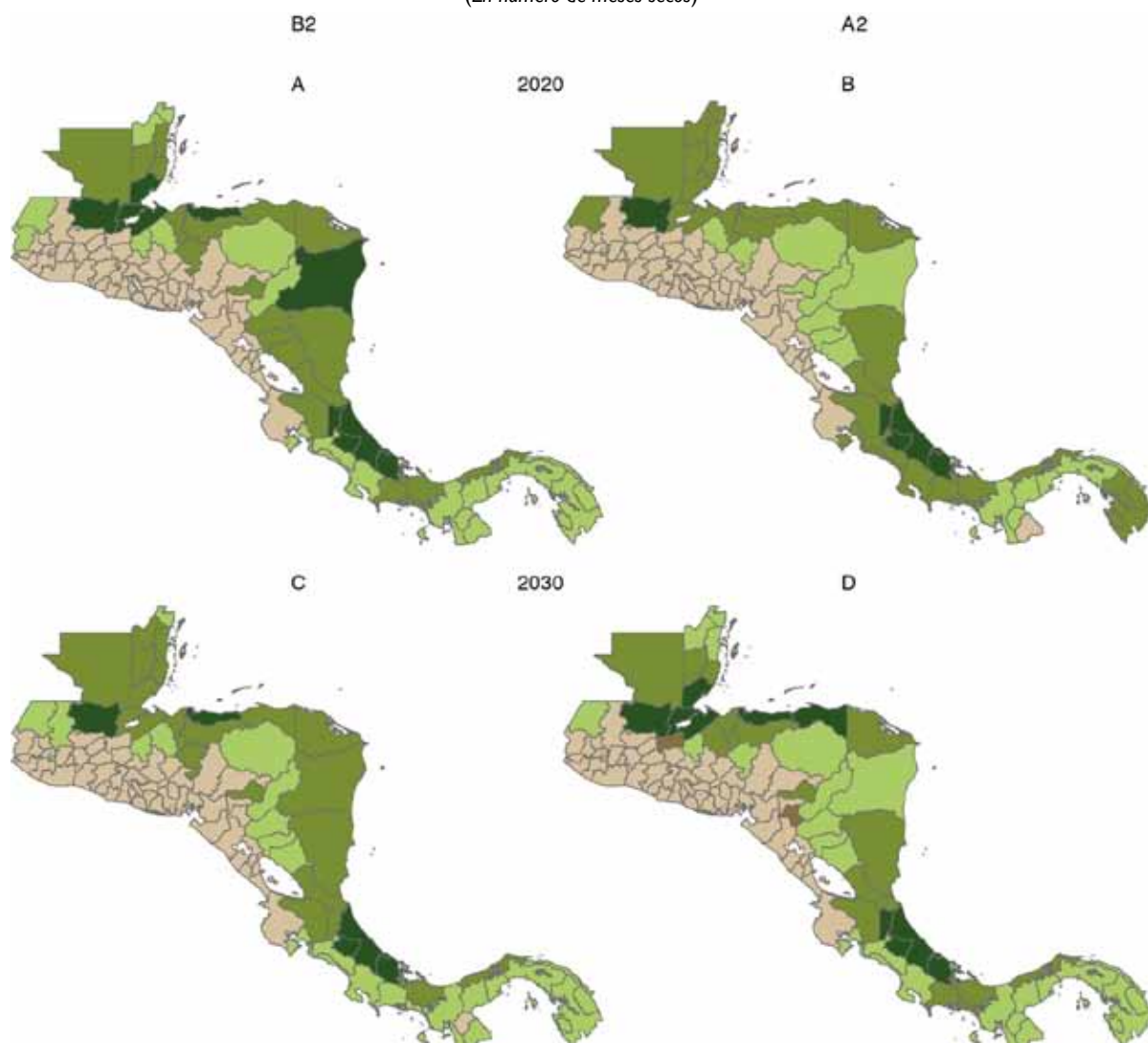
El mapa 6 ilustra la evolución del número de meses secos por año en cada uno de los departamentos de la región para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100. Para el corte 2020 es con el escenario B2 habría 18 departamentos con menos meses secos y 13 con más meses secos en comparación con el período histórico a causa de fluctuaciones entre ciertos períodos de mayor y menor precipitación en algunas zonas. La disminución es más evidente en los Departamentos de Yoro, Boaco y Chontales en Honduras, la Región Autónoma Atlántico Norte y el Departamento de Matagalpa en Nicaragua y las Provincias de Herrera y Los Santos en Panamá, los cuales pasarían de un rango a otro en el mapa. El número de meses secos disminuiría en 11 departamentos más, aunque

éstos no cambiarían de categoría (permanecerían en las categorías uno a dos o cuatro a seis meses secos), por lo que no es posible distinguirlos en el mapa. Se trata de la Provincia de Guanacaste en Costa Rica, los Departamentos de La Paz y Morazán en El Salvador, El Progreso, El Petén, Guatemala y Jalapa en Guatemala, Cortés en Honduras, Río San Juan en Nicaragua y las Provincias de Colón y Chiriquí en Panamá.

Al corte de 2020 con A2, el número de meses secos aumentaría en 35 departamentos y se reduciría en 14 otros, incluyendo los Distritos de Corozal y Orange Walk en Belice, las Provincias de Puntarenas y San José en Costa Rica, el Departamento de Yoro en Honduras y las Provincias de Darién y Herrera en Panamá, los cuales pasarían de un rango a otro en el mapa. Una disminución ocurriría en siete departamentos más, aunque esto no representa un cambio de rango (permanecerían en los rangos de uno a dos o de cuatro a seis meses secos), por lo que no es posible distinguirlos en el mapa: La Paz, La Unión, San Miguel, Chalatenango y Morazán en El Salvador, el Departamento de Valle en Honduras y la Provincia de Colón en Panamá.

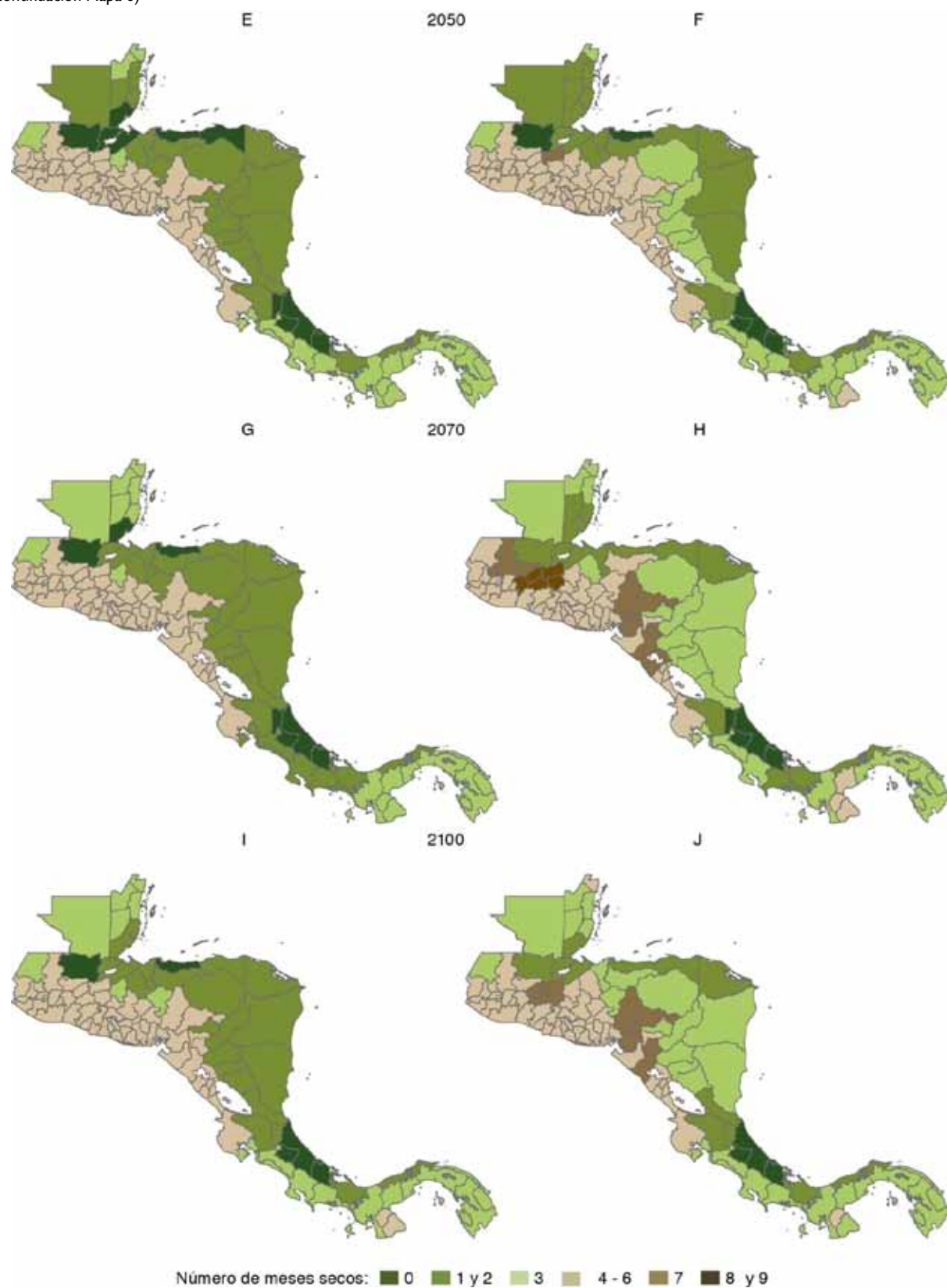
MAPA 6
CENTROAMÉRICA: MESES SECOS AL AÑO POR DEPARTAMENTO, ESCENARIOS A2 Y B2,
CON CORTES A 2100

(En número de meses secos)



(continúa)

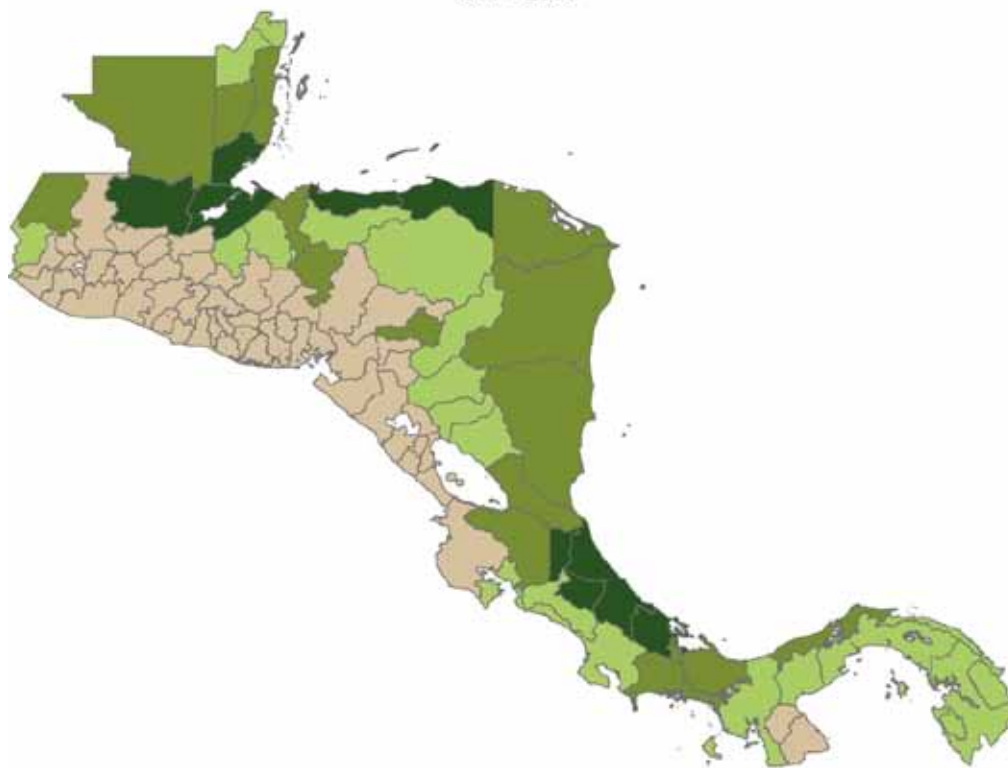
(continuación Mapa 6)



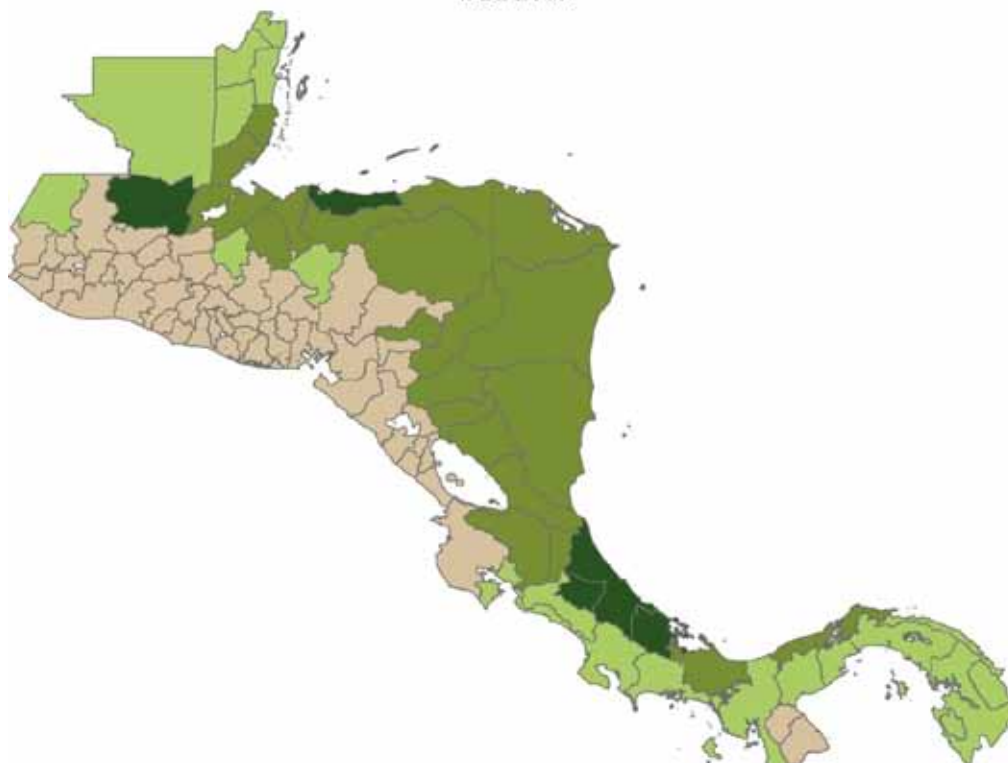
Fuente: Elaboración propia.

MAPA 6 (AMPLIACIÓN)
CENTROAMÉRICA: MESES SECOS AL AÑO POR DEPARTAMENTO, PROMEDIO 1950-2000
Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En número de meses secos)
1950 - 2000

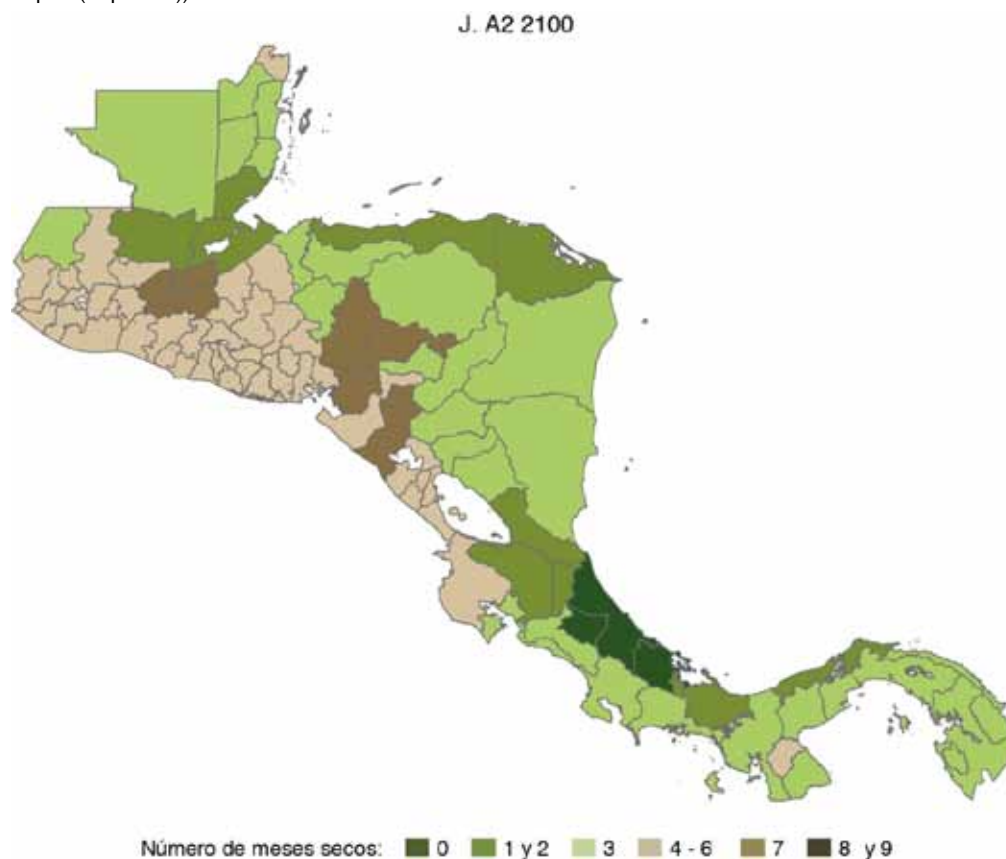


I. B2 2100



(continúa)

(continuación Mapa 6 (ampliación))



Fuente: Elaboración propia.

Para la década alrededor de 2030, solamente ocho departamentos experimentarían un menor número de meses secos con B2, incluyendo el Distrito de Orange Walk en Belice, los Departamentos de El Quiché en Guatemala, Yoro en Honduras y la Provincia de Los Santos en Panamá. En los Departamentos de Totonicapán en Guatemala, Río San Juan en Nicaragua, y la Provincia de Herrera en Panamá también disminuirían el número de meses secos sin cambiar de rango (permanecerían en los rangos de uno a dos o de cuatro a seis meses secos). Al mismo tiempo, serían 18 los departamentos con mayor número de meses secos.

Con el escenario A2 al mismo corte se estima que 18 los departamentos experimentarían un mayor número de meses secos con respecto a su promedio histórico. Al mismo tiempo, otros 14 departamentos podrían tener menos meses secos, incluyendo los Departamentos de Santa Bárbara y Yoro en Honduras y las Provincias de Herrera y Los Santos en Panamá respecto al promedio del período 1950 a 2000. En la Provincia de Guanacaste en Costa Rica, los Departamentos de La Paz y Morazán en El Salvador, Guatemala y Jalapa en Guatemala, Cortés y Valle en Honduras, y Rivas, Madriz y Río San Juan en Nicaragua también tendrían un menor número de meses secos sin salir de su rango histórico.

Para 2050 con escenario B2, el número de meses secos habría disminuido en 24 departamentos y aumentado en 12, mientras que con A2 disminuiría en 10 y aumentaría en 36, todo ello respecto al promedio histórico 1950 a 2000, indicando la progresiva diferenciación entre los dos escenarios.

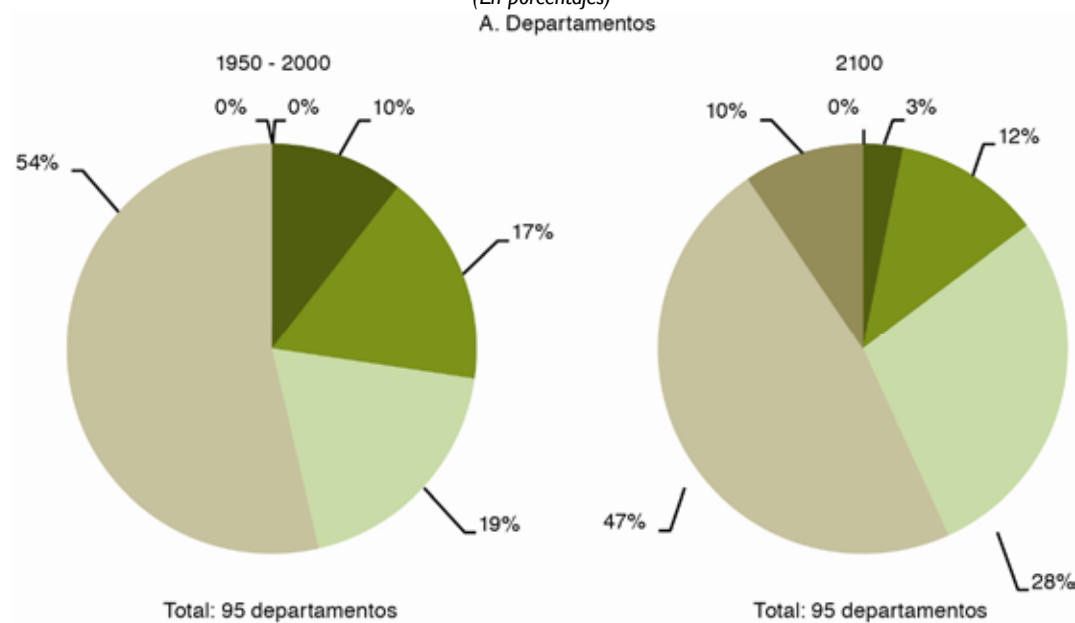
En general, los cambios apreciables en el escenario B2 son menos severos que en A2. En el período 2020 a 2100 ocurrirían aumentos y disminuciones del número de meses secos, principalmente en la región Atlántico y Centro de Honduras y Nicaragua. Al corte 2100 destaca la disminución del número de meses secos en estas dos regiones y en el Norte de Honduras y Guatemala. Del total de 95 departamentos, el número de meses secos habría aumentado en 22 y disminuido en 30 departamentos; 43 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 28% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 27% experimentarían menos meses secos y 45% condiciones parecidas a las históricas.

En el escenario A2 los cambios son más notables. Para el corte 2100, el número de meses secos habría aumentado en 47 y disminuido en 11 departamentos; 37 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 53% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 8% experimentarían menos y 39% condiciones parecidas a las históricas. Bajo este escenario, las Provincias de Limón y Cartago en Costa Rica y la de Bocas del Toro en Panamá serían las únicas sin meses secos a lo largo del año. Destaca el incremento de meses secos en la mayor parte de los departamentos de la costa Atlántico, principalmente en los que actualmente tienen entre uno y dos meses secos, los cuales pasarían a tener tres. También, destaca el incremento marcado del número de meses secos en regiones de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, del corte 2070 en adelante. Para el corte 2100 se espera que los Departamentos de Zacapa, Chiquimula, El Progreso y Jalapa en el corredor seco guatemalteco, los Departamentos de Choluteca, El Paraíso y Francisco Morazán en Honduras y León y Estelí en Nicaragua tengan una temporada seca de siete meses, en contraste con los patrones históricos de seis meses en los departamentos de Guatemala y cinco en los de Honduras y Nicaragua. Los resultados dan indicios de posibles fluctuaciones a rangos aun mayores en el número de meses secos hacia finales del siglo. Por ejemplo en el corte 2070, varios departamentos podrían experimentar ocho a nueve meses secos, como son los Departamentos de Guatemala, Chiquimula, El Progreso, Jalapa y Zacapa en Guatemala, los últimos cuatro siendo parte del corredor seco. El gráfico 11 presenta el análisis de los departamentos y superficies en condición de mes seco por la suma de meses que experimentarían anualmente bajo el escenario A2 hacia finales del siglo y con referencia al período histórico. Se evidencia la tendencia general de aumento; el porcentaje de departamentos con cero, uno y dos meses secos habría disminuido en 10% y aparecería el rango de siete meses secos con 10% de los departamentos. Entremedio, el número de departamentos con tres meses secos habría aumentado; el número de departamentos con cuatro a seis meses secos habría disminuido. En términos territoriales, la tendencia es similar, con el 10% de la superficie entrando en el nuevo rango de siete meses secos. No obstante, la disminución de las extensiones con cero a dos meses secos es mayor, de 29%.

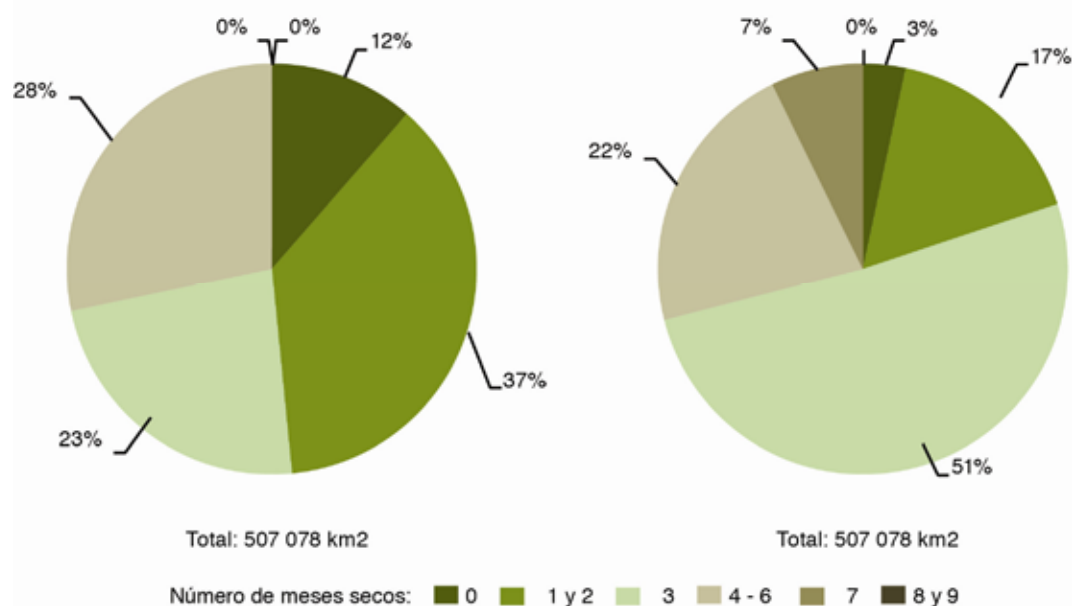
GRÁFICO 11
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS Y SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS AL AÑO,
PROMEDIO 1950-2000 Y ESCENARIO A2, 2100

(En porcentajes)

A. Departamentos



B. Superficie



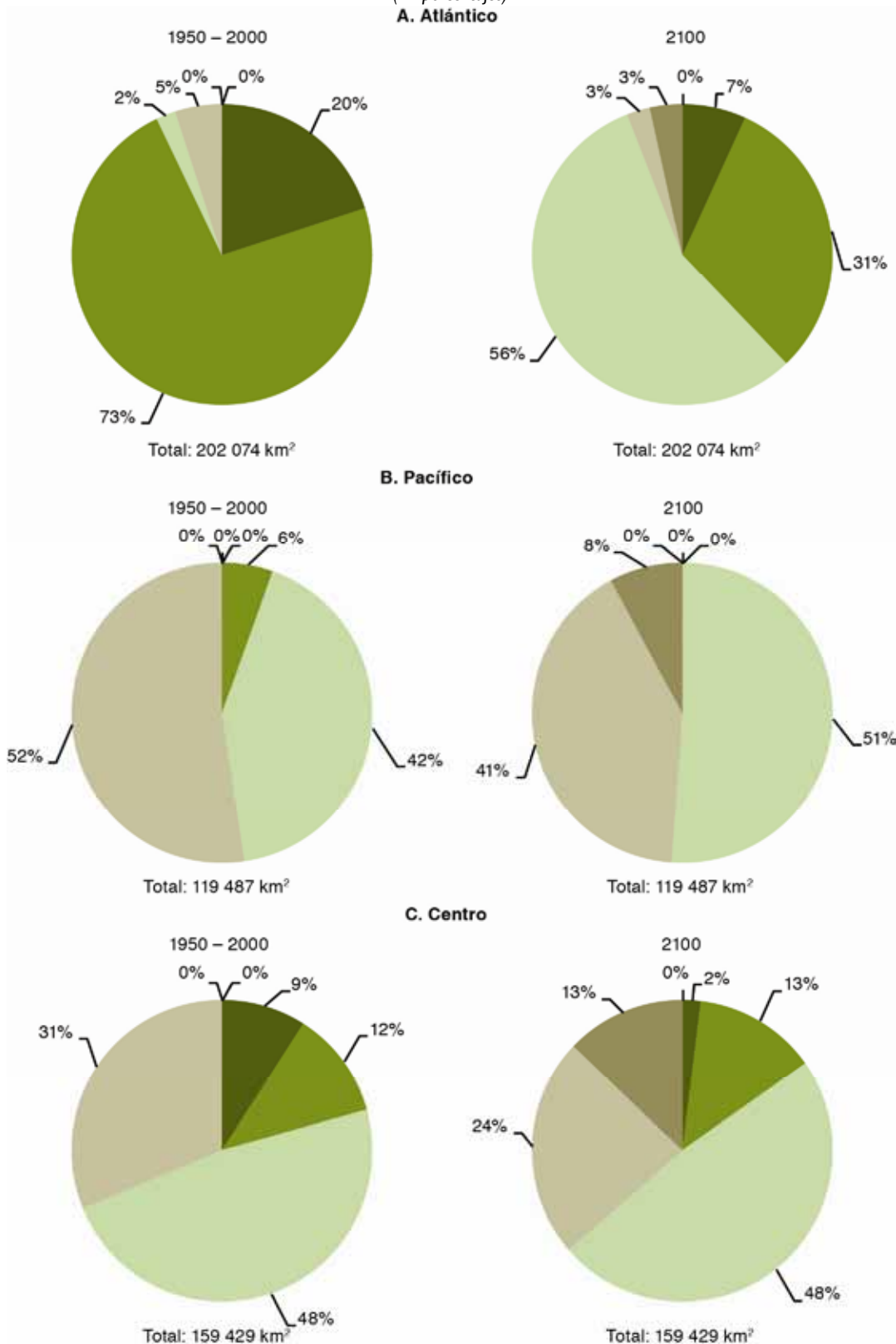
Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 12 muestra las diferencias regionales de duración de la temporada seca y sus cambios al corte de 2100 en el escenario A2. En la región Atlántico, se evidencia los severos cambios de humedad: las superficies con tres meses secos aumentarían de 2% a 56% de los departamentos, mientras que las de cero, uno y dos meses secos disminuirían de 93% a 38%, 3% podrían experimentar 7 meses secos, situación que no tiene precedentes históricos. En la región Pacífico se perdería el 6% superficie en departamentos con uno y dos meses secos, mientras que la de tres meses secos aumentaría y aparecería el rango de 7 meses secos con 8% de la superficie.

GRÁFICO 12
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS AL AÑO POR REGIÓN
GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950-2000 Y ESCENARIO A2, 2100

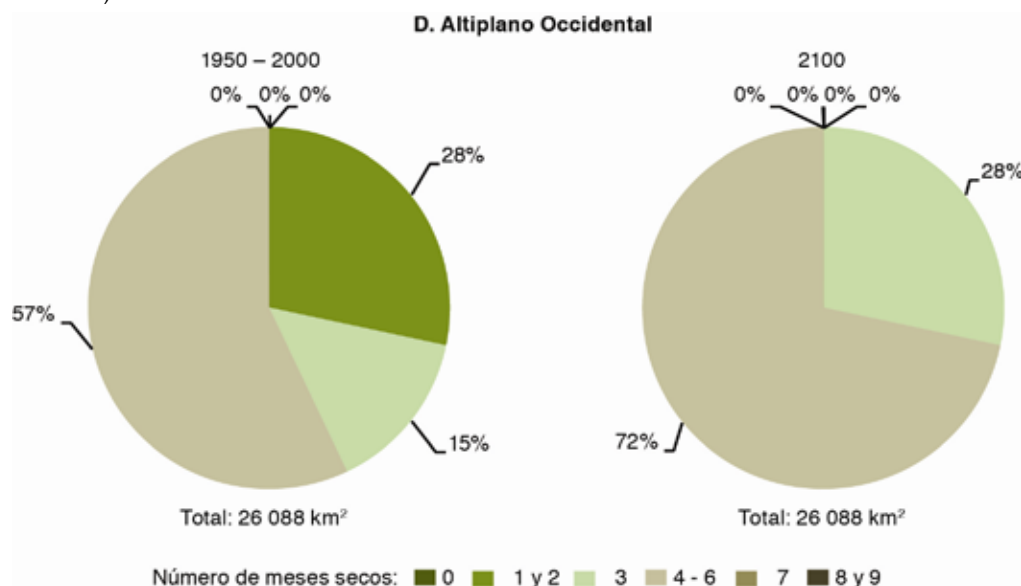
(En porcentajes)

A. Atlántico



(continúa)

(continuación Gráfico 12)



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, en la región Centro destacaría la disminución de las superficies con cero meses secos de 9% a 2% y aparecería el rango de siete meses secos con 13% de la superficie. En la región del Altiplano Occidental guatemalteco tampoco habría superficies con uno y dos meses secos cuando históricamente representaban 28% del territorio; las de tres y especialmente las de cuatro a seis meses secos aumentarían en 13% y 15% respectivamente. No obstante, esta región no tendría departamentos con siete meses secos.

El gráfico 13 presenta la evolución del porcentaje de superficie con diferentes números de meses secos por países para los años de corte 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100 respecto al período 1950 a 2000 en el escenario A2.

En el caso de Belice, para el corte 2020 se espera una disminución de la superficie con cero meses secos y que todos los distritos se encontrarían en situación de uno y dos meses secos. Para 2030 podría volver la superficie con cero meses secos hasta igualar el valor histórico promedio. La superficie con uno y dos meses secos disminuiría a 33%, y ya la mayor parte del territorio (47%) tendría tres meses secos. A partir de la mitad del presente siglo, la superficie con uno a dos meses secos disminuiría, la de tres meses secos aumentaría y se espera que a partir de 2050 todos los departamentos tendrían al menos un mes seco. Para el corte 2100, el Distrito de Corozal podría tener un período seco de cuatro a seis meses.

Costa Rica destaca por su mayor estabilidad. Para el corte 2020 se espera un incremento de la superficie con uno o dos meses secos, mientras que la de tres meses secos disminuiría. Para el corte 2030, la superficie con un período seco de cero a dos meses disminuiría y la de tres meses aumentaría. Para el resto del siglo, el patrón de meses secos permanecería relativamente constante. En la Provincia de Guanacaste, cuyo período seco es de cuatro a seis meses, no se esperaría cambio.

El Salvador ha tenido un período seco de cuatro a seis meses en toda su superficie históricamente. De acuerdo con los datos climáticos del escenario A2, se espera que esta situación permanezca a lo largo de los años de corte. No obstante, el gráfico 13 (G) muestra el porcentaje de

superficie de este país desglosado con cuatro, cinco y seis meses secos. Así se puede evidenciar que la superficie con cuatro meses secos es poca y fluctuaría durante el siglo. La superficie con cinco meses secos aumentaría casi 20% al corte de 2020, regresaría a casi su nivel histórico en 2030, aumentaría de nuevo hacia 2050. En el corte de 2070, los resultados con el escenario A2 sugieren un período extremadamente seco donde casi todo el territorio salvadoreño podría experimentar seis meses secos. Considerando la variabilidad histórica de la precipitación y las incertidumbres del modelaje, el resultado puede estar evidenciando que la tendencia general hacia una mayor aridez no sería lineal sino que presentaría fluctuaciones alrededor de ésta.

En el gráfico 13, se puede observar que la duración del período seco en Guatemala cambiaría en todos los rangos con un efecto acumulativo de mayor aridez especialmente a partir del corte 2050. La superficie con nulos meses secos se perdería progresivamente entre los cortes de 2030 y 2070. La superficie con uno y dos meses secos alcanzaba 40% del total en el período histórico en los Departamentos de El Petén y Huehuetenango pero entre 2050 y 2070 bajaría a aproximadamente 24% del total. Para el corte 2100 llegaría a solamente 16%, en los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal. La superficie con tres meses secos alcanzaba solamente 3% en el período histórico, en el Departamento de San Marcos. Para el corte 2100, los Departamentos de El Petén y Huehuetenango (43.555 km²) se habrían agregado a este rango para abarcar 40% del total. Destaca el aumento de la superficie con siete meses secos a partir del corte 2030 ya que Guatemala no tenía este rango en el período histórico. Para el final del siglo, la superficie en esta condición alcanzaría 8%, correspondientes a los Departamentos de Chiquimula, El Progreso, Zacapa y Jutiapa, todos ellos en el corredor seco. Como condición aun más extremo, los Departamentos de Chiquimula, El Progreso, Zacapa, Guatemala y Jalapa podrían enfrentar un período seco de ocho a nueve meses hacia el corte de 2070.

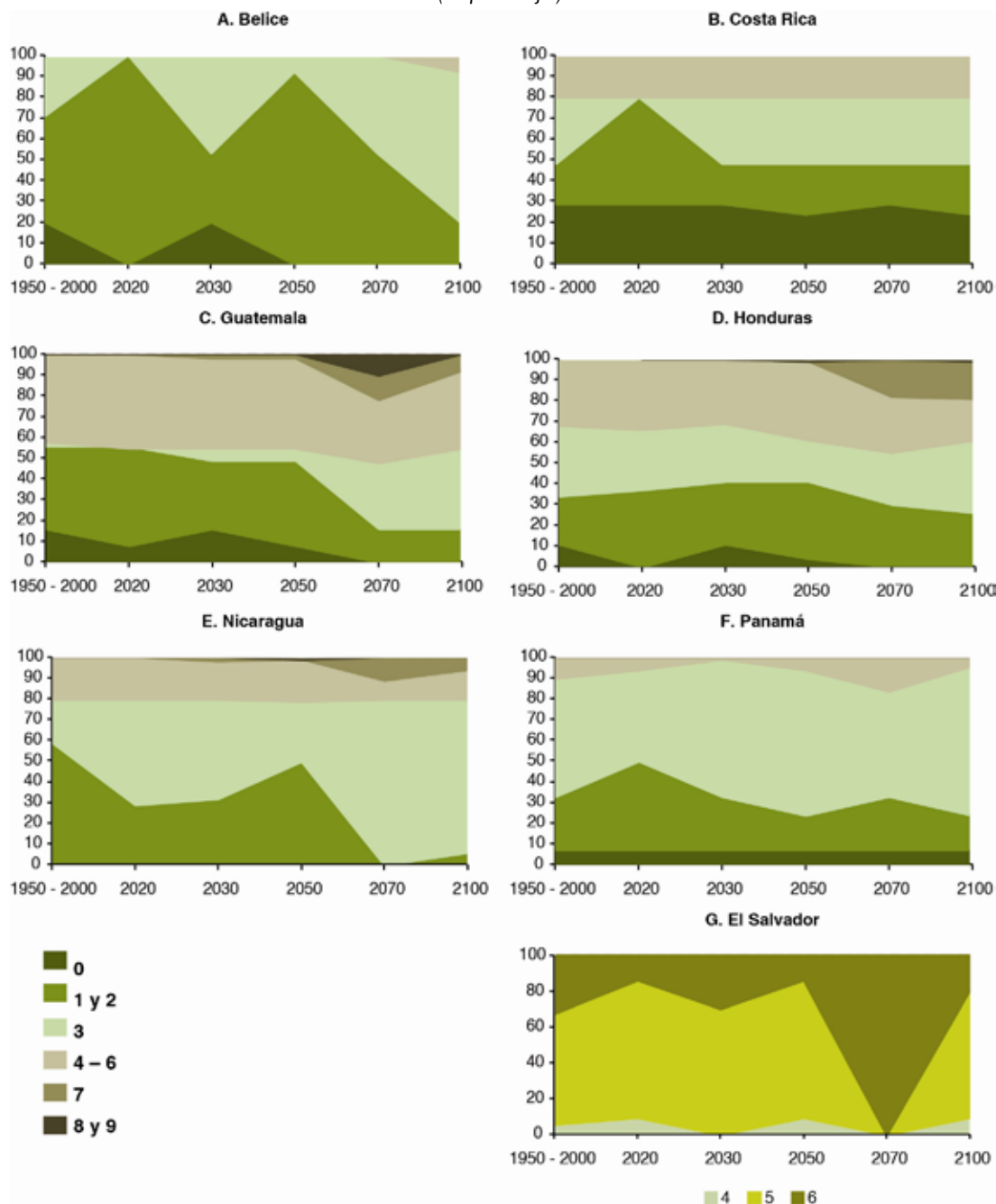
En Honduras, 11% del superficie tenía un promedio de nulos meses secos en el período histórico. Esta superficie fluctuaría en las próximas décadas y se perdería progresivamente entre los cortes de 2030 y 2070. A partir de 2050 destaca una reducción de la superficie con uno a dos meses secos, un incremento de la superficie con tres meses secos y el inicio de condiciones de períodos secos de hasta siete meses en algunos departamentos. Para el corte 2100, la segunda condición estaría presente en 36% de la superficie, correspondiente a los Departamentos de Cortés, Islas de la Bahía, Olancho, Yoro y Comayagua; la tercera en 18% del territorio, correspondiente a los Departamentos de El Paraíso, Francisco Morazán y Choluteca. En Nicaragua se esperan cambios entre las superficies con uno y dos y con tres meses secos. Durante las décadas 2020 y 2030, la superficie con uno y dos meses secos disminuiría, mientras que la de tres meses aumentaría. Pudiera haber un retroceso en este proceso hacia el corte de 2050, pero entre éste y el de 2070 podría perderse casi todo el territorio con condiciones de uno y dos meses secos, ampliándose él con tres meses secos hasta ocupar aproximadamente 80% del total al final del siglo. Aproximadamente 20% de la superficie se mantendría en el rango de cuatro a seis meses secos durante la mayor parte de este siglo, pero en algunos cortes habría una superficie que experimentaría siete meses secos, condición no registrada como promedio histórico.

El comportamiento en Panamá sería más estable. La superficie con período seco de cero meses, correspondiente a la Provincia de Bocas del Toro, permanecería constante todo el período. Hacia el corte de 2020 se experimentaría un incremento de la superficie con uno y dos meses secos, el cual sería compensado por la disminución de la superficie con tres meses secos. La superficie entre estos dos rangos fluctuaría durante las siguientes décadas con una tendencia de reducción en el rango de uno a dos meses secos. Para el corte 2100 habría un incremento de la superficie con tres

meses secos, la cual pasaría de 59% del total en el período histórico a 73%. Esto incluye las Provincias de Chiriquí, Coclé, Darién, Los Santos, Panamá, Veraguas y la Comarca Kuna Yala. La superficie con período seco de uno o dos meses disminuiría de 26% del período histórico a 17% al final del siglo, cuando esta superficie correspondería a la Provincia de Colón y a la Comarca Ngöbe-Bugle. En ciertos cortes, existiría una superficie con cuatro a seis meses secos, por ejemplo en 2070 podría comprender las Provincias de Coclé, Herrera y Los Santos.

GRÁFICO 13
CENTROAMÉRICA: SUPERFICIE SEGÚN EL NÚMERO DE MESES SECOS AL AÑO POR PAÍS,
PROMEDIO 1950-2000 Y ESCENARIO A2, 2100

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

En Centroamérica existe una zona más árida que el resto, el “corredor seco” lo cual, con otras partes de la región, han sido seriamente afectadas por períodos de sequía en el pasado y en la actualidad. El corredor seco abarca regiones de todos los países, pero su porción mayor está ubicada en la vertiente del Pacífico. Las sequías se asocian con procesos de degradación ambiental, los que, combinados con condiciones climáticas adversas, incrementan su recurrencia y sequedad. El fenómeno El Niño suele causar daños y pérdidas considerables en todos los países de la región, lo que podría intensificarse por los efectos del cambio climático.

La aridez y la sequía pueden ocurrir en una misma zona geográfica, pero son fenómenos distintos. La sequía es un evento extremo caracterizado por una escasez anormal de lluvia respecto de los rangos históricos. Puede ocurrir con cierta frecuencia como parte de la variabilidad climática natural, pero su intensidad y duración pueden ser modificadas por la actividad humana, especialmente por la deforestación, la degradación de ecosistemas y el cambio climático. Cuando la temperatura, la precipitación o fenómenos como El Niño sufren cambios más permanentes, la zona afectada puede experimentar cambios en su nivel de aridez o en su patrón de meses secos más allá de una sequía como evento extremo. No obstante, los cambios de este tipo pueden ser percibidos como prolongación e intensificación de condiciones de sequía habituales. En este sentido, los análisis deben ampliarse para abarcar las posibles tendencias de aridez futura.

Atendiendo a esta preocupación, el presente estudio busca estimar el efecto potencial del cambio climático en la aridez y el patrón de meses secos en la región para permitir la detección de riesgos para la producción agrícola, generación hidroeléctrica, consumo humano de agua y ecosistemas con requerimientos altos de humedad, como el bosque tropical húmedo montano bajo. Con referencia al período histórico, estima los cambios potenciales para los cortes 2020, 2030, 2050, 2070 y 2100, con dos escenarios de cambio climático: uno más pesimista (A2) y otro menos pesimista (B2). Los indicadores de aridez y meses secos fueron calculados con la “Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe” (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005), recomendado por la MM/CNUCLD. El índice de aridez expresa la relación insumo/pérdida de humedad. Los resultados se presentan a nivel de departamentos, países y cuatro regiones geoclimáticas acordadas con el CTR, meteorólogos nacionales y la UC/CEPAL.

Los niveles de temperatura y precipitación del período 1950 a 2000 generan un índice de aridez de 1.6 para Centroamérica y todos sus departamentos, lo que la cataloga como una región húmeda, según la clasificación internacional adoptada. Sin embargo, los departamentos presentan grados de humedad variables, desde un valor máximo del índice de aridez (menor aridez) de 2.78 en la Provincia de Cartago, Costa Rica, hasta un mínimo de 1.05 (mayor aridez) en el Departamento de Zacapa, Guatemala. Los niveles de aridez también varían por región geoclimática: el del Altiplano Occidental guatemalteco es el menor con un valor del índice de aridez de 1.96, seguido por la región Atlántico (1.62), Centro (1.54) y Pacífico (1.53).

En el escenario menos pesimista (B2) al corte 2020, la mayoría de los departamentos experimentarían ligeros aumentos de aridez, con cambios del índice, en el rango de -0,01 a -0,20 unidades. Solo en 18 departamentos (19%) habría una reducción ligera de aridez. En contraste, en el escenario más pesimista (A2) al corte 2020, los resultados sugieren que en la mayor parte del territorio de Centroamérica habría mayor aridez con departamentos con cambios ligeros en el rango de -0,01 a -0,40 unidades del índice. En general, los cambios al corte 2020 son relativamente menores y de ambas tendencias. Para el corte de 2030, con el escenario B2, solamente tres departamentos presentarían una ligera disminución de aridez, mientras que en el resto de Centroamérica la aridez aumentaría en el rango -0,01 a -0,20. Con el escenario A2, la aridez aumentaría respecto al período histórico con cambios ligeros en el rango de -0,01 a -0,40 unidades del índice.

Hacia el corte 2050, en el escenario B2, todo el territorio de Centroamérica experimentarían aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 respecto al período histórico. Bajo el escenario A2, 40 departamentos experimentarían un aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40 unidades, lo cual representa 42% del total. Además, siete departamentos tendrían aumento de aridez en el rango de -0,41 a -0,60; son Alta Verapaz, Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango en Guatemala, Heredia y Limón en Costa Rica y Bocas del Toro en Panamá. La Provincia de Cartago en Costa Rica tendría el mayor aumento de aridez (rango de -0,61 a -0,80).

Durante la segunda mitad del presente siglo se aceleraría el aumento de aridez en ambos escenarios climáticos. En B2, para el corte 2100, 61% de los departamentos registraría un aumento de aridez en el rango de -0,01 a -0,20 unidades; 31% experimentarían un aumento en el rango de -0,21 a -0,40, principalmente en la región Atlántico, y en menor medida en las regiones Centro, Altiplano Occidental guatemalteco y la costa Pacífico de Guatemala, Costa Rica y Panamá. Las regiones con mayor aumento de aridez serían las de Centro y Atlántico de Costa Rica, y Bocas del Toro, Chiriquí y la comarca Ngöbe-Bugle en Panamá, con disminuciones en el rango de -0,41 a -0,60 (5% de los departamentos). La provincia con mayor aumento de aridez en el escenario B2 es Cartago, Costa Rica, en el rango de -0,61 a -0,80.

En el escenario A2 las condiciones serían más severas. Para el corte 2100 se espera que únicamente 11 departamentos (12%) tengan rangos bajos de aumento de aridez, de -0,01 a -0,20 unidades. Cincuenta y un departamentos (54%) tendrían aumento de aridez en el rango de -0,21 a -0,40; 21 departamentos (22%) tendrían aumentos en el rango de -0,41 a -0,60; ocho (8%) tendrían aumentos en el rango de -0,61 a -0,80 y cuatro (4%) tendrían aumentos en el rango de -0,81 a -1,00. Los departamentos con mayor aumento son Alta Verapaz (-0,85), San Marcos (-0,86) y Quetzaltenango (-0,90) en Guatemala, y la Provincia de Cartago (-1,00) en Costa Rica.

Así, para el corte 2100, Centroamérica podría experimentar niveles de precipitación y temperatura que resultarían en un valor promedio del índice de aridez de 1.4 en el escenario menos pesimista (B2) y 1.2 en el escenario más pesimista (A2). Esto significa un cambio de 0.2 y 0.4 unidades menos (mayor aridez) respecto al período 1950 a 2000. Los países con mayor humedad en la región Atlántico serán Panamá y Costa Rica con valores entre 1.51 y 1.75; los más áridos serían Guatemala y Belice con un rango de 1.06 a 1.41, dependiendo del país y el escenario. En la región Pacífico, los países con mayor humedad serían Guatemala y Costa Rica con valores entre 1.35 y 1.61, mientras que los de mayor aridez serían Honduras y Nicaragua con valores en el rango de 1.05 a 1.14. En la región Centro, el país con mayor humedad sería Costa Rica con valores de 1.58 y 1.80, mientras que el más árido sería Belice con valores de 1.09 y 1.20. Para el Altiplano Occidental guatemalteco, los resultados sugieren un valor de 1.69 en el escenario B2 y 1.26 en el escenario A2.

En general se puede observar que los departamentos que sufrirían el mayor aumento de aridez serían los que históricamente han sido más húmedos. Por el contrario, los departamentos con mayores niveles de aridez en el período 1950 a 2000 resultarían con el menor aumento de aridez durante el siglo actual. Al mismo tiempo, en términos absolutos los departamentos con menor aridez históricamente seguirían siendo los departamentos con menor aridez en estos escenarios, aunque sufrirían mayores aumentos de aridez. Así, se mantendría la distribución relativa de regiones con mayor y menor aridez, habría un aumento generalizado de esta condición, más severo con el escenario más pesimista (A2) y más pronunciado en las regiones de mayor humedad. Como resultado, hacia el final del siglo, la variación del índice entre las regiones climáticas se reduciría, especialmente con el escenario A2, bajo el cual las cuatro regiones tendrían un valor del índice de aridez cercano a 1.2. Esto implicaría condiciones de aridez promedio cada vez más homogéneas en gran parte de la región, similares a las zonas más áridas del arco seco centroamericano en el período histórico.

La segunda parte del estudio analiza el número de meses secos por año en el período 1950 a 2000 y en ambos escenarios de cambio climático. Un mes seco es aquel en el que la precipitación es menor al 50% de la evapotranspiración del mismo mes (CAZALAC y PHI/UNESCO, 2005). El análisis incluye consideraciones de cambios en el patrón intraanual (mes por mes) de la temporada seca por regiones y países.

En el período histórico, la región Pacífico es la que ha tenido el mayor número de meses secos por año, entre cuatro y seis, principalmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. En contraste, la región Atlántico presentaba el menor número. De hecho, en el Distrito de Toledo, en Belice, los Departamentos de Alta Verapaz e Izabal en Guatemala y Atlántida en Honduras y la región Atlántico de Costa Rica normalmente no hayan experimentado meses secos como norma histórica. El resto de esta región tiene entre uno y dos meses secos. Las regiones Centro y Altiplano Occidental guatemalteco presentan climas más diversos con entre uno y seis meses secos. Como promedio histórico, ningún departamento registra más de seis meses secos al año.

Durante las próximas décadas, la mayor parte de los departamentos experimentarían cambios menores en el número de meses secos en ambos escenarios, principalmente a causa de fluctuaciones de precipitación hasta el período del corte de 2030. Puede ocurrir una mayor variabilidad tanto de aumento como reducción de meses secos en las próximas décadas. Considerando que la variabilidad actual, tanto interanual como intraanual, genera serios impactos en la región, es de suma importancia mejorar la capacidad de adaptación y gestión de riesgo a corto plazo. A partir del corte de 2050 se evidencia una tendencia más generalizada de aumento de meses secos y una progresiva diferenciación entre los dos escenarios con A2 siendo el más severo. Los esfuerzos a corto plazo de responder a la variabilidad climática y los eventos extremos, serían clave para bajar las pérdidas a corto plazo y preparar a la región por los cambios severos acumulativos que podrían venir a mediano plazo.

En el escenario B2 al corte de 2020, el número de meses secos aumentaría en 13 departamentos y disminuiría en 18, pero 64 departamentos experimentarían condiciones relativamente estables respecto al promedio de 1950 a 2000. En términos de la superficie, estos tres grupos de departamentos representarían 8%, 28% y 64% del territorio regional respectivamente. En general, en el escenario B2 hasta el corte de 2050, la mayoría de los departamentos experimentarían cambios limitados en aumento o reducción de meses secos. A más largo plazo, más de una quinta parte de los departamentos experimentarían aumento del número de meses secos. Al corte 2100, el número de meses secos habría aumentado en 22 y disminuido en 30 departamentos; 43 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 28% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 27% experimentarían menos meses secos y 45% condiciones parecidas a las históricas.

En el escenario A2 los cambios serían más notables. Al corte 2020, se estima un aumento del número de meses secos en 35 departamentos y una disminución en 14, mientras que 46 permanecerían estables, y representando 39%, 13% y 48% del territorio regional respectivamente. Al corte 2050 el número de meses secos aumentaría en 36 departamentos (34% del territorio), se reduciría en diez (6%) y se mantendría relativamente estable en 49 (60%) respecto del promedio histórico. Para el corte 2100, el número de meses secos habría aumentado en 47 y disminuido en 11 departamentos; 37 quedarían en condiciones similares a las históricas. Así, 53% del territorio de la región sufriría un aumento de meses secos, 8% experimentarían menos y 39% condiciones parecidas a las históricas.

En cuanto al patrón intraanual de meses secos, en el escenario B2 se prevé una disminución del número de departamentos en condiciones de mes seco durante abril y un incremento de aquellos con condiciones secas durante noviembre. Esto indica que el inicio y el final de la temporada de lluvias se adelantarían. En el escenario A2, en cambio, el número de departamentos en condiciones de mes seco durante abril aumentaría, mientras que el de aquellos con condiciones secas durante noviembre disminuiría, es decir, el inicio y el final de la temporada de lluvias se retrasarían. Los cambios del patrón intraanual de meses secos serían más notorios en Guatemala, Honduras y Nicaragua por la posible ocurrencia de meses secos en partes de sus territorios en junio, julio y agosto bajo el escenario A2. Durante estos meses ocurre regularmente la canícula, la cual históricamente no ha resultado en reducciones de humedad tan notorias para definirse como meses secos. Estos cambios podrían ser muy importantes por su impacto en los ciclos de producción agrícola y las reglas de operación de las hidroeléctricas.

En resumen, este estudio demuestra que los dos escenarios de cambio climático generan diferentes impactos en aridez y meses secos a nivel de país, departamentos y regiones geoclimáticas. No obstante, si las emisiones globales siguen con su tendencia actual de alza, el escenario más probable sería el más pesimista (A2). Así, en las próximas décadas pueden ocurrir fluctuaciones de mayor aridez y mayor humedad, lo que contribuiría a una variabilidad climática mayor que la ya experimentada. A mediano y largo plazo se experimentaría una marcada tendencia a mayor aridez y más meses secos. La combinación de estas dos tendencias probablemente hará más vulnerable la región a sequías y otros eventos hidrometeorológicos extremos aun en el corto plazo. En este sentido, es urgente diseñar acciones para reducir la vulnerabilidad y adaptarse a cambios en condiciones de aridez y mayor variabilidad de precipitación, incluyendo eventos extremos como lluvias intensas, tormentas tropicales y sequías.

Las sociedades centroamericanas necesitan evitar estrategias *ad hoc* de lógica inercial que podrían resolver urgencias pero profundizarían los riesgos. En esta lógica el cambio climático puede considerarse importante pero no atendible a fondo dadas las restricciones presupuestarias profundizadas por la actual recesión global y las presiones de las urgencias sociales y económicas. En las negociaciones internacionales hay una tendencia a separar las medidas de adaptación de las de mitigación. Esta solución puede ser impráctica para países con recursos fiscales y de inversión limitados. Más recomendable sería lograr acuerdos nacionales, regionales e internacionales para impulsar **estrategias adaptativas incluyentes y sustentables** que integren las acciones de reducción de vulnerabilidades, incluyendo la reducción de pobreza, con las de adaptación y las medidas de transición a economías más sostenibles y bajas en carbono. Esto incluye acciones de interés para la agenda de desarrollo sostenible e incluyente que pueden generar cobeneficios de reducción de emisiones, como la protección o restauración de bosques y una mayor eficiencia energética e hídrica. En este escenario la actual recesión económica global y los riesgos de cambio climático serían convertidos en oportunidad para revisar a profundidad la especialización productiva de las economías.

Considerando la variabilidad de las condiciones y la tendencia acumulativa de aridez prevista en las próximas décadas, las sociedades centroamericanas necesitan volverse gestoras audaces del recurso hídrico, asegurando su uso sostenible y eficiente para beneficio de la población y la producción. Aun sin cambio climático, la demanda de agua aumentará significativamente en la región. Con el cambio climático se estima una disminución de la humedad y de la disponibilidad total de agua renovable, particularmente en los cinco países al norte de Costa Rica. Si el indicador clave de los esfuerzos de mitigación es la reducción de emisiones CO₂e, un indicador clave de adaptación será la eficiencia del uso del agua per cápita y por unidad del PIB. Los marcos institucionales nacionales de los recursos hídricos son heterogéneos y no siempre aptos para la gestión coordinada. Esta situación probablemente es uno de los mayores retos para enfrentar el cambio climático.

Los escenarios de aridez y meses secos también indican la urgencia de blindar la seguridad alimentaria, particularmente el abasto de granos básicos, y transitar hacia una agricultura más sostenible. Esto es un gran reto, pero encararlo es necesario para proteger a la población pobre, tanto pequeños productores como consumidores urbanos. La protección de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, incluyendo bosques, sistemas montañosos y fluviales, zonas costero-marinas, incluyendo corales y manglares, es vital para mantener los múltiples servicios que éstos proporcionan a la población humana y otros seres vivos, incluyendo su función regulatoria del ciclo hídrico.

La región ha desarrollado una alta dependencia de fuentes energéticas importadas de origen fósil altamente contaminantes. El tránsito a una matriz energética basada en fuentes renovables locales mejoraría la seguridad energética, ahorraría divisas y reduciría los impactos negativos de los combustibles fósiles en la salud humana y las emisiones GEI. Es necesario diseñar hidroeléctricas integradas a la gestión integral de agua y de cuencas para minimizar impactos ambientales negativos. Para ello se requiere crear un marco de negociación social de proyectos de infraestructura hídrica que supere el bagaje conflictivo del pasado y permita el desarrollo equitativo y sostenible de poblaciones aledañas a las obras y a las zonas de conservación. Las normas de infraestructura hídrica y sus planes de gestión deberán prever posibles cambios estacionales, mayor variabilidad de precipitación y disponibilidad del agua a niveles espacial y temporal y demandas crecientes de generación de hidroelectricidad, riego, consumo humano y gestión de flujos.

Finalmente, los cambios previstos en aridez tendrán implicaciones para la viabilidad de los ecosistemas de la región y el impacto de eventos extremos como los incendios. Estos ecosistemas dependen de climas relativamente húmedos, aunque con variaciones, por ejemplo, entre diferentes tipos de bosques tropicales húmedos y secos. Proteger y restaurar estos ecosistemas es un importante reto de desarrollo aun sin cambio climático. Con este fenómeno se vuelve más necesario adoptar el principio de precaución, considerando la irreversibilidad de la pérdida biológica, el riesgo y la incertidumbre. Existen sinergias potenciales con otras medidas de adaptación como mejorar la eficiencia del uso del agua, desarrollar una agricultura más sostenible y aumentar el uso de energía eléctrica por la población pobre, pero todo esto requerirá coordinación de planes de desarrollo sostenibles entre diversos sectores.

La información georeferenciada y desagregada por departamentos y regiones geoclimáticas, y dividida temporalmente en años corte y por patrones intraanuales, es una herramienta útil para afinar los análisis de impactos potenciales en sectores como la agricultura, el consumo del agua, la salud y la hidroelectricidad. Su especificación a menores escalas es también importante para formular acciones de adaptación en zonas geográficas particulares. Es importante recalcar que la región estaría mejor provista del conocimiento requerido si expande y fortalece su red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas y profesionales en climatología y hidrología.

BIBLIOGRAFÍA

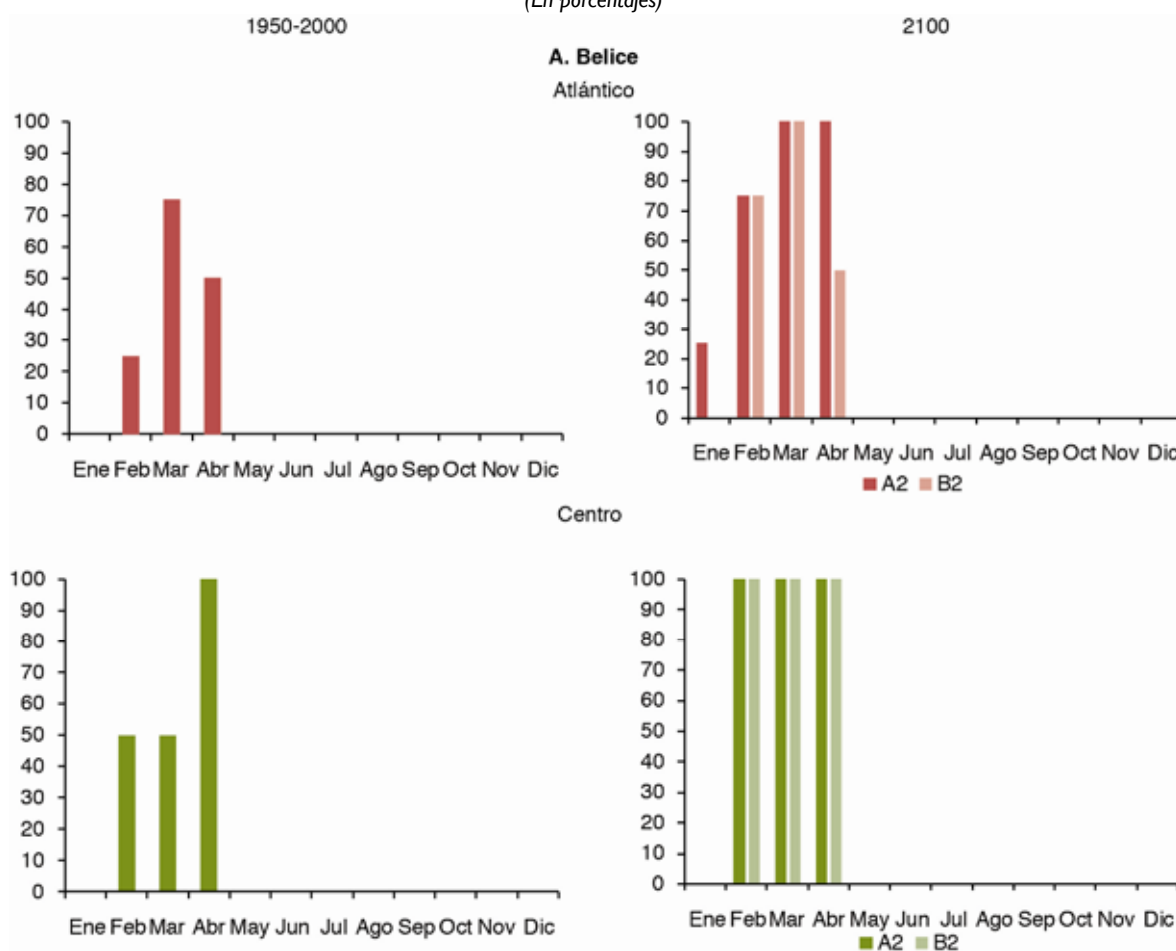
- CAZALAC (Centro del Agua para Zonas áridas y semi áridas de América Latina y el Caribe) y PHI (Programa Hidrológico Internacional)/UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2005). *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe*, CAZALAC.
- CAZALAC y PHI/UNESCO (2005). *ATLAS de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe*. Elaborado por: Koen Verbist, Fernando Santibáñez, Donald Gabriels y Guido Soto. PHI-VII / Documento Técnico No. 25.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), CCAD/SICA (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo/ Sistema de la Integración Centroamericana), UKAID (Programa de Asistencia del Ministerio para Desarrollo Internacional del Gobierno Británico) y DANIDA (Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca) (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica. Reporte técnico 2011*, Organización de las Naciones Unidas, CEPAL, LC/MEX/L.1016, México, D.F.
- CEPAL/UKAID/CCAD/SICA (2010). *La economía del cambio climático en Centroamérica. Síntesis 2010*. (LC/MEX/L.978), México, D. F.
- Diccionario de la Real Academia Española (2012) [en línea]
http://buscon.rae.es/drae/?type=3&val=sequi%2a&val_aux=&origen=REDRAE
- Fleig, A. (2004). Hydrological drought – a comparative study using daily discharge series from around the world. Master thesis, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Alemania.
- Fleig, A., Tallaksen, L. y Hisdal, H. (2006). Drought indices suitable to study the linkages to large scale climate drivers in regions with seasonal frost influence. *Climate Variability and Change –Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference, La Habana, Cuba, Noviembre 2006)*, IAHS Publ. 308.
- García, L., Fernández, W. y Rivas T. (2003). “Aspectos generales de la Canícula y sus impactos en El Salvador”. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, Vol. 10, No. 2, San Salvador, El Salvador.
- Hamon, W. (1963). “Computation of direct runoff amounts from storm rainfall”, *International Association of Scientific Hydrology Publication*, Vol. 63.
- Hassan, H. y Dregne, H. (1997). “Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: An Overview”. *Natural Habitats and Ecosystems Management Series. Environment Department Papers*. Wahisngton, D. C., World Bank.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) (2000). *Climate Change 2000: IPCC Special report on emissions scenarios. A special of IPCC Working Group III*, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA (US), Environmental Molecular Sciences Laboratory (US).
- IPCC (2007). *Cambio Climático 2007: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático*, Cambridge University Press.
- Linsley, R., Kohler, M. y Paulhus, J. (1975). *Hydrology for engineers*. McGraw-Hill, Nueva York, EUA.
- Marcos, O. (2001). “Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación”. *Revista Investigaciones Geográficas* No. 26. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante, España.
- Papadakis, J. (1980). *El clima. Con especial referencia a los climas de América Latina, Península Ibérica, ex Colonias Ibéricas y sus potencialidades agropecuarias*. Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina.
- Penman, H. (1956). “Evaporation, an introduction survey”, *Netherlands Journal of Agricultural Science* Vol. 4, California, EUA.
- Perrier, A. (1984). “Updated evapotranspiration and crop water requirement definitions”, en: Perrier, A. y Riou, C. (eds) *Crop Water Requirements (ICID Int. Conf., Paris, Sept. 1984)*. INRA.
- Priestley, C. y Taylor, R. (1972). “On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters”, *Monthly Weather Review*, Vol. 100, Num. 2.

- Ruiz, J. (1999). "Modelo distribuido para la evaluación de recursos hídricos", *Monografías del CEDEX*, Vol. 67, Madrid, España.
- Sheffield, J., y otros (2009). "Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity – area – duration analysis and temporal variability of large – scale events". *Journal of Climate*, Vol. 22.
- Tallaksen, M. y Van Lanen, H. (2004). "Hydrological drought –processes and estimation methods for groundwater and streamflow". *Developments in Water Sciences* No. 48, Elsevier.
- Thorntwaite, C. (1948). "An approach toward a rational classification of climate". *Geographical Review* Vol. 38, Num. 1.
- Turc, L. (1963). "Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration, potentielle, formulation simplifiée et mise à jour". *Ann. Agron.*, Vol. 12.
- UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (1997). *World Atlas of Desertification*. Segunda Edición. Middleton N. y Thomas D. (eds).
- Van Lanen, H. y Tallaksen, L. (2007). Hydrological drought, climate variability and change. En *Climate and Water. – Helsinki: Third International Conference on Climate and Water*.
- White, D. y Walcott, J. (2009). "The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review", *Crop & Pasture Science*, Vol. 60.
- Wilhite, D. y Buchanan-Smith, M. (2005). "Drought as a natural hazard: understanding the natural and social context", en: Wilhite, D. (ed), *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EUA.
- Xu, C. y V. Singh, (1998). "Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods", *Hydrological processes*, Vol. 12, Num. 3.

ANEXO I

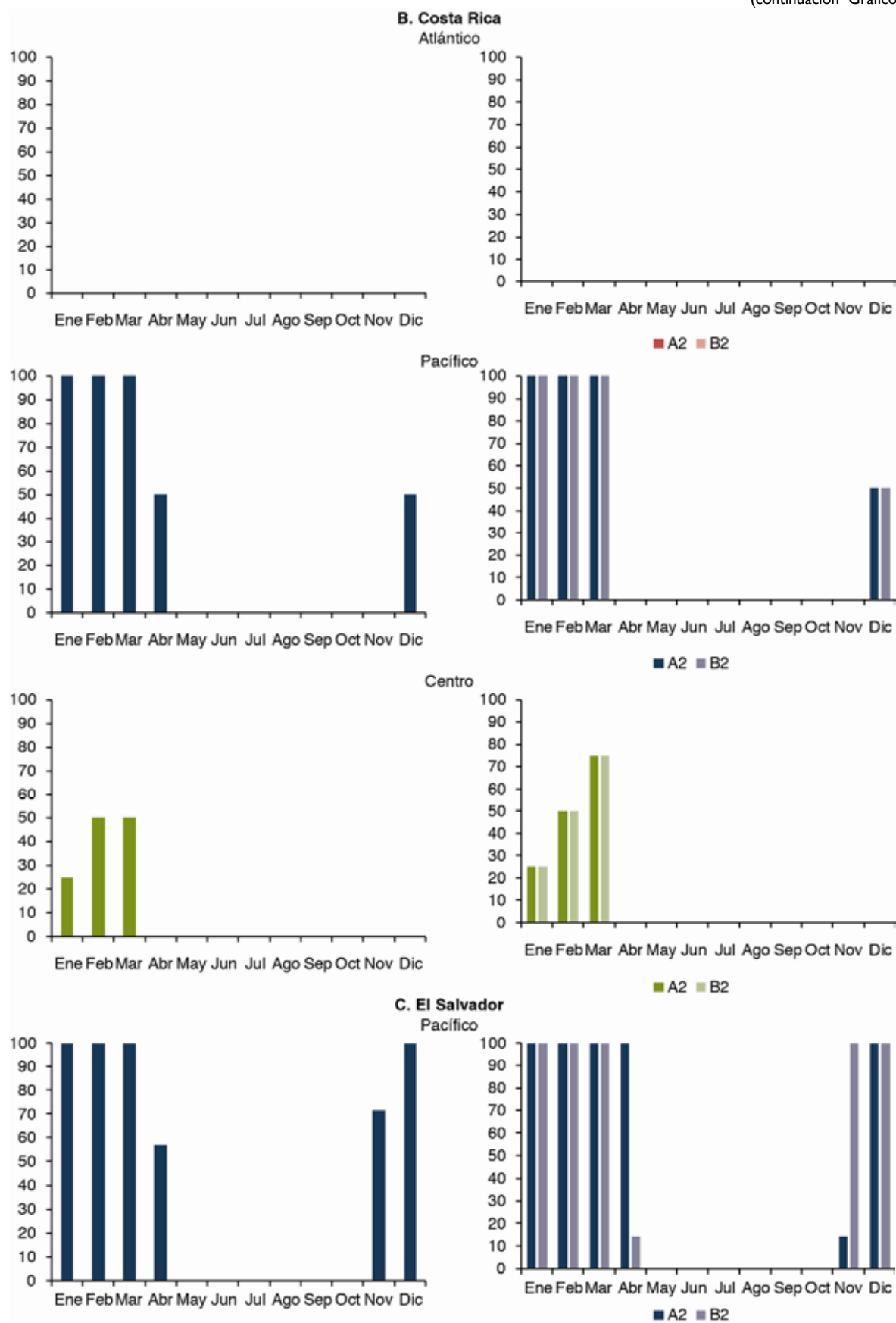
GRÁFICO A1
CENTROAMÉRICA: DEPARTAMENTOS CON MES SECO POR PAÍS Y REGIÓN GEOCLIMÁTICA, PROMEDIO 1950-2000 Y ESCENARIOS B2 Y A2, 2100

(En porcentajes)



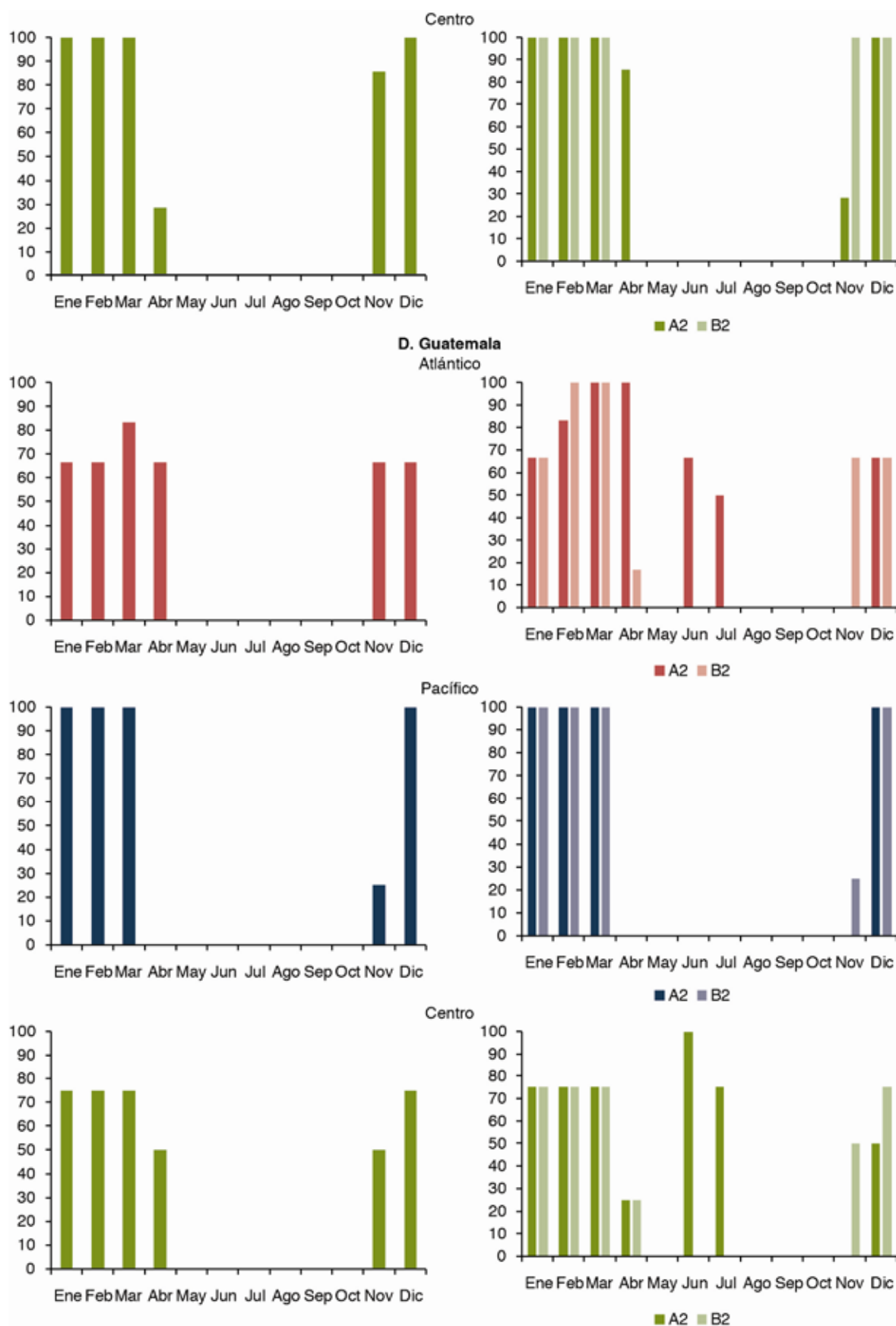
(continúa)

(continuación Gráfico A1)



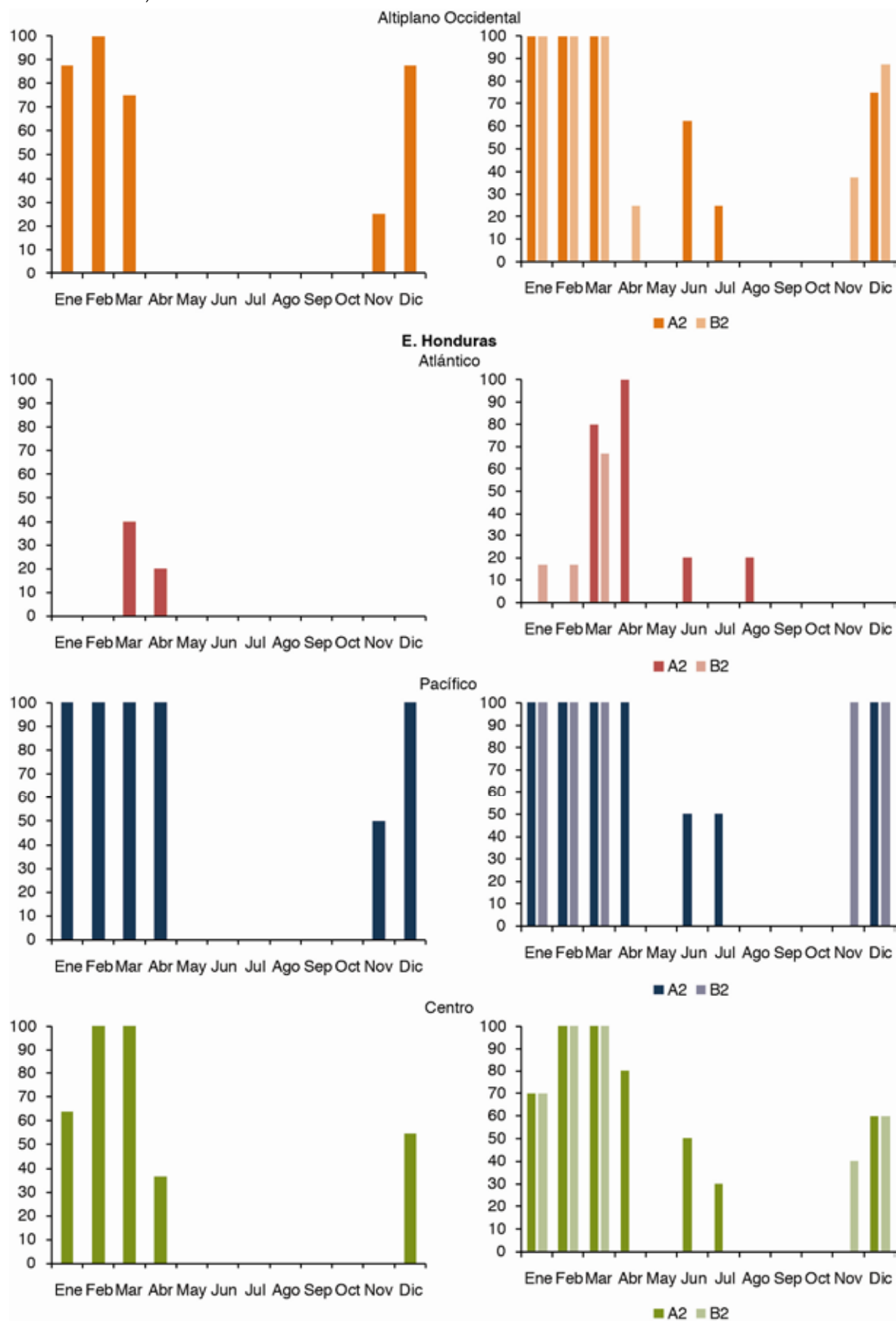
(continuación Gráfico A1)

(continúa)



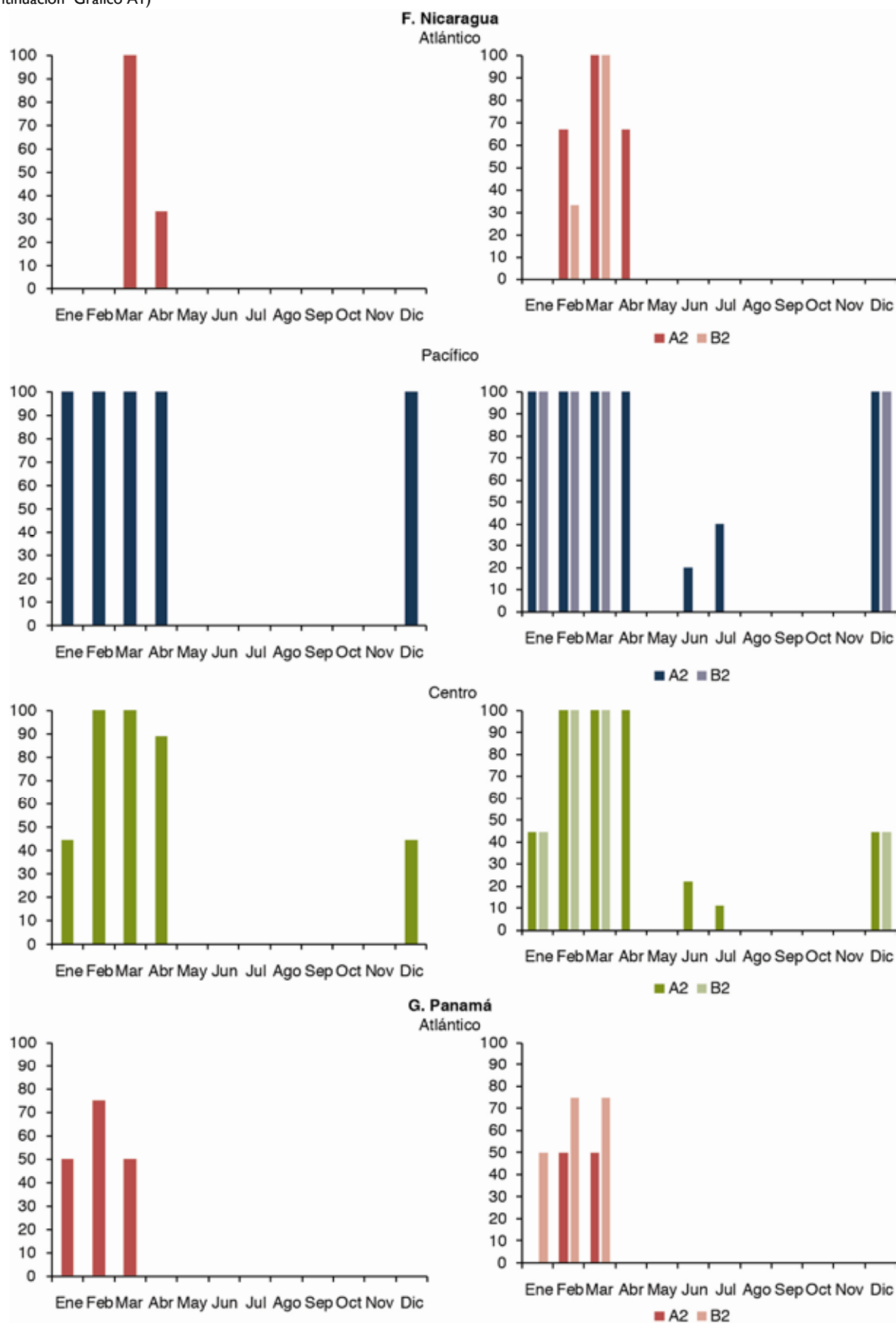
(continuación)

(continuación Gráfico A1)



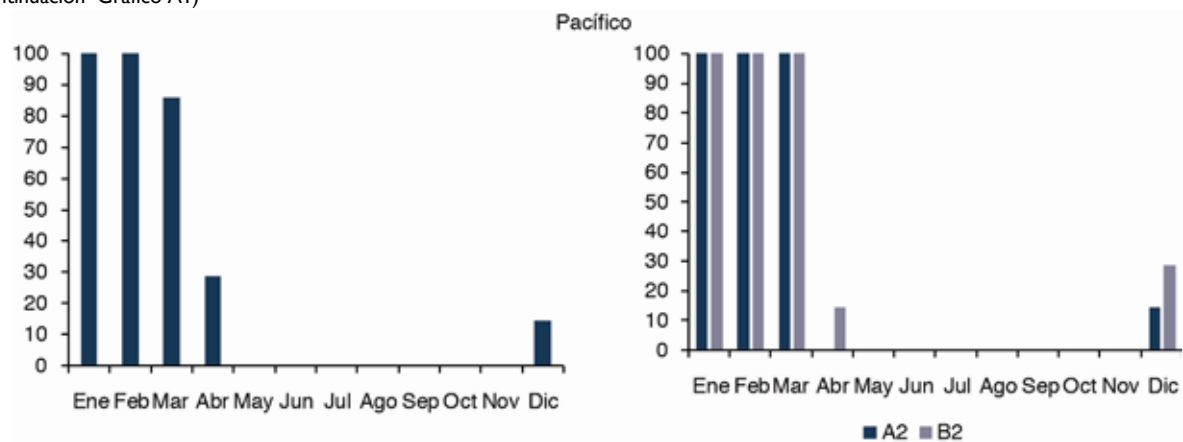
(continúa)

(continuación Gráfico A1)

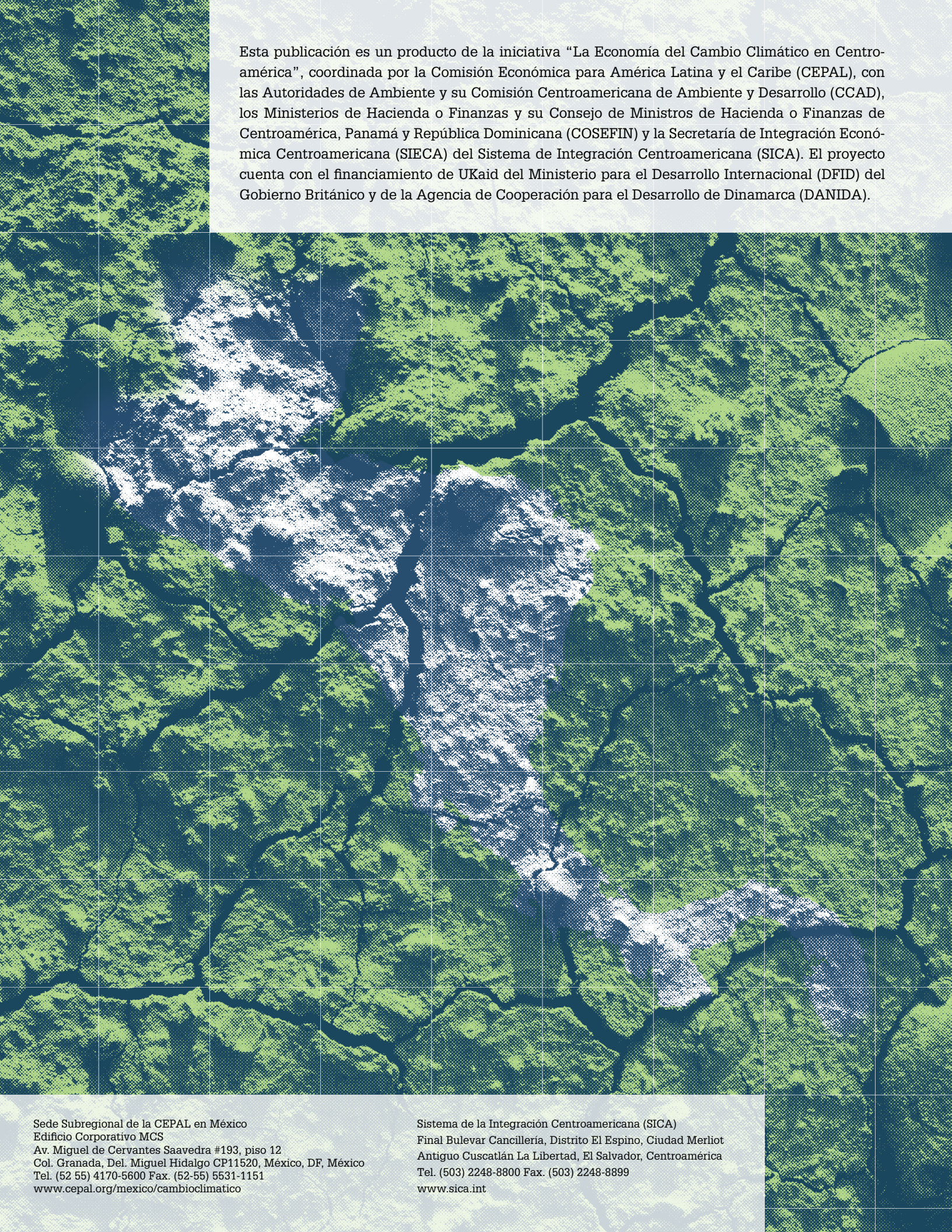


(continúa)

(continuación Gráfico A1)



Fuente: Elaboración propia.



Esta publicación es un producto de la iniciativa “La Economía del Cambio Climático en Centroamérica”, coordinada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), con las Autoridades de Ambiente y su Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), los Ministerios de Hacienda o Finanzas y su Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (COSEFIN) y la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) del Sistema de Integración Centroamericana (SICA). El proyecto cuenta con el financiamiento de UKaid del Ministerio para el Desarrollo Internacional (DFID) del Gobierno Británico y de la Agencia de Cooperación para el Desarrollo de Dinamarca (DANIDA).

Sede Subregional de la CEPAL en México
Edificio Corporativo MCS
Av. Miguel de Cervantes Saavedra #193, piso 12
Col. Granada, Del. Miguel Hidalgo CP11520, México, DF, México
Tel. (52 55) 4170-5600 Fax. (52-55) 5531-1151
www.cepal.org/mexico/cambioclimatico

Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)
Final Bulevar Cancillería, Distrito El Espino, Ciudad Merliot
Antiguo Cuscatlán La Libertad, El Salvador, Centroamérica
Tel. (503) 2248-8800 Fax. (503) 2248-8899
www.sica.int