Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe

Propuestas para Métodos de Evaluación

Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez y Dr. Jorge López Blanco
Coordinadores

Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe

Propuestas para Métodos de Evaluación

Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe

Propuestas para Métodos de Evaluación

Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez y Dr. Jorge López Blanco
Coordinadores

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO
KOICA
Korea International Cooperation Agency
AMEXCID
AGENCIA MEXICANA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO

Primera edición: 2016

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Periférico Sur 5000
Colonia Insurgentes Cuicuilco
C.P. 04530, Ciudad de México
www.inecc.gob.mx

Coordinación editorial: Jorge López Blanco, Gilberto Enríquez Hernández, Raquel Teresa Montes Rojas
Diseño: Quinta del Agua Ediciones

Hecho en México • Made in Mexico

Índice general

Presentación 15
Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Agradecimientos 17

Introducción general 19
Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez

CAPÍTULO 1
Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Ejemplos para México, Centroamérica y El Caribe 25
Ana Cecilia Conde Álvarez, Gilberto Enríquez Hernández, Nora Esquivel Esquivel, Jorge López Blanco, Fanny López Díaz, Raquel Montes Rojas, Yusif Nava Assad, Karina Ruiz Bedolla

CAPÍTULO 2
Efectos e impactos del cambio climático en el maíz blanco en El Salvador 73
Yvette Munguia Fernández, Metzi Aguilar Munguia

CAPÍTULO 3
Índice de vulnerabilidad al cambio climático en el sector hídrico a nivel comunitario en Honduras 89
Mirza Castro Martin, Tania Peña Paz

CAPÍTULO 4
Escenarios de cambio climático 2075-2099: caso de estudio de impacto en la agricultura de Guanacaste, Costa Rica 103
Luis Alvarado Gambo, Federico Paredes Valverde

CAPÍTULO 5
Cambio climático y vulnerabilidades en Cuba 113
Ofelia Pérez Montero, Adrián Álvarez Adán, Yaritza Gómez Villa

CAPÍTULO 6
Vulnerability assessments in Jamaica 133
Pietra Brown

Índice de tablas y figuras

Lista de tablas

Tabla 1.1. Escenarios de Trayectorias de Concentraciones Representativas RCP. 38
Tabla 1.2. Lista de variables a escala mensual, modelos, métricas, periodos y dominio a evaluar con datos observados y los MCG. 41
Tabla 1.3. Resumen de resultados por país. 48
Tabla 1.4. Resumen de aproximaciones metodológicas para la evaluación de vulnerabilidad ante cambio climático para los países de Centroamérica y el Caribe. 59

Tabla 2.1. Temperatura y precipitación media mensual para el clima de referencia 1961-2000 y proyecciones para 2075-2099. 76
Tabla 2.2. Duración del período de crecimiento de referencia para 1961-2000. 78
Tabla 2.3. Duración del período de crecimiento para RCP4.5 y RCP8.5 en el futuro lejano 2075-2099. 78

Tabla 4.1. Datos mensuales de lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo o climatología de referencia 1961-2000 de la base de datos CRU. 106
Tabla 4.2. Datos mensuales de la lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo 2075-2099 del escenario de emisiones RCP4.5 y del ensamble de modelos REA. 106
Tabla 4.3. Datos mensuales de la lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo 2075-2099 del escenario de emisiones RCP8.5 y del ensamble de modelos REA. 107
Tabla 4.4. Resultados de las fechas de inicio/finalización y longitud del periodo de crecimiento en las proyecciones de clima actual y futuro con dos escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5). 110

Tabla 5.1. Uso de la tierra agrícola. 120
Tabla 5.2. Variables asociadas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa al cambio climático. 128

Table 6.1. Impact of Extreme Events on Jamaica's Gross Domestic Product. 134
Table 6.2. Impacts of Climate Change on Health, Agriculture and Water. 137

Lista de figuras

Figura 1.1. Distribución normal para temperatura y sus respectivos cambios en los eventos extremos: a) en el promedio de la distribución, b) en la varianza y c) en promedio y varianza. 30
Figura 1.2. Actividades desarrolladas durante la sesión de taller sobre "Eventos climáticos extremos observados". 33
Figura 1.3. Relación del CMIP5 con organizaciones establecidas para coordinar las actividades internacionales de investigación del clima y el IPCC, los centros de modelación y la comunidad de investigación climática. 36
Figura 1.4. Resumen de los experimentos de larga duración del CMIP5. Las fuentes verdes indican las simulaciones que se pueden hacer por modelos con representaciones del ciclo de carbono. En la parte superior del círculo se encuentran experimentos que pueden ser usados para comparar con observaciones o para proveer proyecciones, mientras que los que están en la parte inferior del círculo son idealizados o de diagnóstico, con la finalidad de mejorar el entendimiento del sistema climático y el comportamiento del modelo. 37
Figura 1.5. a) Cambios en el forzamiento de radiación relacionado a las condiciones pre-industriales. Las líneas gruesas muestran cuatro RCP, las delgadas escenarios individuales de aproximadamente 30 candidatos de escenarios RCP que proveen información en todos los factores clave que afectan el forzamiento de radiación. b) Emisiones de CO_2 de energía e industria para los cuatro RCP. 39
Figura 1.6. Plataforma Web en la cual se despliegan los resultados relevantes del estudio "Actualización de Escenarios de Cambio Climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional". 39
Figura 1.7. Plataforma web que contiene cuatro modelos de circulación general y el ensamble ponderado REA con una resolución espacial de 30" (celda de aprox. 1 km por lado), y 15 modelos de circulación general con resolución de 0.5° de latitud-longitud (celda de poco más de 50 km), bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. 40

Figura 1.8. Exposición de los participantes de los resultados en el ejercicio de escenarios de cambio climático. 42
Figura 1.9. Resultados del análisis de la temperatura máxima de junio, julio y agosto, considerando el escenario de cambio climático "tmax_REA_RCP45_2075_2099", y calculando su promedio estacional (estación cálida). 42
Figura 1.10. Relación entre las curvas de precipitación (P) y de evapotranspiración potencial*0.5 (ETo*0.5) para el cálculo de la duración del periodo de crecimiento. 45
Figura 1.11. Marco para Políticas de Adaptación. 50
Figura 1.12. Método para establecer un Marco para Políticas de Adaptación. 51
Figura 1.13. Diagrama conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura en el proceso de adaptación al cambio climático en México. 55
Figura 1.14. Vulnerabilidad al cambio climático considerando como tema focal la agricultura de maíz de temporal a nivel municipal en México. En (a) mapa de vulnerabilidad futura usando el modelo HADGEM2_ES, con forzamiento radiativo RCP8.5 W/m^2 y un horizonte temporal 2015-2039. El mapa en (b) corresponde al modelo MPI_ESM_LR, con el mismo forzamiento y horizonte temporal. 57

Figura 2.1. Área de estudio, Departamento de Usulután, El Salvador. 75
Figura 2.2. Patrón intranual de la temperatura media mensual para el período de referencia 1961-2000 y para el futuro lejano 2075-2099 en el área de estudio. 76
Figura 2.3. Patrón intranual de la precipitación media mensual para el período de referencia 1961-2000 y para el futuro lejano 2075-2099 en el área de estudio. 77
Figura 2.4. Duración de período de crecimiento de referencia para 1961-2000. 79
Figura 2.5. Duración de período de crecimiento con RCP4.5 para 2075-2099. 79
Figura 2.6. Duración de período de crecimiento con RCP8.5 para 2075-2099. 80

Figura 3.1. Área de estudio (IHCIT-UNAH, 2016). 92
Figura 3.2. Índice de exposición años base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016). 96
Figura 3.3. Índice de sensibilidad escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016). 97
Figura 3.4. Índice de capacidad adaptativa, escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016). 98
Figura 3.5. Índice de vulnerabilidad al cambio climático, escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016). 98
Figura 3.6. Comparación del escenario 2015 y 2030 para el índice de vulnerabilidad (IHCIT-UNAH, 2016). 99

Figura 4.1. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo de referencia 1961-2000. 108
Figura 4.2. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo 2075-2099 del ensamble de modelos REA del escenario RCP4.5. 109
Figura 4.3. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo 2075-2099 del ensamble de modelos REA del escenario RCP8.5. 110

Figura 5.1. Proyección de la temperatura superficial terrestre en ºC según el ensamble REA, escenario RCP4.5 para el período 2075-2099. (A y B temperatura mínima períodos lluvioso y poco lluvioso; C y D temperatura máxima períodos lluvioso y poco lluvioso). 118
Figura 5.2. Proyección de las variaciones del promedio precipitación en porcentaje según el ensamble REA, escenario RCP4.5 para el período 2075-2099. (A y B períodos lluvioso y poco lluvioso respectivamente). 119
Figura 5.3. Comportamiento de las anomalías mensuales de la temperatura media en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°. 122
Figura 5.4. Comportamiento de la precipitación media mensual y de la evapotranspiración potencial en el escenario de referencia CRU (línea base 1961-2000) y en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°. 123
Figura 5.5. Comportamiento mensual del déficit hídrico proyectado en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°. 123
Figura 5.6. Comportamiento de las fechas de inicio y fin del período de crecimiento en el escenario de referencia CRU (línea base 1961-2000) y en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°. 125

Acrónimos

AMA	Agencia de Medio Ambiente (Cuba)
CCCCC	Centro de Cambio Climático de la Comunidad del Caribe
CITMA	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente de Cuba
CRU	Climatic Research Unit (Unidad de Investigaciones del Clima - Reino Unido)
DPC	Duración del Período de Crecimiento
EAMCC	Estrategia Ambiental de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático (El Salvador)
ETP	Evapotranspiración Potencial
GOJ	Government of Jamaica
IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
INSMET	Instituto de Meteorología de Cuba
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IVCC	Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (Honduras)
MCG	Modelos de Circulación Global
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RCP	Representative Concentration Pathways (Trayectorias de Concentraciones Representativas)
REA	Reliability Ensemble Averaging (Fiabilidad del Ensamble Ponderado)
RiVAMP	Risk and Vulnerability Assessment Methodology Development Project (Jamaica)
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)
SIDS	Caribbean's Small Island States
UMAS	Unidades Ambientales Municipales (Honduras)
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	United Nations Environment Programme
WRF	Weather Research and Forecasting (Investigación y Predicción del Tiempo)

Presentación

Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México
direccion.general@inecc.gob.mx

México comparte con Centro América y el Caribe, además de aspectos culturales y socioeconómicos, procesos climáticos y meteorológicos que como región nos hacen, altamente vulnerables al cambio climático. Al mismo tiempo, nos son comunes algunos problemas ambientales respecto a la calidad del aire, relacionados con el clima, las formas de urbanización y la tecnología prevaleciente en el desarrollo de diversas actividades. Ambas condiciones amenazan severamente a la población, la biodiversidad, la integridad de los ecosistemas y la infraestructura estratégica, entre otros.

Por ello, para el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) la colaboración científica y técnica, el intercambio de experiencias y la formación conjunta de recursos humanos con nuestros países vecinos, constituyen objetivos prioritarios en la cooperación internacional.

La iniciativa de la que emanan las presentes memorias tiene como marco general el Acuerdo de Cooperación Económica, Científica y Técnica, firmado entre el gobierno de México y la República de Corea en 1989, el cual permitió la firma de un Memorándum de Entendimiento entre ambos Estados, en 2014, para implementar acciones de cooperación triangular, a través de la Plataforma de Colaboración México-Corea.

Esta Plataforma de Colaboración consiste en talleres técnicos e intercambios virtuales de conocimientos sobre dos módulos temáticos: Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático, y Calidad del Aire. A la fecha se han llevado a cabo dos ediciones de esta Plataforma con el objetivo de fortalecer las capacidades de instituciones públicas y sociales a nivel federal/central y local de países de América Latina y el Caribe.

El módulo de Calidad del Aire, organizado por la Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental del INECC, contó con la participación de especialistas de 16 países. Incluyó, entre otras

herramientas metodológicas, temas de calibración y operación de equipo de monitoreo atmosférico; validación de datos; modelación de dispersión de contaminantes e indicadores de calidad del aire.

Para el módulo de Vulnerabilidad y Adaptación, a cargo de la Coordinación de Adaptación al Cambio Climático, del Instituto, fueron invitados a participar 10 países de la región. Durante el desarrollo de las dos ediciones de la Plataforma se crearon capacidades para el diseño de medidas de adaptación y reducción de la vulnerabilidad actual y futura.

Los resultados y aprendizajes transmitidos en este segundo módulo se plasman ahora con la elaboración de las presentes memorias; legado de intercambio de conocimiento y experiencias propiciado por una exitosa y fructífera cooperación entre los gobiernos de México y Corea.

Algunos países latinoamericanos han sometido sus *Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional* (INDC, por sus siglas en inglés) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Indudablemente, el llamado *Acuerdo de París* abre la oportunidad para que los países latinoamericanos fortalezcan sus acciones regionales de adaptación al cambio climático, independientemente de los avances en los procesos globales de mitigación.

Es por ello que México, como parte del *Grupo de Integridad Ambiental* (EIG, por sus siglas en inglés, compuesto por Liechtenstein, México, Mónaco, República de Corea y Suiza) propuso en la Conferencia de las Partes (COP) de la CMNUCC, desarrollada en Noviembre de 2016 en Marruecos (COP22), que se establezcan los mecanismos para la realización de *Reportes Regionales de Adaptaci*ón dentro de la Convención. Esperamos que los trabajos recopilados en estas memorias contribuyan al acervo de experiencias para alcanzar mejor estos objetivos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA); a la Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AMEXCID) de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE); a la Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales (UCAI) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC); por el apoyo financiero y logístico brindado para la realización de los talleres y para hacer posible la participación presencial de los colegas de Centroamérica y el Caribe.

Asimismo, expresamos nuestro más amplio reconocimiento y gratitud a Gabriela Colorado Ruiz del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Agustín Fernández Eguiarte y Óscar Calderón Bustamante del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCA-UNAM), Verónica Bunge Vivier del INECC, Alejandro Monterroso Rivas de la Universidad Autónoma Chapingo, Luis Zambrano González del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IB-UNAM) y a Park Si Yeong del Instituto Coreano de Industria Ambiental y Tecnología. (edición 2014); igualmente a Patricia Moreno Casasola, del Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Roberto Sánchez Rodríguez del Colegio de la Frontera Norte (COLEF) y a OH Kwan-Young del Ministerio de Medio Ambiente de Corea (edición 2015). Todos ellos investigadores y colaboradores de diversas instituciones académicas, que con su conocimiento y trayectoria en los temas de escenarios, variabilidad climática, impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, enriquecieron cada una de las sesiones, a partir de las presentaciones sobre sus experiencias y las conversaciones sobre las aproximaciones metodológicas.

Por parte del equipo del INECC, a la Dra. María Amparo Martínez Arroyo por promover el desarrollo de los talleres y a la Mtra. Iris Adriana Jiménez Castillo por el apoyo para la edición electrónica de esta obra. Asimismo, agradecemos a Alejandra López Carbajal, Aideé Saucedo Dávila, Mariana Ayala (servicio social), Marina Romero Cázares, José Luis Pérez Damián, Iveth Hernández Montoya, Óscar Pérez Sánchez y Diana Quiroz Benítez (INECC-PNUD), por sus

aportaciones al contenido de este trabajo y su profesionalismo para concretar con éxito la logística de dichos eventos y resolver las eventualidades que un proyecto de esta envergadura siempre trae consigo.

Por último, pero no por ello menos importante, el equipo del INECC reconoce a todos los colegas de Centroamérica y el Caribe que participaron en la primera y segunda edición, que sin ellos el intercambio de conocimientos con miras a fortalecer capacidades en materia de cambio climático no hubiera tenido fruto. Por *Costa Rica*: Ana María Duran Quesada, Federico Paredes Valverde, Luis Fernando Alvarado Gamboa; *Cuba*: Adrián Álvarez Adán, Dionisio Abel Centella Artola, Ofelia Pérez Montero, Yaritza Gómez Villa; *El Salvador*: Martha Ivette Munguía Fernández; *Guatemala*: Gabriela Alfaro Marroquín, Gerardo Abelardo Pérez Zamora, Sergio Alejandro Mansilla Jiménez; *Honduras*: María Tania Peña Paz, Mirza Osiris Castro Martín de Rey, Nabil Kawas Khoury; *Jamaica*: Pietra Brown; *México*: Humberto Ramón Zetina Tapia, Mónica Díaz López Negrete y Angela Nayeli Treviño Gil; *Nicaragua*: Edwin Antonio Alonzo Serrano, Carlos Humberto Carballo Escobar; *Panamá*: Mirta Estela Benítez Herrera y *República Dominicana*: Aida María Rosario de León, Patria Victoria Sánchez Peña.

Introducción general

Dra. Ana Cecilia Conde Álvarez

Coordinadora General de Adaptación al Cambio Climático-INECC, México,
cecilia.conde@inecc.gob.mx

A partir de que es inequívoco que las acciones humanas ya están cambiando el clima actual (IPCC, 2007; IPCC, 2013; Estrada *el al.,* 2015), y que dichos cambios se han observado en la región de Centro América y México (Aguilar *et al.,* 2005), y en particular para el territorio mexicano (Met Office, 2011), se ha notado una creciente toma de conciencia por parte de la sociedad civil y de las agencias gubernamentales sobre la amenaza que representa el cambio climático para los sistemas humanos y naturales de América Latina y el Caribe (Magrin, 2015:12; DOF, 2014).

En particular, las vulnerabilidades socioeconómicas de América Central se ven agravadas por la ubicación geo-climática de este estrecho Istmo que está seriamente afectado por sequías, ciclones y la Oscilación Austral de El Niño (ENSO, por sus siglas en inglés), además de que en las últimas tres décadas ha habido una tendencia a la reducción de las precipitaciones, especialmente en la parte occidental del Istmo, y de los aumentos de temperatura (ECALC, 2010:13).

En el caso de las pequeñas islas y los estados que conforman la región del Caribe los impactos esperados, como el aumento del nivel del mar, la erosión costera, la intrusión de agua salada, la escalada en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales y los huracanes, así como las interrupciones en la lluvia y el suministro de agua dulce, se verán agravados debido a la limitada capacidad de adaptación de estos Estados, amenazando su existencia (Colley *et al.,* 2011:11; CCCCC, 2015:6).

En el caso de México, al igual que América Central, su localización geográfica entre dos océanos, además de su posición latitudinal y relieve, lo hacen particularmente expuesto a diferentes fenómenos hidrometeorológicos (DOF, 2014:11), como ciclones tropicales, inundaciones y sequías que han producido pérdidas humanas y altos costos económicos y sociales a lo largo del país (SEMARNAT, 2013:32).

Por otro lado, es preciso mencionar que algunos países de la región de América Latina han hecho esfuerzos para adaptarse a la variabilidad y al cambio climático, a través de medidas como la conservación de ecosistemas clave, el uso de sistemas de alerta temprana o la implementación de sistemas de vigilancia para enfermedades, pero la presencia de diversos factores técnicos, institucionales, económicos y sociales limitan la efectividad en la implementación de las posibles medidas (IPCC, 2014:1504; DOF, 2014).

Asimismo, un tema crucial en América Latina es la falta de evaluaciones integradas del cambio climático y sus posibles impactos, lo cual se ve agravado por los débiles sistemas de monitoreo y observación que no permiten tener la capacidad adecuada para generar información confiable que sea utilizada para investigación y en el diseño de políticas públicas encaminadas a la adaptación al cambio climático (Conde y Saldaña, 2007:28).

Con el propósito de desarrollar conjuntamente capacidades que permitan superar esas debilidades, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), bajo el marco de la Plataforma de Colaboración entre la República de Corea y México, organizó dos talleres que se realizaron en las instalaciones de la Secretaría de Relaciones Exteriores, en la Ciudad de México. El primero tuvo lugar del 3 al 7 de noviembre de 2014 y contó con la participación de especialistas de Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua y República Dominicana. El segundo se realizó del 26 al 30 de octubre de 2015 y asistieron especialistas de Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua y Panamá.

Entre los objetivos de estos talleres estuvieron el intercambio de conocimientos y experiencias de los diferentes participantes, así como en el desarrollo de capacidades para aplicar herramientas útiles para evaluar y modelar las vulnerabilidades de sus respectivos países a los efectos adversos del cambio climático, con el fin de apoyar el diseño de medidas de adaptación y reducción de estas vulnerabilidades, actuales y futuras.

Parte de los resultados que se obtuvieron en el segundo taller, se presentan en este volumen, en forma de capítulos, por parte de los especialistas de los distintos países.

En el Capítulo 1, se consideran cuatro aspectos que son fundamentales para conocer la vulnerabilidad actual y futura: La evaluación de la variabilidad climática, particularmente el análisis de los eventos climáticos extremos; los escenarios de cambio climático regionales, para el análisis de las condiciones actuales y de cambio de las variables climáticas básicas de precipitación y temperatura; los impactos potenciales derivados del cambio climático, que se ejemplifican con el análisis del cambio en el periodo de crecimiento en cultivos agrícolas bajo condiciones climáticas actuales y proyectadas, y la definición conceptual y metodológica de la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, considerando factores climáticos y no climáticos. En el desarrollo de este capítulo

también se muestran los resultados de las actividades llevadas a cabo durante los talleres 2014 y 2015; particularmente, se ilustran los resultados obtenidos para México, y algunos que obtuvieron los expertos de los países de Centroamérica y el Caribe.

En el Capítulo 2, correspondiente a El Salvador, se identifican los efectos del cambio climático en el período de crecimiento de los cultivos para un futuro lejano 2075-2099, así como los impactos en el cultivo del maíz blanco debido a los cambios proyectados en la temperatura y precipitación.

En el Capítulo 3, que hace referencia a Honduras, se presenta un índice integrado de vulnerabilidad al cambio climático en 23 comunidades que conforman la unidad hidrogeológica del Cerro de Hula, en donde la fuente de abastecimiento tiene problemas en la calidad del agua por presencia de hierro y manganeso.

En el Capítulo 4, dedicado a Costa Rica, se analizó el cambio en la precipitación y la temperatura en la provincia de Guanacaste para el horizonte lejano 2075-2099 y el periodo de referencia 1961-2000. Además, se evaluó el impacto potencial del cambio climático en el maíz de temporal, por medio del cálculo del periodo de crecimiento para los RCP 4.5, RCP 8.5 y el ensamble REA.

En el Capítulo 5, que corresponde a Cuba, se describe el comportamiento y variaciones del clima, el impacto de éste sobre el recurso suelo y sus consecuencias socioeconómicas en la agricultura, así como el análisis de las variables para el estudio de la vulnerabilidad por la elevación del nivel medio del mar en la isla.

Finalmente en el Capítulo 6, perteneciente a Jamaica, se discute la vulnerabilidad al cambio climático, considerando un análisis de los temas de sensibilidad, exposición y capacidad adaptativa, así como los posibles impactos de los principales fenómenos hidrometeorológicos en el país.

Referencias

Aguilar, E., Peterson, T. C., Ramírez, P., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., González García, I., Araujo, R. M., Rosa, A., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., Sánchez, E., Hernández, G. I., Obed, F., Salgado, J. E., Vázquez, J. L., Baca, M. , Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda, C. E. , Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H. , Mayorga, R. (2005). Changes in Precipitation and Temperature Extremes in Central America and Northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*,110: D231077, doi:10.1029/2005JD006119.

CCCCC (2009). *Climate change and the Caribbean: A regional framework for achieving development resilient to climate change (2009-2015)*. Caribbean Community Climate Change Centre, 30 pp., Belmopan, Belize.

Colley, M., Haworth, A. and Firth, J. (2011). *Regional diagnostic: climate change and development research capacities and regional priorities in the Caribbean*. Caribbean Community Climate Change Centre. pp76. Belize.

Conde, C. y Saldaña, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Revista Ambiente y Desarrollo.* 23(2), 23-30.

DOF (28/04/2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. Documento disponible en: [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014], 96 pp., México.

ECLAC (2010). *The economics of climate change in Central America: Summary 2010*, Economic Commission for Central America and the Caribbean. pp. 144.

Estrada Porrúa F. y Gay-García, C. (2015). *Capítulo 10. Detección y atribución de cambio climático,* pp. 219-245, *Reporte Mexicano de Cambio Climático, Grupo de Trabajo I Bases científicas. Modelos y modelación*, Autores líderes: F. Estrada Porrúa, C. Gay y García, Autores colaboradores: F. Díaz López, A.C. Conde Álvarez, B. Martínez López, E.G. Pavia López, G. Sánchez Torres Esqueda y J. Zavala Hidalgo, México.

IPCC (2007). *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

IPCC (2013). *Summary for Policymakers.* En: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014). *CClimate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 668. United Kingdom and New York, NY, USA.

Magrin, G. O. (2015). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe.* CEPAL-Unión Europea. 78 pp., Santiago de Chile.

Met Office (2011). *Mexico level climate change impacts assessment, d*ocumento disponible en: http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/c/6/Mexico.pdf.

SEMARNAT (2013). *Estrategia Nacional de cambio climático visión 10-20-40*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición, SEMARNAT, 30 pp., México.

CAPÍTULO 1

Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Ejemplos para México, Centroamérica y El Caribe

Ana Cecilia Conde Álvarez[1], Gilberto Enríquez Hernández[1], Nora Esquivel Esquivel[1], Jorge López Blanco[1], Fanny López Díaz[2], Raquel Montes Rojas[1], Yusif Nava Assad[1], Karina Ruiz Bedolla[1]

[1] Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático-INECC, México, cecilia.conde@inecc.gob.mx, gilberto.enriquez@inecc.gob.mx, nora.esquivel@inecc.gob.mx, jorge.lopez@inecc.gob.mx, raquel.montes@inecc.gob.mx, yusif.nava@inecc.gob.mx, karina.ruiz@inecc.gob.mx

[2]Consultora independiente, México, mcldfld@gmail.com

Resumen

Ante los retos del cambio climático, una de las principales estrategias para enfrentar y reducir sus efectos negativos es llevar a cabo procesos de adaptación ante los impactos observados y proyectados. La magnitud de esos impactos estará en función de las vulnerabilidades actuales y futuras de población, sectores o regiones de interés. Sin estudios rigurosos de los factores que determinan esa vulnerabilidad, las acciones de adaptación no pueden ser priorizadas, ni contextualizadas. En este capítulo se consideran cuatro aspectos que son fundamentales para conocer la vulnerabilidad actual y futura: 1. La evaluación de la variabilidad climática, particularmente el análisis de los eventos climáticos extremos. 2. Los escenarios de cambio climático regionales, para el análisis de las condiciones actuales y de cambio de las variables climáticas básicas de precipitación y temperatura. 3. Los impactos potenciales derivados del cambio climático, que se ejemplifican con el análisis del cambio en el periodo de crecimiento en cultivos agrícolas bajo condiciones climáticas actuales y proyectadas, y 4. La definición conceptual y metodológica de la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, considerando factores climáticos y

no climáticos. En el desarrollo de este capítulo también se muestran los resultados de las actividades llevadas a cabo durante los talleres 2014 y 2015; particularmente, se ilustran los resultados obtenidos para México, y algunos que obtuvieron los expertos de los países de Centroamérica y el Caribe. Por ejemplo, para México se detectó que en algunas regiones del país existen tendencias positivas significativas en los índices relacionados con temperatura mínima. También se construyeron escenarios de cambio climático regionales, que pueden aplicarse al cálculo del periodo de crecimiento, particularmente en agricultura de temporal (maíz), encontrándose posibles impactos negativos. Finalmente, para la evaluación de vulnerabilidad, se analizaron los diferentes marcos conceptuales y metodológicos de cada país que se han aplicado para su evaluación. Los resultados obtenidos de esa actividad se concentraron en una matriz para realizar la discusión y el análisis comparativo.

Palabras clave: Variabilidad climática, Eventos climáticos extremos, Escenarios de cambio climático, Impacto potenciales en cultivos, Vulnerabilidad al cambio climático actual y futura.

Abstract

Considering the challenges of climate change, one of the main strategies to face them and reduce its negative effects is to carry out adaptation processes in response to the observed and projected impacts. The magnitude of these impacts will depend on the current and future vulnerabilities of the sectors or regions of interest. Without rigorous studies of the factors that determine this vulnerability, adaptation actions cannot be prioritized or contextualized. In this chapter we consider four aspects that are fundamental for the assessment of current and future vulnerability: 1. the assessment of climatic variability, particularly the analysis of extreme climatic events; 2. the regional climate change scenarios, for the analysis of current conditions and change of the basic climatic variables of precipitation and temperature, 3. The potential impacts of climate change, exemplified by means of the growing-period change analysis of agricultural crops under current and projected climate conditions, 4. Conceptual and methodological definition of current and future vulnerability assessment, considering climatic and non-climatic factors. The development of this chapter also shows the results of the activities carried out during the 2014 and 2015 workshops; in particular, the results obtained for Mexico are illustrated, and also other results are shown, by Central American and Caribbean experts. For example, for Mexico it was found that in some regions of the country there are significant positive trends in the indexes related to minimum temperature. Regional climate change scenarios were also constructed, which can be applied to the growing-period assessment- particularly in rainfed agriculture (maize), resulting in possible negative impacts. Finally, for vulnerability assessment, the different conceptual and methodological frameworks of each country that have been applied for evaluation were analyzed. The results obtained from this activity were concentrated in a matrix that allowed their discussion and a comparative analysis

Keywords: Climate Variability, Climate Extreme Events, Climate Change Scenarios, Potential Impacts on Crops, Current and Future Vulnerabilities.

1.1. Introducción

Una de las principales estrategias para enfrentar y reducir los efectos negativos del cambio climático es llevar a cabo procesos de adaptación. El concepto de adaptación que ha sido definido en 2014 por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) es el "*proceso de ajuste al clima actual o al proyectado, y a sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación busca moderar o evitar el daño o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar los ajustes al cambio climático proyectado y a sus efectos*" (IPCC, 2014c).

La magnitud de los "daños", que se denominan impactos potenciales, estará en función de las vulnerabilidades actuales y futuras de los sectores o regiones de interés. Sin estudios rigurosos de los factores que determinan esa vulnerabilidad, las acciones de adaptación no pueden ser priorizadas, ni contextualizadas; pueden convertirse en "malas adaptaciones", que aumenten la vulnerabilidad observada.

México tiene características geográficas que lo sitúan como uno de los países más vulnerables a los efectos del cambio climático. Su localización entre dos océanos y su latitud y relieves lo hacen estar particularmente expuesto a diferentes fenómenos hidrometeorológicos (Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018; DOF 28/04/2014).

Para México, la adaptación al cambio climático es un proceso que ha quedado establecido en la Ley General de Cambio Climático (DOF, 06/06/2012), en el PECC 2014-2018, y para el cual México, en el plano internacional, estableció compromisos nacionalmente determinados (INDC, 2015), y ha suscrito su adhesión al Acuerdo de París, el cual es un esfuerzo por establecer el tema de adaptación al cambio climático como un objetivo a nivel mundial (CMNUCC, 2015).

Debido a la alta vulnerabilidad del territorio mexicano, la adaptación al cambio climático es prioritaria. Una forma de iniciar dicho proceso es mediante la elaboración de un diagnóstico de vulnerabilidad actual y futura, que fundamente el diseño e implementación de acciones para reducirlas (SEMARNAT-INECC, 2015:17).

En este capítulo se consideran cuatro aspectos que son fundamentales para la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, dentro del proceso de adaptación al cambio climático, y que son elementos de la primera y segunda fase de ese planteamiento metodológico (SEMARNAT-INECC, 2015:24).

La primera fase corresponde a la evaluación de la variabilidad climática, particularmente a los eventos climáticos extremos, y a la generación de escenarios de cambio climático regionales, para

analizar la dimensión actual y de cambio en las variables básicas de precipitación y temperatura. La segunda fase corresponde con la evaluación de los impactos potenciales derivados del cambio climático. Finalmente, se integran algunas consideraciones del marco conceptual y metodológico de la dimensión de la vulnerabilidad actual y futura.

Para los eventos extremos de temperatura y precipitación, desde 1950, a escala global, se han observado cambios notables, es muy probable que el número de días y noches frías estén descendiendo, mientras que el número de días y noches cálidas se están incrementando; es decir, los eventos cálidos se han incrementado mientras que los fríos han disminuido. Conclusión a la que se ha llegado desde el Cuarto Reporte del IPCC (AR4; IPCC, 2007), en el Reporte Especial sobre Extremos (SREX, IPCC, 2012a) y más recientemente en el Quinto Reporte del IPCC (AR5; Hartmann *et al*., 2013).

Para la precipitación, desde 1951 se ha visto un incremento estadísticamente significativo en el número de eventos de precipitación intensa, en lugares donde antes se tenía un decremento significativo; sin embargo hay una gran variación de tendencias a nivel regional. En particular, muchas regiones presentan tendencias negativas o no significativas, e incluso hay variaciones entre estaciones, con resultados más consistentes en una estación que en otra (Hartmann *et al*., 2013).

Dada la creciente demanda de productos y servicios climáticos, en los últimos años se ha hecho imprescindible la generación de conocimiento, información y herramientas para analizar la variabilidad y el cambio climático a diferentes escalas territoriales (global, regional, local) (INECC-IMTA, 2014). Las proyecciones asociadas a los escenarios de cambio climático regionalizados son cada vez más utilizadas por diversos sectores.

Para mejorar esa información se requiere incorporar paulatinamente a los modelos numéricos nuevos conocimientos de la dinámica atmosférica que describan la variabilidad y el cambio climático, además de validar su desempeño por regiones y por variable, esto aprovechando los avances de la tecnología en transmisión y procesamiento de datos, lo cual se ha traducido en una mejora de las simulaciones numéricas del clima regional (INECC-IMTA, 2014).

La identificación de los efectos del cambio climático en la agricultura es muy compleja, debido a la heterogeneidad en los factores estructurales del ambiente biofísico y de las condiciones socioeconómicas a nivel espacial y temporal. Así, por ejemplo, un incremento moderado de temperatura puede afectar positivamente la tasa de crecimiento de algunos cultivos, particularmente si la disponibilidad de agua se incrementa, pero también tienden a aumentar los daños por la presencia de plagas, insectos, y los niveles elevados de ozono (IPCC, 2014b), otro impacto previsible es la variación del rendimiento interanual de las cosechas, debido a los eventos meteorológicos extremos (EEA, 2015).

Durante el segundo Taller sobre Prioridades Nacionales en Materia de Vulnerabilidad y Adaptación ante el Cambio Climático en América Latina y el Caribe, realizado en 2015, fue abordado el tema de identificación y caracterización de impactos potenciales del cambio climático como parte del análisis de vulnerabilidad para la formulación de medidas de adaptación. En particular, el análisis fue enfocado a los impactos potenciales del cambio climático en la agricultura de temporal, por ser este un sector prioritario en los países de la región.

De igual forma, la vulnerabilidad ante cambio climático ha sido uno de los tópicos que ha permitido intercambiar conocimiento entre los participantes de la primera y segunda edición de Taller, presentándose y discutiéndose las definiciones, enfoques y elementos que dan sustento conceptual y metodológico a dicho tema desde la integración interdisciplinaria que permite abordar diferentes aristas.

La manera en que el tema de vulnerabilidad ante cambio climático ha permeado en las agendas gubernamentales de cada país ha sido diferenciada dependiendo de las fortalezas y oportunidades derivadas de la institucionalización de sus políticas públicas, así como en la consolidación de cuerpos académicos que permitan brindar conocimientos científicos y técnicos en materia de cambio climático.

En este sentido, la colaboración desde México, a través del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), busca fortalecer los lazos de colaboración para promover investigaciones en el tema de vulnerabilidad ante cambio climático. Es por eso que fueron presentados los avances del Atlas Nacional de Vulnerabilidad ante Cambio Climático (ANVCC) como parte de las aproximaciones metodológicas para el tema.

1.2. Eventos climáticos extremos

Los eventos extremos se pueden definir estadísticamente como aquellos que se encuentran por encima del noventavo percentil y por debajo del décimo percentil de una distribución de probabilidad observada de alguna variable (IPCC, 2007). Aunque también se pueden definir de acuerdo a su impacto, asociado a daños y pérdidas (Beniston y Stephenson, 2004). Existen eventos meteorológicos extremos y eventos climáticos extremos, el primero se asocia con patrones meteorológicos cambiantes, por lo que su escala de tiempo es de menos de un día o hasta algunas semanas.

En cambio cuando se refiere a un evento climático extremo, se refiere a una escala de tiempo mayor, ya que puede ser la acumulación de eventos meteorológicos (extremos o no); por ejemplo

la acumulación de días promedio de lluvia sobre una temporada o condiciones de sequía (IPCC, 2012a). Los cambios en el clima pueden conducir a cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial y duración de los eventos extremos. Estadísticamente se puede relacionar con cambios en el promedio, la varianza, la forma de la distribución de probabilidad observada de una variable (IPCC, 2012a).

Para temperatura, por ejemplo (Figura 1.1), un cambio en el promedio de una distribución se correría hacia temperaturas más cálidas, haciendo disminuir los extremos fríos. Por otra parte también puede ocurrir que el promedio no cambie, pero las colas de la distribución observada se hagan más pronunciadas, aumentando la probabilidad de ocurrencia de los eventos extremos no sólo en la parte cálida sino incluso en la parte fría. O bien puede que ocurran los dos casos no sólo un cambio en el promedio sino también en la varianza, y por tanto en la forma de la distribución.

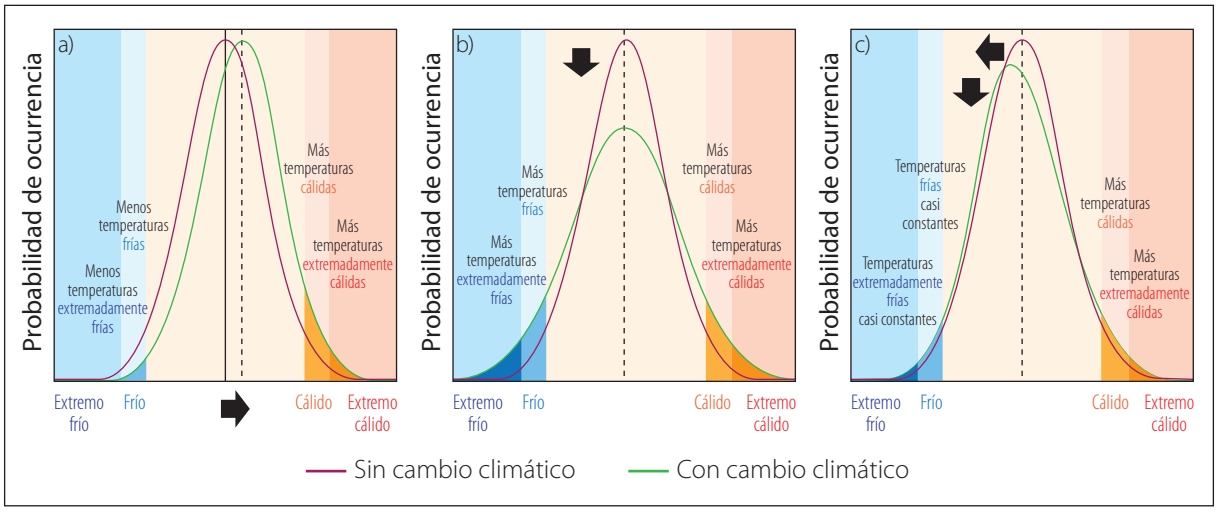

Figura 1.1. Distribución normal para temperatura y sus respectivos cambios en los eventos extremos: a) en el promedio de la distribución, b) en la varianza y c) en promedio y varianza. Fuente: IPCC (2012b).

Hay que considerar que un incremento en la frecuencia y/o intensidad de eventos extremos, de variables como la temperatura y precipitación, por ejemplo, podrían ocasionar un mayor impacto en sectores socioeconómicos y ambientales biofísicos. Por tanto es de suma importancia detectar cambios en este tipo de eventos. Sin embargo, cabe señalar que los eventos extremos no siempre están asociados a la ocurrencia de un desastre. Estos eventos pueden conducir a un desastre sí la población se expone a tal evento y sí esa exposición está acompañada de un alto nivel de vulnerabilidad (una predisposición para que exista alguna pérdida y un daño) (IPCC, 2012a).

1.2.1. Detección de eventos climáticos extremos

Para realizar una detección de cambios en eventos extremos, es necesario tener una metodología sistemática y reproducible, para obtener resultados confiables y comparables, con otros estudios similares. En este contexto se sugiere una metodología para realizar un análisis de eventos climáticos extremos, que se enfoca en tres puntos principales:

Selección y control de calidad de datos diarios de temperatura y precipitación. Como insumo principal es necesario contar con datos diarios confiables. Debido a que las series de datos están expuestas a tener errores en sus registros, es necesario hacer una revisión exhaustiva para que los resultados que se puedan obtener sean confiables.

El control de calidad puede ir desde una inspección gráfica hasta aplicar diferentes pruebas que permiten hacer una revisión más profunda a las series de datos, como por ejemplo utilizar el QC (*quality control*) del programa *RClimdex* (http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml) el cual ha sido empleado por diversos autores (López-Díaz, 2014; López-Pérez, 2011; López *et al*., 2014; Vitale *et al*., 2010; Villarroel-Jiménez, 2013; Arriaga-Ramírez y Cavazos, 2010; McSweeney y Caesar, 2013; Aguilar, 2013).

El cálculo de los índices de Eventos Climáticos Extremos. Uno de los principales métodos para la evaluación de los eventos climáticos extremos consiste en la definición de índices, los cuales proporcionan información para determinar si existen cambios en los eventos extremos y por tanto sí existe un cambio en el clima (Alexander *et al*., 2006). El Equipo de Expertos en Índices y Detección de Cambio Climático (*The Expert Team on Climate Change Detection and Indices*), definió 27 índices base de temperatura y precipitación, los cuales pueden ser utilizados en una amplia variedad de climas.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de diferentes investigaciones con los índices del ETCCDI (Rusticucci y Barrucand, 2004; Aguilar *et al*., 2005; Kostopoulou y Jones, 2005; Vincent *et al*., 2005; Alexander *et al*., 2006; Caesar *et al*., 2006; Aguilar *et al*., 2009; Vincent *et al*., 2011; Caesar *et al*., 2011, López-Díaz *et al*., 2013.) se han incluido en los reportes del IPCC, incluyendo el más reciente reporte especial sobre eventos extremos (IPCC, 2012a). Los 27 índices pueden ser calculados con el programa *RClimDex1.0*, el cual es de acceso libre y funciona bajo una plataforma R, fue desarrollado y es mantenido por Xuebin Zhang y Feng Yang del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá (Zhang y Yang, 2004).

El ajuste de las tendencias para la detección de los cambios observados. Después de realizar el cálculo de los índices, para detectar los cambios observados en estos, se puede llevar a cabo un análisis de tendencias de las series resultantes, el cual puede ser definido como el uso de una

aproximación empírica para cuantificar y explicar cambios en un sistema sobre un periodo de tiempo (Chandler y Scott, 2011).

Hay diversos métodos los cuales permiten realizar esta tarea, únicamente hay que considerar que sea el más adecuado, ya que de lo contrario podemos obtener resultados poco confiables. Por ejemplo, uno de los más comunes es ajustando una tendencia lineal a una serie de datos con un método de mínimos cuadrados, sin embargo, es posible que este ajuste no sea el más adecuado, al no poder capturar toda la información de la serie de datos.

Adicional a estos puntos se sugiere verificar la homogeneidad de las series de datos, es decir, detectar cambios bruscos en éstas, que no son parte de la variabilidad natural. Las no-homogeneidades pueden ser por cambios de instrumentos del sitio de la estación, cambio de uso de suelo, mala lectura de los datos; es necesario identificar estas no-homogeneidades, verificarlas y corregirlas. Si no se tiene seguridad en tal proceso, por su complejidad, otra recomendación sería utilizar sólo aquellas series que no tenga periodos no homogéneos "importantes" o "destacables"; es decir, con cambios abruptos (Vázquez-Aguirre, 2010).

Además no hay que olvidar conocer la climatología del lugar, esto ayudará a saber qué meses son los cálidos, los más fríos, cuando empieza la temporada de lluvias. Con lo anterior identificaremos qué valores de temperaturas o precipitación son comunes y los meses en que puedan ocurrir, para así poder enfocarse en alguna problemática identificada, si se desea. El detectar los posibles cambios en los eventos climáticos extremos no implica una atribución, sin embargo si es un detonador de nuevas preguntas.

1.2.2 Sesión de taller sobre eventos climáticos extremos

La sesión sobre los "*Eventos climáticos extremos observados*", que se desarrolló en el taller de 2015 tuvo el objetivo de brindar una herramienta para la evaluación de los eventos climáticos extremos y así generar información útil para las investigaciones sobre vulnerabilidad y adaptación, que puedan incidir en la toma de decisiones posible (Figura 1.2).

Durante esa parte del taller, se mostró la metodología propuesta para realizar el análisis de los eventos climáticos extremos, descrita anteriormente. La primera parte del taller fue teórica, donde se presentaron generalidades sobre el tema y la metodología propuesta para el análisis de tales eventos. Aquí se impartió el uso del *software RClimDex* para el cálculo de los índices de los eventos climáticos extremos de temperatura y precipitación. Esta parte incluyó una explicación sobre el control de calidad de los datos, uso de indicadores de eventos climáticos extremos y ajuste de tendencias con un modelo de regresión lineal.

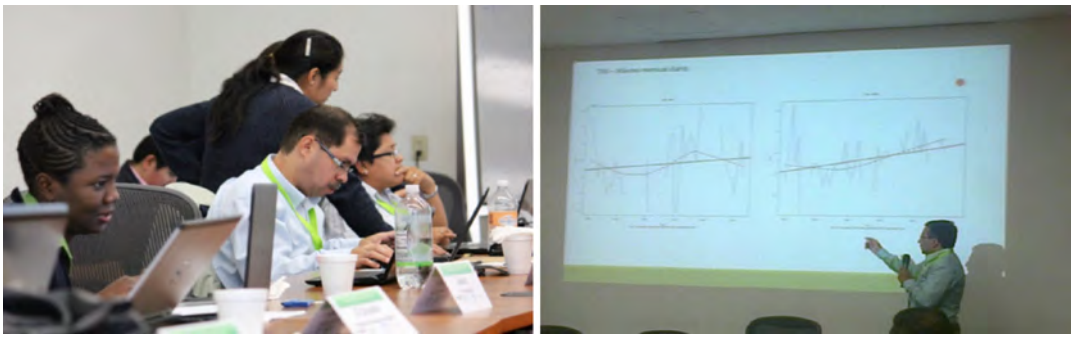

Figura 1.2. Actividades desarrolladas durante la sesión de taller sobre "Eventos climáticos extremos observados".

Para la última parte de esa sesión se desarrolló un ejercicio con *RClimDex* con series de datos de los propios participantes; es decir, de estaciones meteorológicas de sus respectivos países. El ejercicio consistió en ejecutar el control de calidad básico para detección de *outliers* y posibles errores, una selección de índices con base en el planteamiento de un tema de aplicación y finalmente la interpretación de los resultados (gráficas de tendencias) para identificar cambios en los eventos climáticos extremos.

Para Costa Rica (en la estación cercana al aeropuerto de la ciudad de San José), se tuvieron tendencias positivas significativas en los índices relacionados con temperatura mínima. En Cuba (estaciones Casablanca y Gran Piedra), se observaron tendencias positivas, con una clara reducción de días fríos y aumento de días cálidos, cuyos valores fueron superiores para la estación Casablanca en comparación con Gran Piedra. Para Honduras (estación Tegucigalpa-Toncontin), destacaron el hecho de poder correlacionar los resultados de los índices con otro tipo de información, ya que en la serie de valores de precipitación máxima por día, sobresalieron varias observaciones, las cuales no estaban relacionadas con eventos de inundaciones que se habían presentado en ese sitio.

Los participantes de Guatemala, Panamá y Nicaragua, realizaron el análisis con estaciones de México, que se les proporcionó, ya que en sus países no se tiene una disponibilidad efectiva de datos. En este caso se destacó el hecho de que el ajuste de tendencias con mínimos cuadrados no reflejaba del todo el comportamiento de las series de índices.

1.3. Escenarios de cambio climático

La dinámica de las circulaciones atmosféricas posee por naturaleza una gran variabilidad, observándose fluctuaciones en todas las escalas temporales y espaciales, las cuales poseen mecanismos eficientes para transportar momento, energía y masa, tanto horizontal como verticalmente, modificando la

circulación media de la atmósfera. Ésta a su vez modifica las perturbaciones mediante procesos de inestabilidad que generan el tiempo meteorológico regional (INECC-IMTA, 2014).

Los mecanismos que intervienen en este proceso son complejos, implicando transferencia de energía entre diferentes escalas espaciales y temporales, que de entenderse en mayor medida, mejoraría el diagnóstico y pronóstico del impacto de estos procesos, disminuyendo así la incertidumbre en la respuesta atmosférica a los forzantes radiativos asociados a los escenarios (INECC-IMTA, 2014).

La insolación observada en la superficie terrestre es diferente entre distintas latitudes, ello debido a que el ángulo de incidencia de la radiación solar respecto a la superficie terrestre cambia en cada latitud. Esta distribución de radiación se refleja en el calentamiento diferenciado: el mayor calentamiento se observa en los trópicos, aunque debido a la distribución no homogénea de continentes y océanos, la respuesta es diferente en cada caso, aún en la misma latitud (INECC-IMTA, 2014).

Para los océanos la variación diurna es menor a la de los continentes, esto se debe a la gran capacidad calorífica que éstos poseen, es decir, la gran dificultad de extraerle o inyectarle calor, por ello se mantienen las temperaturas de los océanos de día y de noche muy similares. Así, los océanos son los grandes reguladores climáticos del planeta (INECC-IMTA, 2014). En contraste, en los continentes durante el día se alcanzan temperaturas altas, sobre todo en los grandes desiertos, como el Sahara. Esta variación espacial y temporal genera contrastes de temperatura en diferentes escalas y regiones, generando así movimiento del viento.

La distribución de lluvia en México es influenciada por estas circulaciones globales y locales sumadas al efecto orográfico, además de la temperatura superficial de los océano Pacífico y Atlántico colindantes, que permiten una evaporación importante. Las áreas de mayor intensidad de lluvia, con más de 4,000 mm, (aunque también se registran extensas zonas con lluvias entre 2,000 y 400 mm) anuales se registra en el sureste y litoral del Golfo de México, donde además se registran las lluvias más intensas en verano, provocadas por eventos provenientes de los trópicos, como ondas del Este, huracanes y sistemas convectivos (nubes formadas por ascenso de aire húmedo, formando nubes altas llamadas torres cúmulos) (INECC-IMTA, 2014). Estas regiones en invierno también reciben lluvia, por eventos provenientes de latitudes medias, como los frentes fríos, llamados también nortes.

También el litoral del Pacífico posee zonas de precipitaciones intensas anuales, sobre todo los estados de Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, y partes altas de Sonora (Sierra Madre Occidental) donde los flujos húmedos del Pacífico, y Golfo de California, asociados a la circulación monzónica, ondas del este y huracanes provocan precipitaciones en verano y otoño (entre junio y septiembre), observándose precipitaciones de 600 y 2,000 mm anuales (INECC-IMTA, 2014).

La región central, desde Durango, Chihuahua, Zacatecas Coahuila y San Luis Potosí, es de menor lluvia anual, ya que tanto la Sierra Madre Oriental como la Occidental, impiden el paso de flujos húmedos provenientes tanto del Golfo de México como del Pacífico, por ello esa zona está caracterizada por zonas áridas, con lluvias menores a 300 mm anuales y hasta menores a 100 mm. Finalmente, la región noroeste, recibe lluvias de invierno y comprende a Baja California Norte, Baja California Sur y parte oeste de Sonora, que tienen lluvias menores a 300 mm anuales, localizándose ahí extensas regiones desérticas (INECC-IMTA, 2014).

En cuanto a las temperaturas medias anuales de México, en las zonas montañosas éstas son menores a 10 ºC entre Chihuahua y Sonora y en general, en las partes altas de la Sierra Madre Occidental y Oriental, con temperaturas medias anuales entre 10 ºC y 18 ºC. Las zonas más calurosas son el sur y sureste del país y zonas bajas, como las vertientes del Golfo de México y Pacífico. Las zonas bajas del sureste que destacan por sus elevadas temperaturas medias son Tabasco y Campeche y en el norte en el Valle de Mexicali y parte de Baja California Sur (INECC-IMTA, 2014).

Las ciencias atmosféricas han desarrollado conocimientos y herramientas de análisis como los Modelos de Circulación Global (MCG), los cuales simulan la dinámica atmosférica global y estiman los posibles cambios del clima en las décadas futuras. Estas herramientas, aplicadas en forma acoplada con modelos de océano, son indispensables para la generación de escenarios climáticos futuros. Los grandes centros de pronóstico del clima mundiales se han coordinado para aportar información y conocimiento sustentado para la mejor toma de decisiones (INECC-IMTA, 2014).

Los MCG acoplados son herramientas poderosas que toman en cuenta un complejo grupo de procesos, basados en leyes físicas. Con estas herramientas se realizan simulaciones de cambio climático. Es fundamental contar con información actualizada de las proyecciones del posible clima futuro para identificar, diseñar, analizar y emprender acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad de la población e infraestructura estratégica y buscar la adaptación al clima actual y a su cambio (INECC-IMTA, 2014).

Para responder a las interrogantes científicas derivadas del Cuarto Informe del IPCC (2007), bajo el patrocinio del programa de investigación del clima mundial (WCRP, por sus siglas en inglés), se generó el proyecto científico llamado Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 (CMIP5, por sus siglas en inglés), sus resultados fueron producidos por centros internacionales de modelación del clima y coordinado por CMIP5 (INECC-IMTA, 2014).

En ese proyecto se realizaron experimentos numéricos para estudiar la predictibilidad del clima, explorando los alcances y limitaciones de los modelos para reproducirlo a escalas decadales, se determinaron los factores por los cuales ante forzamientos similares las realizaciones de los modelos produjeron respuestas diferentes, lo que significa que aún hay incertidumbres (Taylor *et al*., 2012).

El CMIP5 fue realizado por centros internacionales de modelación del clima (Figura 1.3) mediante un conjunto de experimentos numéricos para estudiar la predictibilidad del clima, explorando los alcances y limitaciones de los modelos globales. Actualmente se trabaja en la Fase 5 (CMIP6). Los resultados colectados con el CMIP5 son el sustento para el reporte de evaluación del IPCC (IPCC-AR5). Toda la información generada por el CMIP5 ha pasado por un robusto procedimiento de control de calidad de datos, como lo describe Stockhause *et al*. (2012).

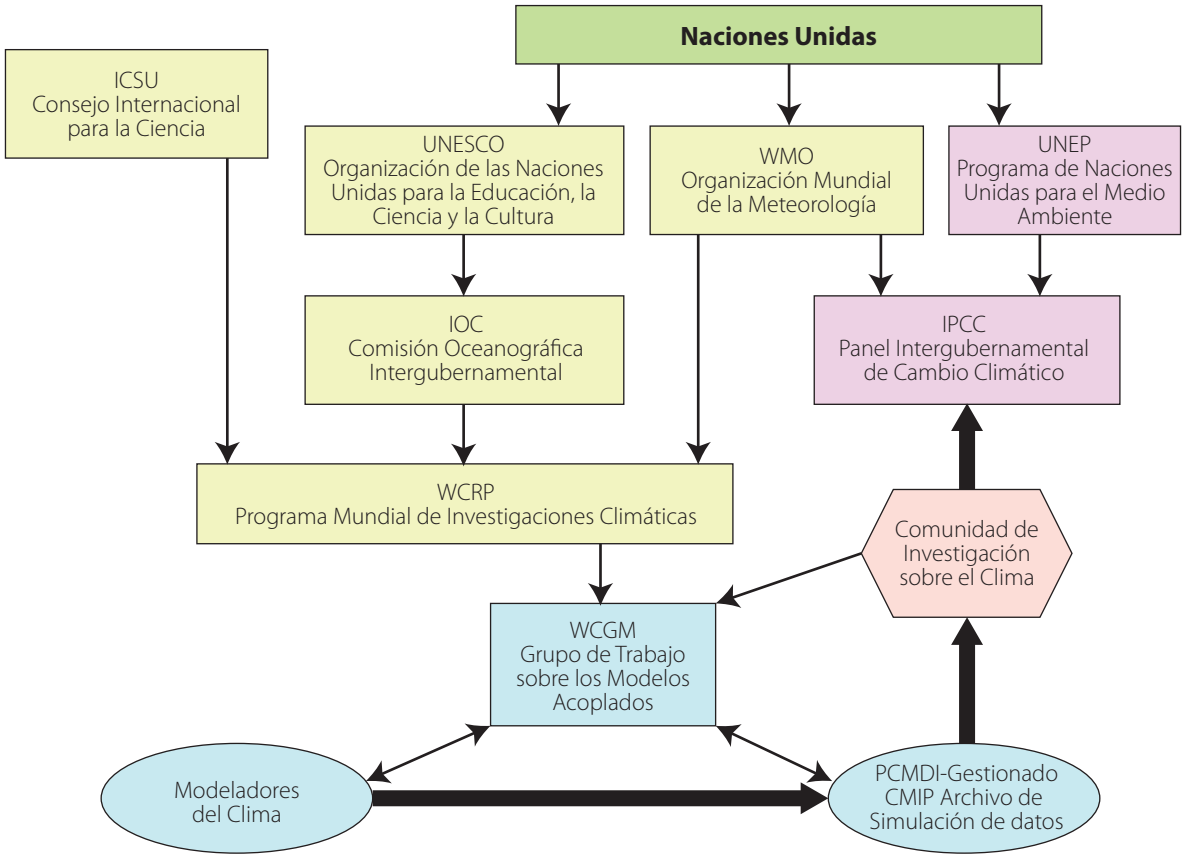

Figura 1.3. Relación del CMIP5 con organizaciones establecidas para coordinar las actividades internacionales de investigación del clima y el IPCC, los centros de modelación y la comunidad de investigación climática (Taylor *et al*., 2012).

La estrategia de CMIP5 incluye dos tipos de experimentos de modelación del clima: 1) integraciones de larga duración (escala de tiempo de siglos) y 2) integraciones a corto plazo (10-30 años, experimentos decenales), en ambos experimentos se utilizan modelos climáticos (AOGCM, por sus siglas en inglés). Para las simulaciones de largo plazo algunos de los modelos son acoplados con componentes biogeoquímicas que toman en cuenta los flujos de carbón entre la atmosfera, océano y las reservas de carbón en la biosfera terrestre, “cerrando” de este modo el ciclo de carbono en el

modelo. Estos modelos son llamados modelos del Sistema Tierra (ESMs, por sus siglas en inglés) (Taylor *et al*., 2012).

El CMIP5, cuenta con una amplia gama de experimentos, los cuales se pueden agrupar en tres categorías para el caso de las integraciones de larga duración: 1) Evaluación de los modelos (para analizar su estabilidad, y considerar diferentes tipos de forzantes y periodos de tiempo), 2) proyecciones climáticas (donde se encuentran los nuevos escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, y algunos modelos con simulaciones hasta el año 2,300) y 3) entendimiento de los modelos (en la cual se hicieron diferentes tipos de simulaciones con diversos forzantes y periodos de tiempo) (INECC-IMTA, 2014) (Ver Figura 1.4).

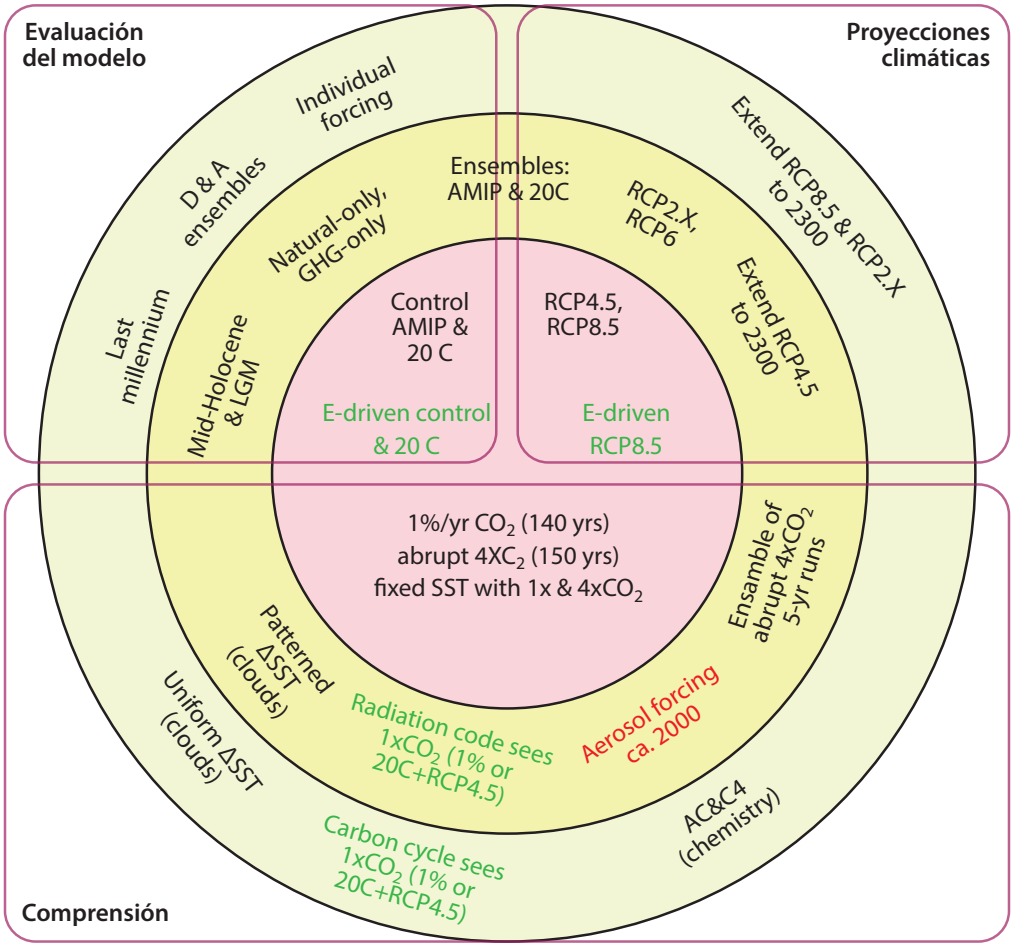

Figura 1.4. Resumen de los experimentos de larga duración del CMIP5. Las fuentes verdes indican las simulaciones que se pueden hacer por modelos con representaciones del ciclo de carbono. En la parte superior del círculo se encuentran experimentos que pueden ser usados para comparar con observaciones o para proveer proyecciones, mientras que los que están en la parte inferior del círculo son idealizados o de diagnóstico, con la finalidad de mejorar el entendimiento del sistema climático y el comportamiento del modelo (Fuente: Taylor *et al.,* 2012, modificado por INECC-IMTA, 2014).

1.3.1. Trayectorias de concentraciones representativas

El experimento CMIP5 incorpora los cambios aplicados a los escenarios de emisiones SRES (B1-bajas emisiones, A2-altas emisiones). La abreviación RCP de los nuevos escenarios significa: Trayectorias de Concentraciones Representativas (por sus siglas en inglés). Estos escenarios se dividen en cuatro grupos: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, que se refieren a la radiación global de energía expresada en W/m^2; por ejemplo, RCP8.5 es el escenario más extremo que supone un valor de 8.5 W/m^2 debido al aumento de gases de efecto de invernadero (ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Escenarios de Trayectorias de Concentraciones Representativas RCP (Moss *et al*., 2010).

Nombre	Forzamiento radiativo	Concentración (p.p.m.)	Trayectoria	Modelo que provee el RCP
RCP8.5	>8.5 Wm-2 en 2100	>1,370 CO_2	Aumentando	MESSAGE (Austria)
RCP6.0	6 Wm-2 estable después de 2100	850 CO_2 estable después de 2100	Estable sin pararse	AIM (Japón)
RCP4.5	4.5 Wm-2 estable después de 2100	650 CO_2 estable después de 2100	Estable sin pararse	GCAM (EU)
RCP2.6	Pico en 3Wm-2 antes del 2100 y disminuye después	Pico en 490 CO_2 antes del 2100 y disminuye después	Aumenta y posteriormente disminuye	IMAGE (Países bajos)

En la Figura 1.5, se muestra el comportamiento esperado en el futuro en función del forzamiento radiativo y emisiones de CO_2 por efecto antropogénico. Estos escenarios fueron publicados en septiembre de 2007. Sin embargo, es importante reconocer sus usos y límites. Estos escenarios son proyecciones, no representan pronóstico alguno.

1.3.2. Regionalización de escenarios de cambio climático para México

En 2012, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, (CICESE), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA-UNAM), en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), con financiamiento del Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) y administrado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), llevaron a cabo el estudio "*Actualización de Escenarios de Cambio Climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional*".

En dicho estudio se realizó un análisis regional del periodo histórico y de las proyecciones de 15 modelos de circulación global (MCG) a futuro cercano (2015-2039) y futuro lejano (2075-2099)

para México (Cavazos *et al*., 2013) y fueron utilizados en el 5º Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) (Figura 1.6).

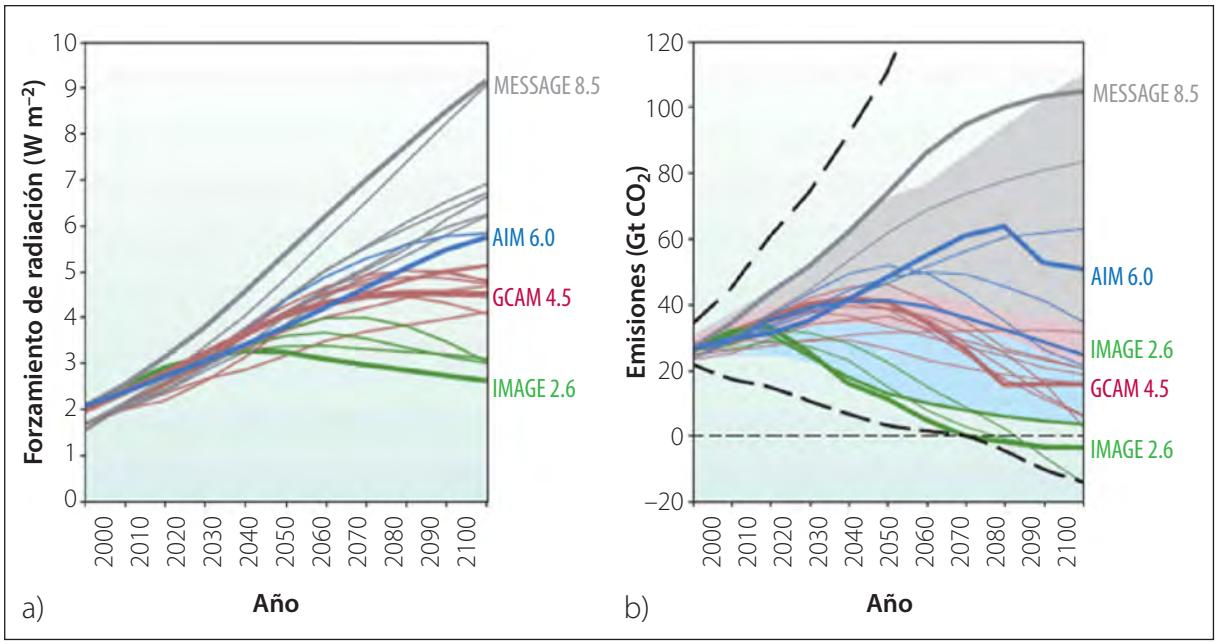

Figura 1.5. a) Cambios en el forzamiento de radiación relacionado a las condiciones pre-industriales. Las líneas gruesas muestran cuatro RCP, las delgadas escenarios individuales de aproximadamente 30 candidatos de escenarios RCP que proveen información en todos los factores clave que afectan el forzamiento de radiación. b) Emisiones de CO_2 de energía e industria para los cuatro RCP (Moss *et al*., 2010).

Figura 1.6. Plataforma Web en la cual se despliegan los resultados relevantes del estudio "Actualización de Escenarios de Cambio Climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional". Fuente: http://escenarios.inecc.gob.mx

En el 2014 el INECC coordinó tres proyectos de gran relevancia en el tema de escenarios de cambio climático:

1. *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación.* Fuente: INECC-CCA/UNAM (2014). Ver Figura 1.7.

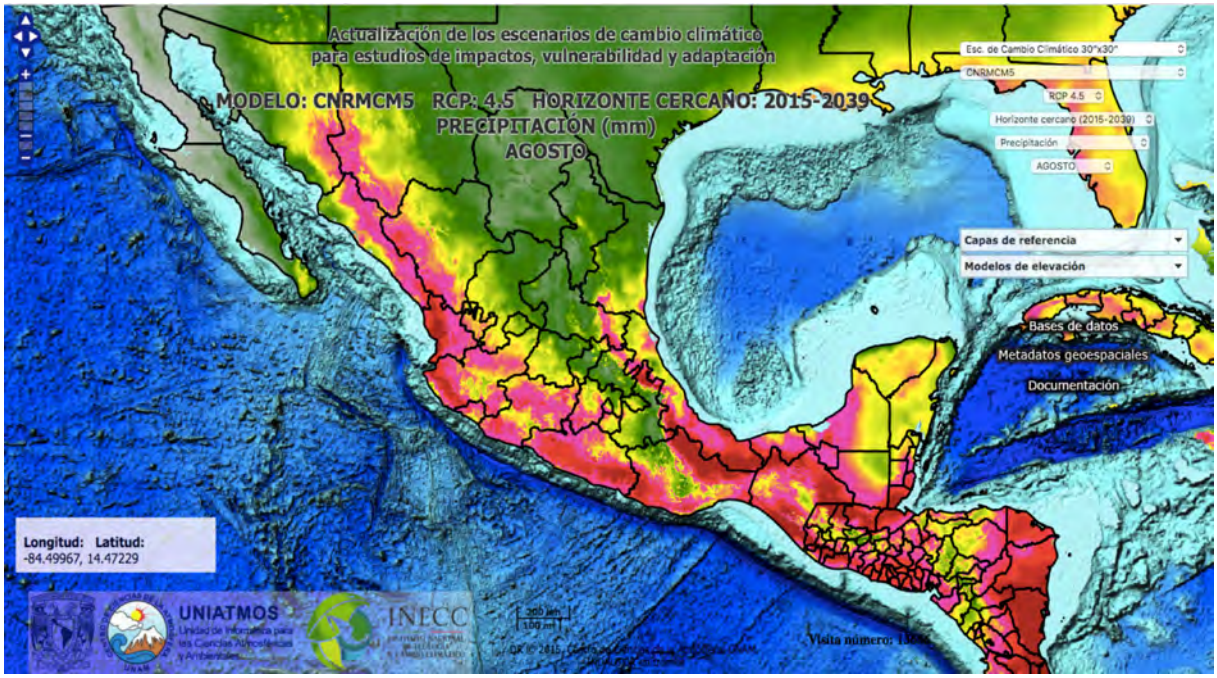

Figura 1.7. Plataforma web que contiene cuatro modelos de circulación general y el ensamble ponderado REA con una resolución espacial de 30" (celda de aprox. 1 km por lado), y 15 modelos de circulación general con resolución de 0.5° de latitud-longitud (celda de poco más de 50 km), bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html

2. *Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional.* Fuente: INECC-CICESE (2014). Ver Tabla 1.2.

3. *Actualización y divulgación de los nuevos escenarios de cambio climático aplicados a México para fortalecer las capacidades nacionales*. INECC-IMTA (2014).

   En este material didáctico se describen los tópicos asociados a los procesos que aportan a la variabilidad y al cambio climático en México (INECC-IMTA, 2014). Adicionalmente, se analizan los alcances y limitaciones de las proyecciones de cambio climático, la descripción de los métodos de evaluación de modelos numéricos, la descripción del método REA y análisis de resultados a la luz de procesos atmosféricos que afectan a México.

Tabla 1.2. Lista de variables a escala mensual, modelos, métricas, periodos y dominio a evaluar con datos observados y los MCG. Fuente: INECC-CICESE (2014).

Variables Originales (nombre; unidad)	T sup (K), Precip (pr; kg/m^2/s), Presión sup (ps~ pa) y U y Vsup (uas, vas; m/s)	
Variables (nueva unidad)	T sup (C), Precip (pr; mm/d), Psup (ps~ mb)	
Experimentos de modelos	Histórico mensual	Proyecciones (promedios y anomalías)
Periodos* Para comparar con ERA-Interim	1979-2005*	2015-2039: RCP4.5 y RCP8.5
		2075-2099: RCP4.5 y RCP8.5
Datos "Observados"	GPCP (precip), ERA-Interim (variables atmosféricas) y ERSST (Temp. sup. del mar)	
Modelos globales (MCG)	CNRM-CM5, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, MRI-CGM3	
Escala de análisis	Estacional (DEF, JJA) y anual con datos disponibles a escala mensual	
Métricas regionales	Ciclo anual de P y T, desviación estándar (std), raíz del error cuadrático medio (RMSE) entre datos observados y MCG del sureste Mexicano (caso de estudio)	
Mapas estacionales	Mapas estacionales (DEF, JJA) presentes y cambios futuros en todo el dominio	
Ventana espacial	Lat: 0° a 40°N	Lon: 140°W a 60°W

El material está conformado por videos y presentaciones para difundir las buenas prácticas en el uso de los resultados de la actualización de escenarios de cambio climático para México, mostrando además, ejercicios aplicados para el procesamiento y análisis de simulaciones numéricas con modelos globales del experimento CMIP5 forzados con las condiciones de diversos escenarios de cambio climático para México, disponibles en la página http://escenarios.inecc.gob.mx/ del INECC.

En noviembre de 2014, se llevó a cabo el *"Taller sobre Prioridades Nacionales en Materia de Vulnerabilidad y Adaptación ante el Cambio Climático en América Latina y el Caribe" de la Plataforma de Colaboración entre la República de Corea y México.* Uno de los temas que se abordó fue el de los escenarios de cambio climático, en el cual se dio una introducción a los escenarios de cambio climático, se mostraron algunas de las diferencias y similitudes entre los escenarios del 4º y 5º reporte del IPCC. Asimismo, el trabajo que se ha realizado en México referente a los escenarios de cambio climático, la formación de la Red Mexicana de Modelación del Clima, y los proyectos actuales y futuros referente a los escenarios. Se realizaron ejercicios sobre el manejo y administración de información de los escenarios de cambio climático (Figuras 1.8 y 1.9).

Como parte del seguimiento del trabajo realizado en el primer taller, se realizó un ejercicio en línea en cual los participantes ponían en práctica muchos de los conocimientos adquiridos, y con el apoyo de videos tutoriales que los fueron guiando paso a paso en dicho ejercicio.

Figura 1.8. Exposición de los participantes de los resultados en el ejercicio de escenarios de cambio climático. Fuente: Elaboración propia.

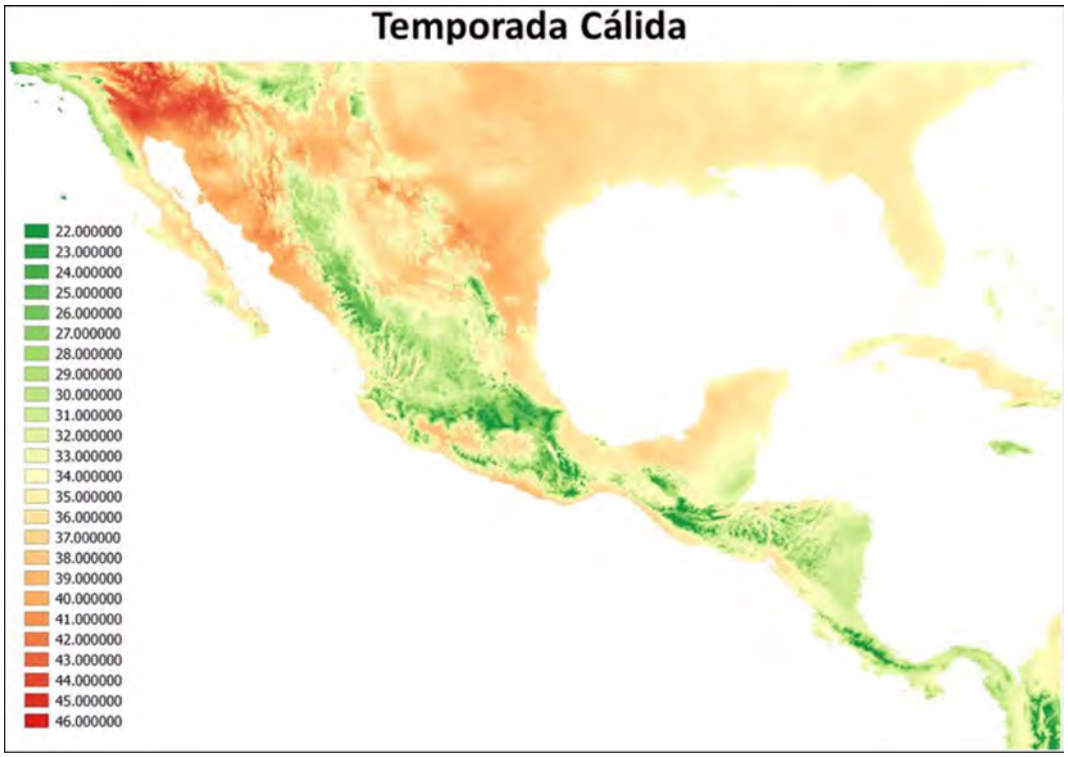

Figura 1.9. Resultados del análisis de la temperatura máxima de junio, julio y agosto, considerando el escenario de cambio climático "tmax_REA_RCP45_2075_2099", y calculando su promedio estacional (estación cálida). Fuente: Elaboración propia.

1.4. Impactos potenciales del cambio climático en agricultura

Los impactos climáticos futuros se espera que sean cada vez más importantes, ya que las temperaturas con frecuencia podrían exceder los umbrales de los cultivos, lo que se traduciría

en reducciones significativas de las cosechas (Beach *et al*., 2015; Schelenker y Roberts, 2006) también la disponibilidad de agua se podría ver más severamente limitada en muchas regiones (Beach *et al*., 2015).

Aquí denominamos impactos potenciales a la relación clima-cultivo, sin considerar las posibles intervenciones en el manejo del cultivo, ni los factores sociales, de política y economía agraria. Incluir dichos factores es primordial para los estudios de la vulnerabilidad actual y futura del sector agrícola, como veremos en las secciones siguientes.

Las pérdidas de las cosechas que se prevén por el incremento de la temperatura y de las variación de las estaciones de crecimiento, se podrían en principio afrontar con prácticas agrarias como la rotación de cultivos para adaptarlos a la disponibilidad de agua, ajustar las épocas de siembra en función de la temperatura y la precipitación y utilizar variedades de cultivos resistentes al calor y a la sequía (EEA, 2015). Para que estas acciones de adaptación se implementen, se requiere contar con políticas y condiciones económicas y sociales orientadas para dicho fin.

1.4.1. Impactos observados y proyectados ante el cambio climático en el sector agrícola de México

En México, la agricultura se realiza en casi 4 millones de unidades productivas que ocupan aproximadamente 22 millones de hectáreas, lo cual corresponde al 11% del territorio nacional, y de ellas 5.7 millones son de riego y 16.3 millones de temporal. El sector agropecuario es el principal usuario del agua y del suelo: la agricultura de riego utiliza 78% del agua extraída en el país y la ganadería 2%. Lo anterior pone de manifiesto la gran dependencia del bienestar social de la agricultura y ganadería y al impacto de la disponibilidad del agua en el sector (Monterroso *et al*., 2015). Estudios para México muestran que la agricultura de temporal y el sector primario en general son vulnerables a los impactos del cambio climático (Monterroso *et al*., 2015).

Los estudios de impactos potenciales del cambio climático sobre la producción agrícola se han enfocado en cambio en las superficies aptas para el desarrollo de los cultivos, cambio en el rendimiento esperado y cambio en la estación de crecimiento. Los resultados en general concuerdan con una posible reducción en las áreas con aptitud para el establecimiento de cultivos, reducción de rendimientos para una amplia gama de cultivos, así como la reducción del periodo de crecimiento asociado a la disminución del número de días con humedad disponible (Monterroso *et al*., 2015).

Al estudiar posibles cambios en el periodo de crecimiento, Conde *et al*. (2000), estimaron para la parte central de México, que el cambio en general puede ser negativo, reduciéndose el periodo

de crecimiento al aumentar la demanda evapotranspirativa y disminuir los días con humedad aprovechable, sin embargo, este periodo de crecimiento puede aumentar en altitudes mayores a 2,000 msnm, al aumentar el periodo libre de heladas y tenerse humedad aprovechable para los cultivos. Zarazúa (2011), evaluando el periodo de crecimiento para maíz en Jalisco no encontró cambio en la fecha de inicio, pero si en la fecha de finalización, la cual reduce hasta dos semanas las condiciones con humedad disponible para el cultivo, en este mismo sentido y para la misma región (Ruiz *et al*., 2011) estimaron una reducción de seis días con retraso en el inicio y adelantamiento al final (Monterroso *et al*., 2015).

1.4.2. El concepto de periodo de crecimiento

Se entiende por período de crecimiento el período del año en el que tanto las condiciones de humedad como de temperatura son favorables para el desarrollo de los cultivos. En los trópicos, donde la temperatura es rara vez un factor limitante, excepto a grandes alturas, la duración del período de crecimiento (DPC) se puede estimar por un simple balance de humedad entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP).

De acuerdo con la duración del periodo de crecimiento, algunas regiones no son aptas para la agricultura mientras que otras, lo son durante todo el año (FAO, 1997). El concepto de periodo de crecimiento, al integrar las variables de precipitación, de temperatura y de evapotranspiración, permite comprender como la variabilidad del clima afecta el crecimiento y la producción de cultivos específicos.

Para el segundo taller de Koica, se propuso a los participantes realizar un ejercicio utilizando el concepto de período de crecimiento aplicando los escenarios de cambio climático, con el fin de plantear de forma cualitativa, los impactos potenciales en el cultivo del maíz de temporal. Otros métodos, técnicamente más complejos, también se presentaron durante el taller (Monterroso *et al.,* 2014).

1.4.3. Evaluación de los impactos en agricultura por cambio climático

El procedimiento aplicado en el ejercicio fue el propuesta por la FAO (FAO, 1997), que consiste en calcular el inicio y la duración del periodo de crecimiento a partir de que la precipitación excede a la evapotranspiración potencial como se muestra en la Figura 1.10.

Los datos utilizados fueron los de precipitación y de temperatura media mensual obtenidos de los registros de estaciones meteorológicas (periodo de referencia 1960-1990) y de los escenarios

de cambio climático (INECC-CCA/UNAM, 2014). La evapotranspiración potencial (ETP) fue obtenida con la metodología de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948). Con los valores de precipitación y ETP fue elaborada la gráfica que se muestra en la Figura 1.10, a partir de la cual se determinó la duración del periodo de crecimiento.

El cambio en la duración del periodo de crecimiento a futuro, fue obteniendo mediante la diferencia entre la duración del periodo de crecimiento de referencia (DPCR) y la duración del periodo de crecimiento a futuro para dos escenarios de cambio climático y un horizonte temporal lejano (2075-2099):

DPC (escenario optimista) = DPC4.5 – DPCR (medido en días)
DPC (escenario pesimista) = DPC8.5 – DPCR (medido en días)

La evaluación cualitativa de los impactos potenciales del cambio en la duración del periodo de crecimiento usando los escenarios de cambio climático se puede realizar a partir de las limitantes agro-climáticas obtenidas por la FAO para cultivos de maíz en áreas tropicales y subtropicales que presentan un régimen de lluvias de verano (FAO, 1997).

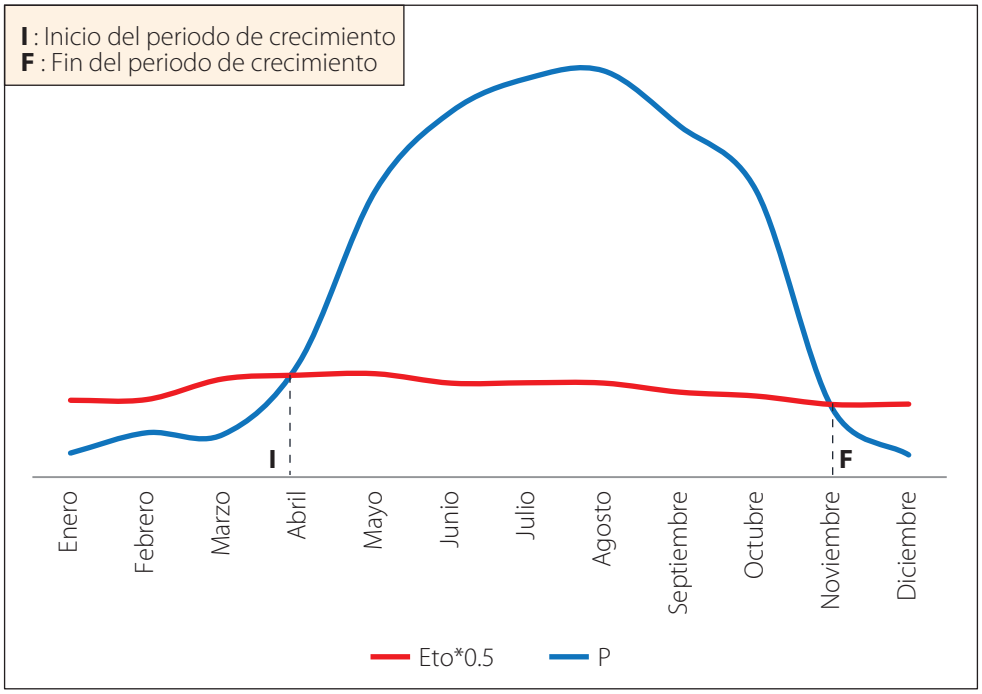

Figura 1.10. Relación entre las curvas de precipitación (P) y de evapotranspiración potencial*0.5 (ETo*0.5) para el cálculo de la duración del periodo de crecimiento. Fuente: Elaboración propia.

1.4.4. Resultados de la evaluación de los impactos en agricultura por cambio climático

El método simple propuesto para la evaluación de los posibles impactos potenciales en la agricultura, se aplicó a diferentes sitios seleccionados por los participantes de los talleres 2014 y 2015. Una síntesis de los resultados obtenidos se describe a continuación.

En el caso de Cuba el ejercicio incluyó dos regiones: Pinar del Río que se encuentra en el Noroeste del país y para Santiago de Cuba en el Sureste. Para ambas regiones con un escenario "pesimista" (RCP8.5 W/m^2) se espera el mayor impacto en la reducción del periodo de crecimiento, con respecto a la línea base. Para la región de Pinar del Río, se puede esperar una reducción de 90 días, mientras que para la región de Santiago de Cuba se podría reducir 56 días. En ambas regiones, de concretarse ese escenario pesimista, el cultivo de maíz en Cuba podría tener afectaciones negativas en el rendimiento y por consiguiente, impactos desfavorables en la economía y en la alimentación de la regiones donde se cultive maíz.

Para Costa Rica se seleccionó la provincia de Guanacaste localizada en el Noroeste del país. Actualmente el cultivo del maíz no presenta problemas en cuanto al periodo de crecimiento que tiene una duración aproximada de 217 días. Como en el caso de Cuba, el cálculo del periodo de crecimiento a partir de los escenarios de cambio climático, se encontró que para el escenario pesimista, la reducción podría ser mayor. Sin embargo, a la luz de las posibles afectaciones derivadas del cambio en la duración del periodo de crecimiento, se concluye que las pérdidas que pudiera sufrir el cultivo del maíz no serían significativas en esta región aún con ese escenario.

Para El Salvador, el ejercicio fue realizado con datos climatológicos del departamento de Usulután ya que en esta región se producen granos básicos, incluido el maíz. Al igual que para los otros países analizados, la duración del periodo de crecimiento calculado con escenarios de cambio climático se reduce respecto a la climatología de referencia.

Para este país, además de los impactos potenciales derivados del cambio en la duración del periodo de crecimiento, fue analizada la influencia que pudieran tener en el cultivo el cambio en las variables temperatura y precipitación, de manera independiente. Una de las mayores afectaciones negativas podrá deberse a que se rebasen el rango óptimo de temperatura para el maíz que es de 24 °C a 30 °C, ya que con las proyecciones se podrían presentar temperaturas en esta región de hasta 32.8 °C con el escenario pesimista.

El departamento El Paraíso fue seleccionado para el análisis de Honduras, se encuentra localizado en la zona centro-occidente del país. De acuerdo con los resultados obtenidos, el cultivo de maíz podría sufrir ligeras limitaciones ante los efectos potenciales del cambio climático, atribuibles a la disminución de la precipitación que para la región de análisis no será tan severa como en otras zonas

del país. Además se encontró un comportamiento semejante a los otros sitios analizados, ya que la mayor disminución en la DPC, se presentaría para el escenario pesimista, pudiendo disminuir en 54 días respecto del escenario base.

Al igual que para El Salvador, se plantea que para Honduras el estrés hídrico y el térmico, podrían representar los mayores impactos del cambio climático para el maíz, por una disminución de la calidad del producto, bajos rendimientos en los cultivos e inclusive la pérdida de los mismos. En el caso de Guatemala se analizaron dos regiones, el departamento de Escuitla y el departamento de Chimaltenango. El primero está localizado en la Costa Sur del país, en esta región se siembran cultivos anuales de maíz, sin embargo el cultivo más importante es la caña de azúcar.

De acuerdo con los resultados, se puede decir que a pesar de la reducción significativa del periodo de crecimiento, para el escenario optimista (RCP4.5 W/m^2) de 111 días y para el pesimista de 126 días, respecto al escenario base, aun así la región seguiría siendo apta para la siembra de maíz. Sin embargo para el cultivo de caña de azúcar, principal cultivo de la región, la reducción del periodo de crecimiento que podría ser de hasta cuatro meses, afectaría a este cultivo, el cual tiene un periodo vegetativo de 300 a 360 días, por lo que podría estar en riesgo su cultivo en la región, lo cual representaría pérdidas económicas ya que, la agroindustria azucarera es una principales fuentes de divisas para el país, además de la generación de empleos. A este respecto se sugiere realizar una evaluación detallada en las regiones azucareras para estimar los impactos por cambio climático, ya que la industria azucarera es determinante para el progreso de Guatemala.

Por otra parte en el departamento de Chimaltenango, se encontró que el periodo de crecimiento para los escenarios optimista y pesimista, disminuyen 12 y 11 días respectivamente comparados con el escenario base, esta reducción es menos severa que para el caso del departamento de Escuintla. De acuerdo con la FAO (1997), las limitaciones agroclimáticas que se pudieran presentar en esta zona serían ligeras tanto para insumos bajos y altos, en cuanto a pérdida de rendimiento debidas al efecto de la carencia de agua en el crecimiento de los cultivos, al efecto de plagas, enfermedades y malas hierbas en el crecimiento de los cultivos, los impedimentos climáticos, era los componentes del rendimiento, la formación de materia económicamente aprovechable y la cualidad del producto, a los impedimentos que dificultan el laboreo, incluida la manipulación del producto.

Para Nicaragua el análisis de la duración del periodo de crecimiento fue aplicado en el departamento de Matagalpa que actualmente es una región con vocación agroclimática. Para el caso de la duración del periodo de crecimiento del escenario optimista, aunque esta se reduce en 19 días, se mantiene como normal para todo el periodo. Sin embargo, con el escenario pesimista, la duración se reduce aún más a 32 días y presenta una interrupción temporal en el mes de agosto donde la ETP > PRE. En este último escenario, se podría producir estrés hídrico en el cultivo, reduciendo su producción neta.

En la Tabla 1.3, se presenta una síntesis de los resultados que incluye las fechas de inicio y término, así como la duración del periodo del crecimiento para cada país participante.

Tabla 1.3. Resumen de resultados por país. Fuente: Elaboración propia.

País/región	Día inicio			Día finalización			Duración del periodo de crecimiento			Tipo de periodo de crecimiento		
	Escenario			Escenario			Escenario			Escenario		
	Referencia	RCP4.5	RCP8.5	Referencia	RCP4.5	RCP8.5	Referencia	RCP4.5	RCP8.5	Referencia	RCP4.5	RCP8.5
Costa Rica	10 de abril	8 de abril	11 de abril	214 (3*)	183 (34*)	214 (3*)	17 de noviembre	12 de noviembre	14 de octubre	Normal	Normal con meses secos	Intermedio
Cuba	29 de febrero	15 de marzo	28 de marzo	283 (6*)	233 (56*)	283 (6*)	12 de diciembre	28 de diciembre	29 de octubre	Normal	Intermedio seco	Intermedio seco
El Salvador	13 de abril	20 de abril	24 de abril	163 (30*)	179 (14*)	163 (30*)	26 de octubre	3 de octubre	23 de octubre	Normal	Normal con meses secos	Normal con meses secos
Guatemala, Departamento de Escuintla	1 de enero	31 de marzo	20 de abril	254 (111*)	239 (126*)	254 (111*)	31 de diciembre	10 de diciembre	15 de diciembre	Normal	Normal	Normal
Guatemala, Departamento de Chimaltenango	6 de mayo	9 de mayo	8 de mayo	181 (12*)	182 (11*)	181 (12*)	19 de noviembre	10 de noviembre	10 de noviembre	Periodo húmedo	normal	normal
Honduras	-	-	-	219 (36*)	201 (54*)	219 (36*)	-	-	-	Normal	Normal	Normal
Nicaragua	11 de mayo	16 de mayo	25 de mayo	208 (19*)	195 (32*)	208 (19*)	28 de diciembre	14 de diciembre	10 de diciembre	Normal	Normal	Normal con meses secos

* Se refiere a la diferencia del número de días comparado con el periodo de referencia

1.4.5. Análisis y conclusiones: Impactos por cambio climático en el periodo de crecimiento de los cultivos

Para los sitios analizados en este ejercicio, el tipo de periodo de crecimiento que predomina es el de tipo 3, clasificado como normal, presentándose en menor proporción los del tipo 2 intermedio seco y el tipo 5 (húmedo).

De la Tabla 1.3, se puede observar que para las condiciones de la mayoría de los países participantes, el periodo de crecimiento disminuye en mayor proporción para el escenario pesimista (RCP8.5), con excepción del Salvador, para el cual el PDC, disminuye en un mes para el escenario optimista,

pero este se recupera en el pesimista. Aun con la reducción que se presenta en los días aptos para el cultivo de maíz, se concluyó que en las regiones analizadas, la siembra de este cereal, aun sería factible.

El país que mayor impacto presenta en la reducción del PDC es Guatemala, en particular para el departamento de Escuintla, para el cual se espera haya una reducción de hasta cuatro meses en el periodo de crecimiento, lo cual como ya se mencionó no afectaría el cultivo del maíz, pero si el de caña de azúcar. Contradictoriamente el sitio analizado que menor impacto tendría, también se localiza en Guatemala, es el caso del departamento de Chimaltenango, el cual presenta el menor impacto en la reducción del periodo de crecimiento.

Para Honduras, se planteó como una desventaja en el uso de este método la utilización del escenario (CRU) para determinar el periodo de crecimiento de referencia, ya que no representa la realidad de la climatología del país en eventos como la canícula presentada en el periodo 97-98 y como el huracán Mitch del año 1998 que azotó el país provocando grandes pérdidas. Por otra parte, en la década del 2000 también hubo impactos climáticos negativas en la agricultura del país, pero lastimosamente no contaron con esos datos para incluirlos en el ejercicio.

Entre las posibles medidas de adaptación planteadas en forma general para la región de Centroamérica, El Caribe y México se encuentran la gestión integral de suelos y de recursos hídricos, la capacitación a los agricultores en temas de cambio climático, el fomento de buenas prácticas agroecológicas, la diversificación de cultivos incluyendo variedades resistentes y rescate de semillas criollas, el monitoreo y la utilización de sistemas de información climáticos para apoyar la toma de decisiones y el apoyo a la investigación para el desarrollo de nuevas tecnologías.

1.5. Vulnerabilidad al cambio climático

Los estudios previos sobre vulnerabilidad se han centrado en los impactos biofísicos del cambio climático (rama izquierda de la Figura 1.11). Estudios posteriores han puesto énfasis en la capacidad de adaptación a esos impactos (rama derecha de la Figura 1.11). Las diferencias de enfoque entre estas dos generaciones de estudios fueron discutidas por los autores del Marco para Políticas de Adaptación (Lim y Spanger-Siegried, 2006). Cabe resaltar que están actualmente a discusión los conceptos, métodos y enfoques que deben emplearse para estos nuevos estudios. En síntesis, en los nuevos estudios se reconoce que:

- Se requieren equipos de investigación fuertemente interdisciplinarios, que definan el alcance y definición del proyecto (Figuras 1.11 y 1.12) junto con los actores de la región y sector de estudio,

- Se requiere que en cada paso del estudio (Figura 1.12) se involucren los actores clave (tomadores de decisiones, los grupos o sectores afectados), en especial para evaluar la capacidad adaptativa actual y futura,
- Se incluyen los estudios de la variabilidad climática, y de la vulnerabilidad y de la adaptación, actuales, como referente de las propuestas futuras.
- Se tiene como objetivo adicional el ir analizando las posibilidades de aumentar la capacidad adaptativa, estudiando la vulnerabilidad actual y futura. Así, las medidas de adaptación no son un producto final de los estudios de los impactos del cambio climático, sino que se tienen que documentar las oportunidades y barreras, desde el inicio de las investigaciones o proyectos (rama derecha de la Figura 1.11). Se debe considerar que dichas medidas atiendan a una visión de desarrollo sustentable, tomando en cuenta los enfoques de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), Adaptación basada en Comunidades Humanas (AbCH) y Adaptación basada en Reducción de Riesgos de Desastres (AbRRD), por ejemplo.

El proceso de adaptación al cambio climático en México se ha planteado como un caso específico de planeación territorial, temática o específica, que permite proponer, priorizar, diseñar, implementar y evaluar, estrategias, medidas y acciones de adaptación (SEMARNAT-INECC, 2015).

La realización del proceso de adaptación al cambio climático deberá considerar la participación de los actores locales, con el fin de ajustar los planes a las necesidades de desarrollo de ese ámbito local, a los impactos del cambio climático y a la oferta ambiental del territorio. En ese proceso, el análisis de la vulnerabilidad actual y futura genera conocimiento, bajo la premisa de la mejor ciencia posible, cuya información resultante es fundamental para los tomadores de decisiones.

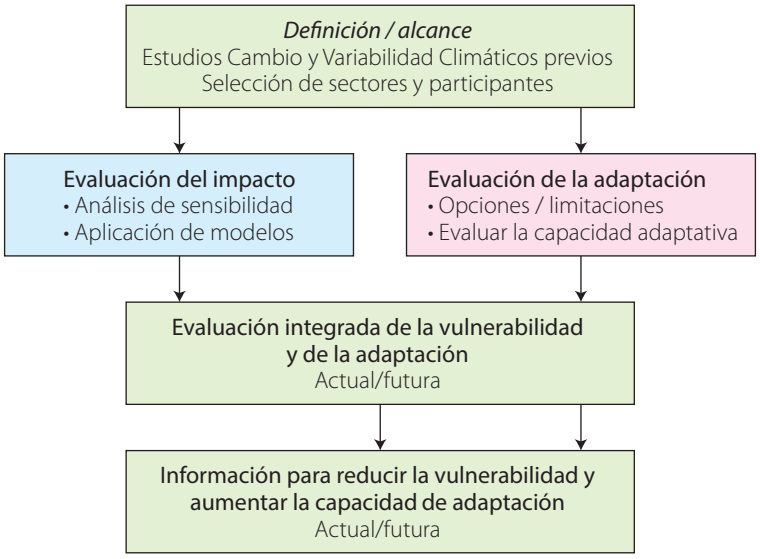

Figura 1.11. Marco para Políticas de Adaptación. Fuente: Conde (2003), Lim y Spanger-Siegried (2006).

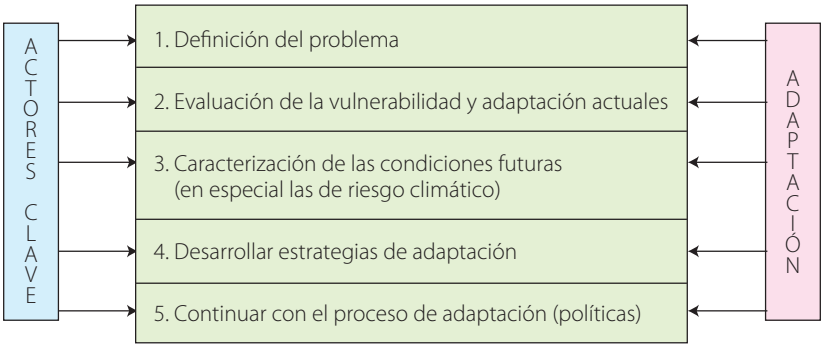

Figura 1.12. Método para establecer un Marco para Políticas de Adaptación. Fuente: Lim y Spanger-Siegried (2006).

El enfoque utilizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México (INECC), para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en México, y por ende para este capítulo, sigue la propuesta del IPCC (2007) que la define como:

> *"…el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos* ***adversos*** *del cambio climático, en particular la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté* expuesto *un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación."*

1.5.1. Los impactos y la vulnerabilidad

Desde hace varias décadas se ha generado la necesidad e interés por parte de los gobiernos de los países, y de los diferentes actores de la sociedad civil, por atender los efectos del cambio climático y sus diferentes impactos, poniendo énfasis en el análisis de la vulnerabilidad, la adaptación y la sustentabilidad (Burkett *et al*., 2014). De igual forma, los impactos actuales generados por eventos extremos (ondas de calor, sequías, inundaciones, ciclones, incendios forestales, y otros) han manifestado que existen particularmente exposiciones significativas y su consecuente vulnerabilidad, de algunos ecosistemas y sistemas humanos a la variabilidad climática (Field *et al*., 2014).

Para el IPCC (2007) los impactos son consecuencias del cambio o variabilidad climáticos en los sistemas naturales o humanos. Dependiendo de la adaptación, se pueden distinguir entre impactos potenciales (no consideran acciones de adaptación) o residuales (resultantes después de las acciones de adaptación). Los impactos pueden presentarse de manera indirecta, dado que el sistema climático no es lineal, pero son más evidentes cuando ocurren "sorpresas" en el clima, que rebasan los valores críticos (o umbrales) de los valores climáticos considerados normales.

También de acuerdo con el IPCC (2014a y 2014b), los impactos observados atribuidos al cambio climático detectados a través de estudios, se dividen en impactos al sistema *físico* (glaciares, nieve, hielo y permafrost; ríos, lagos, inundaciones y sequias; efectos de la erosión costera y del nivel del mar) impactos a los sistemas *biológicos* (ecosistemas terrestres y marinos, e incendios forestales) e impactos a los sistemas *humanos y gestionados* (producción de alimentos; medios de subsistencia, salud y economía) cuyos efectos varían dependiendo de la zona geográfica.

En el caso de México, desde que se inició la sistematización de información y análisis de datos en el contexto de cambio climático, se ha asumido que es un país vulnerable. De acuerdo con Gay *et al*. (2015) se han realizado estudios de impactos del cambio climático en aguas continentales; sistemas oceánicos; sistemas costeros y zonas inundables; sistemas de producción de alimentos y seguridad alimentaria; ecosistemas terrestres; áreas urbanas; salud humana; seguridad humana; bienes de sustento y pobreza, así como en diversos sectores económicos clave y de servicios, lo cual obliga a establecer una serie de programas específicos para adaptarse paulatinamente a dichos efectos.

Otro factor a resaltar específicamente en cambio climático es el que se refiere a la estructura secuencial para realizar análisis de vulnerabilidad, ya que puede ser visto como un impacto residual del cambio climático derivado de una secuencia de análisis de proyecciones futuras de tendencias de emisiones, desarrollo de escenarios climáticos, estudios de impacto biofísico y la identificación de opciones de adaptación (vulnerabilidad como punto final) o como condiciones preexistentes dadas por el contexto ambiental, social, institucional y económico que inciden en la incapacidad actual de hacer frente a las presiones o cambios externos al sistema social, como es el cambio en las condiciones climáticas (vulnerabilidad contextual o como punto inicial) (Kelly y Adger, 2000; O'Brien *et al*., 2004; IPCC, 2014a).

Una primera aproximación a la definición de vulnerabilidad social tiene que ver con la exposición de grupos o individuos a un estrés como resultado de los impactos al cambio climático y los relativos a eventos climáticos extremos. A esta conceptualización, se suma también la noción de escalas de vulnerabilidad referidas al objeto de análisis, es decir, como una vulnerabilidad individual que es determinada por el acceso de las personas a diversos recursos, o en su caso, como una vulnerabilidad colectiva que está definida por el entorno en el que se desarrolla socialmente el individuo, tomando en cuenta los arreglos institucionales formales e informales con los que interactúa, así como las condiciones de desigualdad frente a otros (Adger, 1999).

El objeto de análisis de las evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático (Füssel y Klein 2006) ha sido tema de constante evolución. Éstas han transitado desde las evaluaciones de impacto que se centraban específicamente hacia el análisis de la exposición y sensibilidad a estímulos climáticos derivados del cambio climático; posteriormente, se comienza a dar referencia al marco conceptual

de vulnerabilidad al integrar la variabilidad climática y la identificación de factores no climáticos (de tipo ambiental biofísico, económico, social, demográfico, político, cultural y tecnológico, que inciden en la exposición y en la sensibilidad a estímulos climáticos) como elementos de análisis.

Considerando esto, se llega a las evaluaciones de vulnerabilidad y a las evaluaciones de políticas de adaptación que incorporan la noción de capacidad adaptativa (habilidad de ajustarse a los cambios), trayectorias no climáticas (procesos a gran escala que inciden en los factores no climáticos como es el caso de la economía global) y políticas de adaptación, vistas también como aquellas estrategias o acciones que se implementan para facilitar el proceso de ajuste, denominado adaptación.

Las aportaciones de estas últimas evaluaciones, también marcan el reto de explicar la vulnerabilidad ante cambio climático desde una perspectiva multidimensional que necesariamente obliga a establecer paradigmas que trasciendan hacia la integración del conocimiento, derivado de las disciplinas de las ciencias naturales y sociales.

El término vulnerabilidad es usado de muchas maneras por grupos de investigación que se dedican a temas como los medios de vida, seguridad alimentaria, peligros naturales, gestión del riesgo, salud pública, cambio ambiental global y cambio climático (Kelly y Adger, 2000; Füssel y Klein 2006). Estos autores, junto con Lampis (2013), consideran que existen tres enfoques para conceptualizar y evaluar ese término:

1. En el marco conceptual del riesgo-amenaza, donde se presenta una relación entre un peligro exógeno a un sistema y sus efectos adversos. Ligado directamente con el riesgo y los desastres, su objetivo principal es la prevención y el alcance de sus políticas es hacia la “compensación”, su enfoque analítico es sobre los escenarios de amenaza.
2. La construcción social del riesgo está en el marco de constructivismo social, en el que prevalece la economía política y la geografía humana. Considera a la vulnerabilidad social como una condición a priori de un lugar/comunidad generada por factores socioeconómicos frente a diferentes peligros. Su objetivo es la explicación a partir de conocer los eventos críticos en el presente (económicos, sociales y biofísicos).
3. El enfoque de vulnerabilidad integrada, que combina características de la vulnerabilidad interna (inherente) de una unidad social (una población, un lugar) con su exposición a los factores de riesgo biofísico externo, es una medida integrada de la magnitud esperada de los efectos adversos en un sistema, causada por una determinada tensión externa (Lampis, 2013), se integran las visiones, tanto de riesgo-peligro, como la del constructivismo social, en una evaluación de vulnerabilidad, considerando como eje principal el territorio (y sus factores sociales, económicos y biofísicos) y los impulsores climáticos dominantes que inciden en él (Kienberger *et al.,* 2009; Rannow *et al*., 2010; Loughnan *et al.,* 2013; Li *et al.,* 2016).

En años recientes los estudios sobre vulnerabilidad al cambio climático se han orientado dando énfasis hacia la dimensión territorial de los efectos negativos en actividades económicas (Rannow *et al*., 2010; Monterroso *et al*., 2014).

En este contexto, en las evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático, es importante contar con un marco de referencia que contemple procesos e interacciones presentes en diferentes tipos de territorios (municipios, paisajes, cuencas, ciudades, zona costera, áreas naturales protegidas, corredores de infraestructura estratégica, etc.), así como los impulsores climáticos que los impactan y los temas focales de referencia (medio humano y medio biofísico).

1.5.4. Vulnerabilidad municipal en la agricultura de maíz de temporal en México

La evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, considerando el tema focal de la agricultura de maíz de temporal en México, a nivel municipal, se ejemplifica aquí tomando en cuenta la definición del IPCC (2007). Las definiciones de los tres componentes que conforman el concepto de vulnerabilidad son:

La *exposición* se refiere al tipo y grado (o naturaleza) a la que un sistema está expuesto (o es afectado) por variaciones climáticas significativas, esto es, se considera a los peligros climáticos como "*estresores*", forzantes, o impulsores climáticos. Están incluidos aquí los grandes fenómenos meteorológicos desencadenantes, como los ciclones tropicales, que pueden generar, directamente, lluvias intensas, ráfagas de viento, marea de tormenta, o indirectamente, inundaciones y remoción en masa (deslizamientos de rocas, flujos de escombros, etc.).

Algunas consideraciones sobre la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura, dentro del componente de índice de exposición, se deberá incorporar el análisis de los eventos climáticos extremos a partir de los índices propuestos por el IPCC, considerando su expresión territorial, asimismo, para los otros aspectos relacionados con la variabilidad climática.

La *sensibilidad* es el grado en que un sistema puede resultar afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático. También, los efectos pueden ser *directos*, p.ej. un cambio en el rendimiento de los cultivos, en respuesta a una variación de la temperatura media, o de los intervalos de temperaturas, o bien, de la variabilidad de la temperatura, o *indirectos*, p.ej. daños causados por una mayor frecuencia de inundaciones costeras por el ascenso del nivel medio del mar.

La *capacidad adaptativa* es el conjunto de capacidades, recursos e instituciones de un país o región que permitirían implementar medidas de adaptación eficaces.

Para realizar el análisis de vulnerabilidad actual y futura (o por cambio climático), el INECC aplica los tres componentes de la definición de vulnerabilidad propuesta por el IPCC (2007), mediante la siguiente formalización general:

Vulnerabilidad **V** = ***f*** (Exposición **E**, Sensibilidad **S**, Capacidad Adaptativa **CA**)

Si se considera para su evaluación un modelo aditivo-sustractivo, con asignación de pesos iguales de las variables mediante *normalización* estadística estándar, asimismo, si se asume que por su naturaleza, la exposición y la sensibilidad (actual y futura), actúan en conjunto en el mismo sentido de impacto negativo, a estos dos componentes integrados de la vulnerabilidad, se les conoce como *impacto potencial* (Figura 1.13).

La dimensión del componente de capacidad adaptativa se considera en este modelo como reductor o atenuador de ese impacto potencial, esto es, de signo contrario a la exposición y a la sensibilidad juntas (Figura 1.13). Con ello resulta que la vulnerabilidad actual y futura, se representan así:

Vulnerabilidad actual (**VA**)= (*Exposición* + *Sensibilidad*) – *Capacidad Adaptativa*

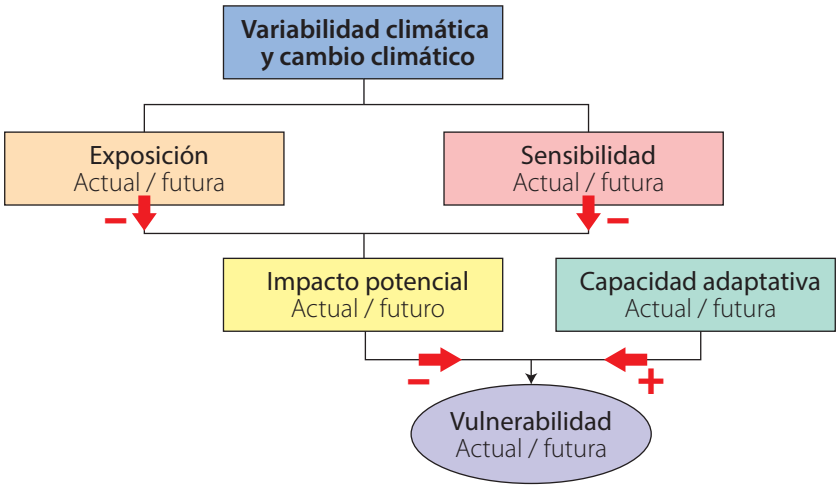

Figura 1.13. Diagrama conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad actual y futura en el proceso de adaptación al cambio climático en México.
Fuente: INECC (2016), modificado de IPCC (2007) y de Fellmann (2012).

El análisis a nivel municipal de vulnerabilidad, considerando el tema focal de la agricultura de maíz de temporal en México, tomó en cuenta más de 60 variables-indicadores (Figura 1.12) (Monterroso *et al*., 2014). Para simplificar el cálculo de cada componente se consideraron diversos subíndices.

Para el componente *exposición* se consideraron los subíndices de 1. Fenómenos extremos, 2. Problemática ambiental y 3. Clima base, para la condición actual. Para la condición futura se tomaron los dos primeros subíndices sin cambio, y para el tercero fueron: Clima proyectado al horizonte temporal 2015-2039, con el escenario RCP8.5 Watts/m^2 de los modelos HADGEM2 ES y MPI ESM LR, RCP8.5.

Para el componente *sensibilidad* se consideraron los subíndices de 1. Población (a partir del censo de población 2010 del INEGI), 2. Salud y 3. Agrícola base. Para la condición futura se tomaron los dos primeros subíndices sin cambio, y para el tercero fueron: la aptitud agrícola de la tierra para maíz de temporal proyectado al horizonte 2015-2039, con el escenario RCP8.5 Watts/m^2 de los modelos HADGEM2 ES y MPI ESM LR. Se incluyeron también los posibles impactos del sector ganadero y del sector forestal (Monterroso *et al.,* 2014).

Para el componente de *capacidad adaptativa* se consideraron los subíndices de 1. Capital humano, 2. Capital social, 3. Capital financiero y 4. Capital natural. Para la condición futura se tomaron los tres primeros subíndices sin cambio, y para el cuarto sólo se consideró la variable de tasa de crecimiento poblacional por municipio 2010-2030 (CONAPO, 2014).

Los mapas de la Figura 1.14, muestran los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático considerando como tema focal la agricultura de maíz de temporal a nivel municipal en México. Se aplicaron los escenarios de los modelos HADGEM2_ES (Figura 1.14a) y MPI_ESM_LR (Figura 1.14b), con forzamiento radiativo RCP8.5 W/m^2 y un horizonte temporal de 2015 a 2039.

1.5.6. Las aproximaciones y factores que inciden en la vulnerabilidad: una visión desde América Latina y el Caribe

Tomando en cuenta las consideraciones teóricas que el concepto de vulnerabilidad al cambio climático ha incorporado a través de tiempo y con la finalidad de tener aportaciones e intercambio de aprendizajes de las personas de cada país que participaron en la primera (2014) y segunda edición (2015) del *Taller sobre prioridades nacionales en materia de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático en América Latina y el Caribe,* se solicitó a los participantes que identificarán el marco conceptual a través del cual se están formulando las evaluaciones de vulnerabilidad en su lugar de origen. De esta forma, se realizó una búsqueda y comparativo de los métodos de medición de vulnerabilidad ante cambio climático en sus países de origen, considerando como referencia los siguientes puntos:

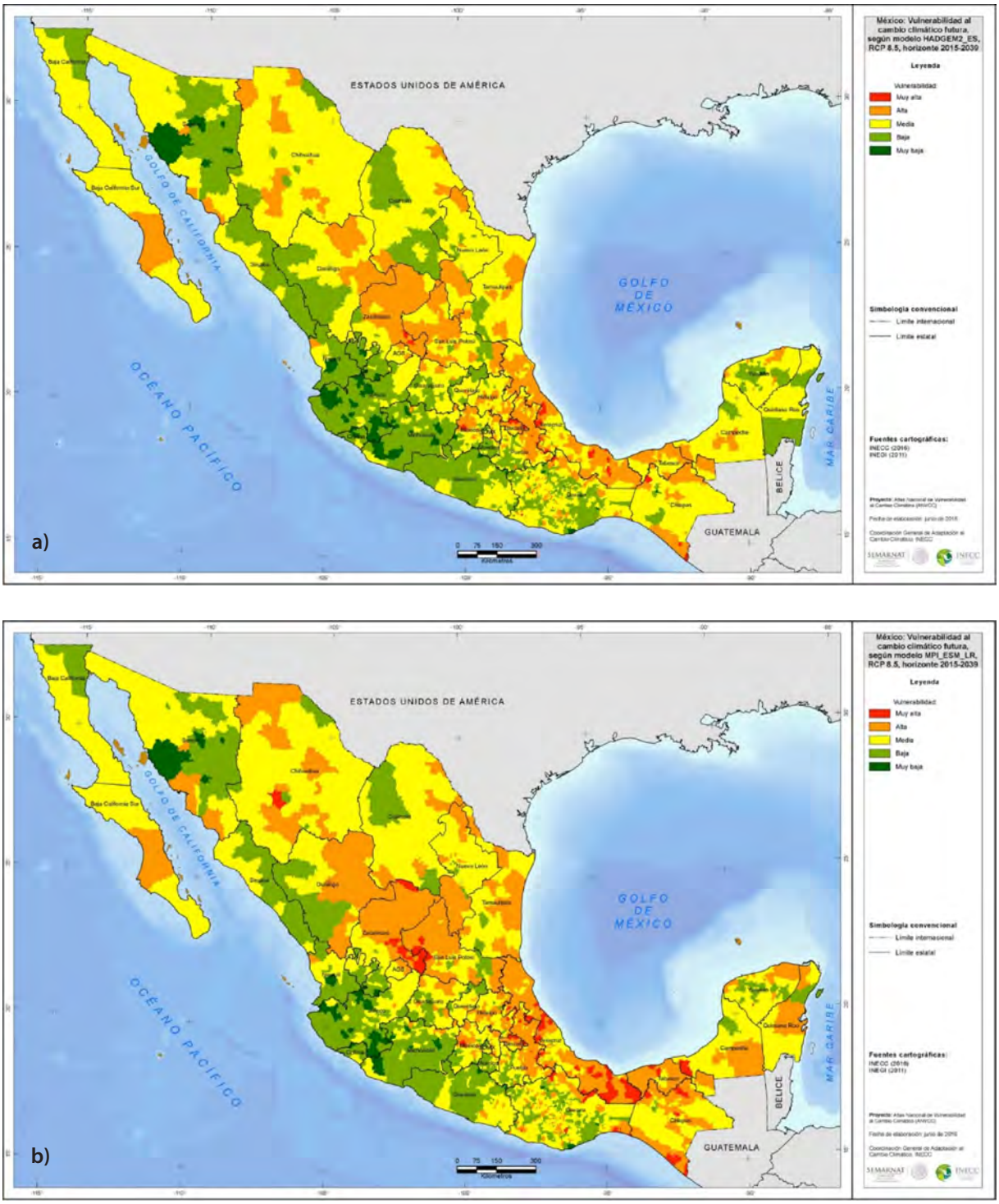

Figura 1.14. Vulnerabilidad al cambio climático considerando como tema focal la agricultura de maíz de temporal a nivel municipal en México. En (a) mapa de vulnerabilidad futura usando el modelo HADGEM2_ES, con forzamiento radiativo RCP8.5 W/m^2 y un horizonte temporal 2015-2039. El mapa en (b) corresponde al modelo MPI_ESM_LR, con el mismo forzamiento y horizonte temporal. Fuente: Elaboración propia.

- La definición de vulnerabilidad: Se refiere a la definición con la que se aborda el tema, considerando las capacidades nacionales en cuanto a bases de datos disponibles, recursos computacionales, de modelación, etc.
- Enfoque conceptual: Puede ser a través de un enfoque de evaluación probabilística del riesgo o considerando los componentes de vulnerabilidad (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa).
- ¿Cómo se ha abordado el análisis de vulnerabilidad al cambio climático en su país? Por sector económico (turismo, agricultura, industria, etc.), por recurso natural (agua, suelo, biodiversidad), por peligro (inundaciones, sequías, huracanes, etc.).
- ¿Mide vulnerabilidad actual, futura o ambas?
- ¿Cuál es el nivel de desagregación del análisis? (por país, región, departamentos, provincias, entidad federativa, cantón, distrito, municipio, ciudad, cuenca, etc.).
- Descripción de los indicadores utilizados.
- Institución o grupo de personas encargadas de realizar la medición.
- ¿Las metodologías señaladas, provienen de qué tipo de publicación? (revistas arbitradas, informes de gobierno, informes académicos, libros, etc.).

Como resultado de dicho ejercicio y con la retroalimentación de cada uno de los participantes se obtuvo una matriz que muestra los diferentes esfuerzos a nivel país para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático. Cabe mencionar que la integración del tema de vulnerabilidad al cambio climático resulta diferenciada en cada país, y depende en mucho, de la prioridad que en los últimos años ha ido adquiriendo el tema a tal grado de considerarlo como un problema público que debe ser institucionalizado y atendido por los gobiernos. No obstante, las metodologías seguidas, aún muestran una tendencia a la evaluación enfocada a la dimensión externa de la vulnerabilidad (peligros) o hacia la evaluación de los impactos o de vulnerabilidad de primera generación.

Las evaluaciones de la vulnerabilidad, que consideren las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, tomando como referente los factores climáticos y no climáticos, son parte de un proceso que aún se encuentra en construcción (Füssel y Klein, 2006). Para ello se requiere identificar los mejores métodos, con base en el diálogo entre expertos de diversas disciplinas, que reflejen la fusión de conocimientos y evidencien los factores limitantes de la vulnerabilidad y las ventanas de oportunidad en términos de capacidad adaptativa. Con ello se podrán establecer estrategias integrales que fomenten capacidades de respuesta y de adaptación en el corto, mediano y largo plazo, de tal forma que se fortalezca el proceso de adaptación al cambio climático.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales resultados por país con respecto a sus aproximaciones metodológicas y de la evaluación de vulnerabilidad al cambio climático (Tabla 1.4).

Tabla 1.4. Resumen de aproximaciones metodológicas para la evaluación de vulnerabilidad ante cambio climático para los países de Centroamérica y el Caribe

País	Definición de vulnerabilidad	Abordaje	Alcance temporal	Descripción de indicadores	Nivel de desagregación	Institución encargada	Tipo de publicación
Costa Rica	La definición de vulnerabilidad es la utilizada es una modificación de la de IPCC 2014, sin considerar adaptación.	Por recursos naturales o sectores (hídrico, energía, agropecuario, pesca y zonas costeras, salud, infraestructura y biodiversidad)	Vulnerabilidad actual	14 indicadores sociales y económicos. 2 escenarios climáticos extremos (seco y lluvioso) 1 índice climático: área porcentual del cantón con un núcleo importante de lluvia (exceso o déficit), frecuencia de aparición de eventos extremos, frecuencia de impactos (sequía o inundación), magnitud del evento y cobertura relativa espacial del evento.	Provincia y cantón	Instituto Meteorológico Nacional en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica.	Informe de gobierno
El Salvador	No se ha oficializado alguna definición para vulnerabilidad por parte del gobierno ni la academia. Se realizó una propuesta en la cual vulnerabilidad se define como una variable dependiente de tres variables explicativas de primer orden: exposición climática, resiliencia y capacidad adaptativa.	Sistema socio-natural	Puede ser utilizado para vulnerabilidad actual o vulnerabilidad futura (escenarios). Estimación de valores futuros con técnica de juicio de expertos	69 indicadores distribuidos en 3 entornos: natural, social y económico.	A nivel comunidad Limites considerando paisajes naturales, cuencas hidrográficas. No límites político administrativos	Investigadora independiente (Ivette Aguilar)	Publicación arbitrada e incorporación en el Cap 27 sobre América Central y Sur del Informe de Cambio Climático de 2014 del Grupo II

País	Definición de vulnerabilidad	Abordaje	Alcance temporal	Descripción de indicadores	Nivel de desagregación	Institución encargada	Tipo de publicación
Cuba	Predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad. Se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos en cuestión en relación con el peligro o los peligros que podrían incidir sobre ella.	Por peligros a fenómenos naturales como fuertes vientos y lluvias, penetración del nivel del mar, tecnológicas, sísmicos, deslizamientos, sequías, inundaciones, etc	Vulnerabilidad actual y futura	Se mencionan 6 grandes dimensiones donde se agrupan indicadores: Vulnerabilidad estructural (edificiones) Vulnerabilidad no estructural (Infraestructura) Vulnerabilidad funcional (estabilidad de la producción y servicios, capacidad de respuesta) Vulnerabilidad social (características de la población) Vulnerabilidad ecológica (ecosistemas frágiles) Vulnerabilidad económica(zonas industriales, presupuestos)	Consejo Popular, Municipio, Provincia y País para hacerlo corresponder con los niveles de gestión de riesgos del país	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA)	Informe de gobierno

País	Definición de vulnerabilidad	Abordaje	Alcance temporal	Descripción de indicadores	Nivel de desagregación	Institución encargada	Tipo de publicación
Guatemala	Se cuenta con una definición institucionalizada en el Decreto Ley 7-2013 (Ley Marco de Cambio Climático). Definición derivada del IPCC 2007.	Con base en la Ley de Cambio Climático de Guatemala se han identificado sectores prioritarios como: Salud Humana, Zonas Marino Costero, Agricultura y Seguridad Alimentaria, Recursos Forestales, e Infraestructura. 2da Comunicación: vulnerabilidad social, económica, marino costero, urbano marginal, territorial y ambiental de Guatemala.	Vulnerabilidad actual (Descriptiva, No índices). Para 2da Comunicación Escenarios de CC Hay estudios que miden vulnerabilidad actual y futura (estudio de modelación de biodiversidad y el del TNC)	No hay evaluación o medición de vulnerabilidad a través de indicadores. Sólo precipitación y temperatura En estudios realizados por universidades en las subcuenca San José y Cuenca Río Naranjo, así como los realizados en modelación de los impactos del CC en la Biodiversidad se ha avanzado en la utilización de indicadores.	Nacional Hay investigaciones a un nivel más pequeño (cuenca, subcuenca, microcuenca)	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como punto focal de Cambio Climático Instituciones de gobierno (CONAP, INAB, ICTA-MAGA) Universidades como la Rafael Landívar, la San Carlos, la Universidad Del Valle de Guatemala ONG's (Rainforest Aliance, USAID, The Nature Caservacy); Instituto Privado de Cambio Climático, instituciones regionales como el IICA, CATIE; y gestión de riesgo en la prevención como la SESAN, CONRED, ICC, INSIVUMEH,etc	Informe de gobierno (Comunicaciones Nacionales) Estudios realizados "Análisis de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático en el Altiplano Occidental de Guatemala" TNC de los más completos

País	Definición de vulnerabilidad	Abordaje	Alcance temporal	Descripción de indicadores	Nivel de desagregación	Institución encargada	Tipo de publicación
Honduras	Definición de Vulnerabilidad asociada al IPCC 2007	Con base en la ENCC se priorizan Sectores y Recursos Naturales 1. Recursos Hídricos 2. Agricultura, Suelos y Seguridad Alimentaria 3. Bosques y Biodiversidad 4. Sector Marino-Costero 5. Salud Humana 6. Gestión de Riesgos 7. Energía Hidroeléctrica	Vulnerabilidad actual y tendencias futuras con base en el marco de políticas vigentes. Visión a futuro, situación deseada	Se menciona 11 indicadores: 4 de población 3 Superficie 2 Economía 1 Desastres 2 Accesibilidad a medio de comunicación	Nivel nacional (país), a través de estadísticas oficiales de instituciones de gobierno	Dirección Nacional de Cambio Climático (DNCC), dependencia de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). El proyecto fue financiado por el GEF.	Informe de gobierno (2da Comunicación Nacional)
México	Definición institucionalizada en la LGCC y que deriva del IPCC 2007	Eventos climáticos (peligros)	Vulnerabilidad actual	En la ENCC 5 indicadores: Índice de Vulnerabilidad Social Índice de Vulnerabilidad por Salud Índice de Vulnerabilidad Agrícola por Precipitación Índice de Vulnerabilidad Agrícola por Temperatura Índice de Vulnerabilidad Pecuaria	Municipal	SEMARNAT, INECC	Informes de gobierno, académicos y libros

País	Definición de vulnerabilidad	Abordaje	Alcance temporal	Descripción de indicadores	Nivel de desagregación	Institución encargada	Tipo de publicación
Nicaragua	Se mencionan definiciones de vulnerabilidad y riesgo Vulnerabilidad: Características y circunstancias de una comunidad, sistema o bien que lo hace susceptible a los efectos dañinos de una amenaza. (ISDR 2009).	Sectores productivos (Agrícola)	Vulnerabilidad actual	Dimensiones o factores de vulnerabilidad Físicos Económicos Sociales-Culturales Institucionales y ambientales	No se menciona con respecto a vulnerabilidad, sino con respecto a adaptación (local y nacional)	Es interinstitucional que lo atienden varias carteras y no existe un único ente de medir por ejemplo Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), en conjunto con las instituciones del GRUN, Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa, INTA, INAFOR, MEM, SINAPRED, SESSAN, INPESCA, INETER y el mismo MARENA, se ha elaborado el Plan de adaptación a la variabilidad climática y al cambio climático a través de un enfoque inter-sectorial con propuestas desde los principales sectores productivos del país.	Informes de gobierno, académicos y libros
Jamaica	Se define como la exposición al riesgo. Este riesgo se determina por circunstancias ambientales y socioeconómicas las cuales determinan la habilidad para adaptarse a los impactos del cambio climático	Las instituciones académicas analizan la vulnerabilidad al cambio climático a nivel social, estudiando los impactos que se dan en el sector agricultura, pesca, agua, asentamientos humanos, seguridad alimentaria y salud	Vulnerabilidad Actual y Futura	Sin indicadores descritos	Por sector y en menor medida por sexo	Ministerio del Agua, Tierra, Ambiente y Cambio Climático	Documentos Técnicos y Publicaciones arbitradas que son preparadas por investigadores
Panamá	Se está planteando dado que hay poco conocimiento sobre CC	Sectores: Asentamientos humanos, agr-icola, salud	Vulnerabilidad actual	Grado de sensibilidad, personas afectadas, sexo edad	Por provincia	MIAMABIENTE, SINAPROC	escasos estudios de vulnerabilidad ante el cambio climático

1.6. Referencias

Adger, N. (1999), Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam, *World Development*, 27(2): 249-269.

Aguilar, E. (2013). *Quality Control whit R-Climdex (version Extra-QC)*. Centre for Climate Change. Presentación, 20 diapositivas.

Aguilar, E., Aziz Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., Massoukina, M., Mbah, J., Mhanda, A., do Nascimento, D. J., Peterson, T. C., Thamba Umba, O., Tomou, M. and Zhang, X. (2009). Changes in Temperature and Precipitation Extremes in Western Central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research*, 114: D02115, doi:10.1029/2008JD011010.

Aguilar, E., Peterson, T. C., Ramírez, P., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., González García, I., Araujo, R. M., Rosa, A., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., Sánchez, E., Hernández, G. I., Obed, F., Salgado, J. E., Vázquez, J. L., Baca, M. , Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda, C. E. , Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H. , Mayorga, R. (2005). Changes in Precipitation and Temperature Extremes in Central America and Northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres,*110: D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.

Alexander L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent L., Stephenson, D., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. and Vazquez-Aguire, J.L. (2006). Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111: 22. Doi: 10.1029/2005JD006290

Arriaga-Ramírez, S., and T. Cavazos (2010). Regional Trends of Daily Precipitation Indices in Northwest Mexico and Southwest United States. *Journal of Geophysical Research*, 115: D14. Doi: 10.1029/2009JD013248.

Beach, R., Cai, Y., Thomson, A., Zhang, X., Jones, R., McCarl, B., Crimmins A., Martinich, J., Cole, J., Ohrel, S., De Angelo, B., McFarland, J., Strzepek K. and Boehlert, B. (2015). Climate change impacts on US agriculture and forestry: benefits of global climate stabilization. *Environmental Research Letters*, 1: 1-16. doi:10.1088/1748-9326/10/9/095004.

Beniston, M. and Stephenson, D.B. (2004). Extreme Climatic Events and Their Evolution under Changing Climatic Conditions. *Global and Planetary Change*, 44: 1- 9.

Burkett, V.R., A.G. Suarez, M. Bindi, C. Conde, R. Mukerji, M.J. Prather, A.L. St. Clair, and G.W. Yohe, (2014). Point of departure. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part*

A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 169-194.

Caesar, J., Alexander, L. and Vose, R. (2006). Large-Scale Changes in Observed Daily Maximum and Minimum Temperatures: Creation and Analysis of a New Gridded Data Set. *Journal of Geophysical Research,* 111: 1-10, DOI: 10.1029/2005JD006280.

Caesar, J., Alexander, L. V., Trewin, B., Tse-ring, K., Sorany, L., Vuniyayawa, V., Keosavang, N., Shimana, A., Htay, M. M., Karmacharya, J., Jayasinghearachchi, D. A., Sakkamart, J., Soares, E., Hung, L. T., Thuong, L. T., Hue, C. T., Dung, N. T. T., Hung, P. V., Cuong, H. D., Cuong, N. M. and Sirabaha, S. (2011). Changes in Temperature and Precipitation Extremes over the Indo-Pacific Region from 1971 to 2005. *International Journal of Climatology*, 31: 791-801, DOI:10.1002/joc.2118

Cavazos, T., Salinas, J. A., Martínez, B., Colorado G., de Grau, P., Prieto González, R., Conde Álvarez, A. C., Quintanar Isaías, A., Santana Sepúlveda, J. S., Romero Centeno, R., Maya Magaña, M. E., Rosario de La Cruz, J. G., Ayala Enríquez, Ma. del R., Carrillo Tlazazanatza, H., Santiesteban, O. y Bravo, M. E. (2013). *Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional*. Informe Final del Proyecto al INECC, 150 pp. Con resultados disponibles en: http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html.

Chandler, R. and Scott, M. (2011). *Statistical Methods for Trend Detection and Analysis in the Environmental Sciences*. John Wiley & Sons, 388 pp.

CONAPO (2014). *Proyecciones de la población de México por municipios y localidades 2010-2030.* Consejo Nacional de Población, México. Bases de datos disponibles en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Datos/descargas/Proyecciones_municipios_y_localidades.zip

Conde, C., Ferrer, R.M. y Liverman, D. (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE. En Gay, C. (Ed.). *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. (pp. 93-110). México: Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México.

Conde Álvarez, A.C. (2003). Cambio y variabilidad climáticos, dos estudios de caso en México, *Tesis de Doctorado en Ciencias de la Tierra. Física de la Atmósfera*, Posgrado en Ciencias de la Tierra

UNAM, Noviembre 2003, México.

CMNUCC (2015). *Acuerdo de París,* Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Organización de las Naciones Unidas, *21° Periodo de Sesiones de la Conferencia de las Partes.* París, 2015/11/30 a 2015/12/11, 27 pp. Disponible en español en: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf.

DOF (06/06/2012). *Ley General de Cambio Climático*, México, 44 pp. Documento original disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5249899&fecha=06/06/2012, Documento actualizado para 2016 en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_010616.pdf.

DOF (28/04/2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018*. Documento disponible en: [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014], 96 pp., México.

EEA (2015). *Agriculture and Climate Change. Report by European Environment Agency*. 9 pp. Recuperado de: http://www.eea.europa.eu/downloads/a898650f58a641589eb0ad2cd92b55be/s1468248918/agriculture-and-climate-change.pdf.

FAO (1997). *Zonificación Agroecológica. Guía General. Boletín de Suelos de la FAO 73*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Fellmann T. (2012). The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks, pp.37-61, En. A. Meybeck, J. Lankoski *et al.* (Eds. 2012) *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop*, FAO Rome.

Field, C.B., Barros, V.R., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., van Aalst, M., Adger, W.N., Arent, D.J., Barnett, J., Betts, R., Bilir, T.E., Birkmann, J., Carmin, J., Chadee, D.D., Challinor, A.J., Chatterjee, M., Cramer, W., Davidson, D.J., Estrada, Y.O., Gattuso, J.-P., Hijioka, Y. , Hoegh-Guldberg, O., Huang, H.Q., Insarov, G.E., Jones, R.N., Kovats, R.S., Romero Lankao, P., Larsen, J.N., Losada, I.J., Marengo, J.A., McLean, R.F., Mearns, L.O., Mechler, R., Morton, J.F., Niang, I., Oki, T., Olwoch, J.M., Opondo, M., Poloczanska, E.S., Pörtner, H.O., Redsteer, M.H., Reisinger, A., Revi, A., Schmidt, D.N., Shaw, M.R., Solecki, W., Stone, D.A., Stone, J.M.R., Strzepek, K.M., Suarez, A.G., Tschakert, P., Valentini, R., Vicuña, S., Villamizar, A., Vincent, K.E., Warren, R., White, L.L., Wilbanks, T.J., Wong, P.P., and Yohe, G.W. (2014). Technical summary. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. and White, L.L. (Eds), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel*

on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 35-94.

Füssel, H.M. and Klein, R.J.T. (2006). Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75:301-329.

Gay-García, C., Rueda-Abad, J. C., Ortiz-Espejel, B., Fernández- Carril, L. R., López-Morales, L., Le Bail, M. & Peña-Ledón, C.T. (2015). Introducción. En: C. G. Gay-Garcia & J.C.Rueda-Abad (Coords.). *Reporte mexicano de cambio climático GRUPO II impactos, vulnerabilidad y adaptación*. pp. (15-38), Ciudad de México.

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M. and Zhai, P. M. (2013). Observations: Atmosphere and Surface. In Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 159-254), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

INDC (2015). *Intended Nationally Determined Contribution, México 2020-2030*, Gobierno de la República, Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030, Abril 2015, documento disponible en: [http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf].

INECC (2016). *Cambio Climático en México: Vulnerabilidad*, México, documento disponible en: [http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-80125].

INECC-CICESE (2014). *Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional*, Informe Técnico Final, Convenio No. INECC/A1-007/2014, Autores: T. Cavazos, P. de Grau, A. Hinojosa, C.M. Appendini Albrechtsen, M.L. Mexicano Vargas, R. Meza Padilla, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California CICESE, Vol. 1 59 pp., Vol. 2. 50 pp.

INECC-IMTA (2014). *Actualización y divulgación de los nuevos escenarios de cambio climático aplicados a México para fortalecer las capacidades nacionales*, Informe Técnico Final, Convenio No. INECC/A1-010/2014, Consultores: J.A. Salinas, G. Colorado, M.J. Montero Martínez, M.E. Maya Magaña, M. González Robles, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, 174 pp., México.

INECC-CCA/UNAM (2014). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación*, Informe Técnico Final, Convenio de Colaboración: INECC/A1-005/2014, Autores: A. Fernández Eguiarte, J. Zavala Hidalgo, R. Romero Centeno, A.C. Conde Álvarez, R.I. Trejo Vázquez, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC, Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, 22 pp., México.

IPCC (2007). Summary for policymakers. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.

IPCC (2012a). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.* A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M., and Midgley, P.M. (Eds). Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2012b). Resumen para Responsables de Políticas. En: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., Tignor, M., y Midgley, P. M. (Eds), *Informe Especial sobre la Gestión de los Riesgos de Fenómenos Meteorológicos Extremos y Desastres para Mejorar la Adaptación al Cambio Climático. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, (pp. 1-19). Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC (2014a). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E.,Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White L.L. (Eds.). Cambridge:Cambridge University Press.

IPCC (2014b). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, pp668. United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014c). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas.* Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación

del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel,A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. OMM, Ginebra, Suiza, 34 pp.

Kelly, P.M. and Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47:325-352.

Kienberger, S., Lang, S. and Zeil, P. (2009). Spatial vulnerability units-expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach Catchment, Austria. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9: 767-778.

Kostopoulou, E. and Jones, P.D. (2005). Assessment of Climate Extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1-4): 69-85.

Li Yangfan, Xiaoxiang Zhangb, Xingxing Zhaob, Shengquan Mac, Huhua Caod, Junkuo Caoc (2016). Assessing spatial vulnerability from rapid urbanization to inform coastal urban regional planning, *Ocean & Coastal Management*, 123: 53-65.

Lim, B., y E. Spanger-Siegried (Ed) (2006). Marco de Políticas de Adaptación al Cambio Climático: Desarrollo de Estrategias, Políticas y Medidas. PNUD. Cambridge University Press. New York. 274 pp.

Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: Debates acerca del concepto de Vulnerabilidad y su medición. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía* (22)2:17-33.

López, F., Sánchez, O. y Conde, C. (2014). Análisis de Tendencias y Eventos Climáticos Extremos (Capítulo III). En: J.E. Ospina Noreña, C. Gay García y A.C. Conde Álvarez (Eds.) *Historia del Clima de la Ciudad de México: Efectos Observados y Perspectivas*, Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México CVCCCM, ICyTDF, ahora SeCiTI, México, pp.47-72.

López Pérez, D.C. (2011). *Indicadores Hidrológicos en el Cambio Climático, en la Cuenca del Río Pilón (México)*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias, Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León. pp.182.

López-Díaz, F. (2014). *Análisis Regional de Eventos Extremos de Temperatura en México y sus Posibles Variaciones en el Contexto de Cambio Climático*. Tesis para obtener el grado de Doctora en Ciencias de la Tierra, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, pp.145.

López-Díaz, F., Conde, C. and Sánchez, O. (2013). Analysis of Indices of Extreme Temperature Events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico: 1952-2003. *Atmosfera*, 26(3): 349-358.

Loughnan, M.E., Tapper, N.J., Phan, T., Lynch, K., McInnes, J.A. (2013). *A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities*, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast pp.128.

McSweeney, C. and Caesar, J. (2013). *Additional Guidance on Quality Control and Homogeneity Testing for the Assessment for Calculation of Extremes Indices with RClimDex*, 7 pp.

Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, D. and López, J. (2014). Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural Sector. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change.*19:445-461.

Monterroso, R. A., Gómez, J., Lluch-Cota, S., Sáenz, R. C., Pérez E. R., Salvadero, C., Lluch-Cota, D, B, Saldivar-Lucio, R., Ponce-Díaz, G., Martínez C. C., Ramírez-García, G. y Baca-del Moral, J. (2015). Sistemas de Producción de Alimentos y Seguridad Alimentaria. En Gay, C., Cos, A. y Peña, T. (Eds), *Reporte Mexicano de Cambio Climático Grupo II Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación.* Universidad Nacional Autónoma de México.

Moss, R.H., Edmons, J.A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S. , Kainuma, M., Kram, T. , Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant ,J. P. y Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747-755.

O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. and West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India, *Global Environmental Change* 14:303-313.

Rannow, S., Wolfgang, L., Greiving, S., Gruehn, D. and Meyer, B.C. (2010). Potential impacts of climate Change in Germany. Identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning. *Landscape and Urban Planning*. 98: 160-171. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.08.017.

Ruiz, C. A., Medina, G. G., Ramírez, D. J., Flores, L. H., Ramírez, O. G., Manríquez, O. J., Zarazúa, V., P., González, E. D., Díaz, P. G. y De la Mora, O. C. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2:309-323.

Rusticucci, M. and Barrucand, M. (2004). Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17: 4099-4107.

Schlenker,W. and Roberts, M. (2006). Non-linear effects of weather on corn yields. *Review Agricultural Economics*, 28: 391-398.

SEMARNAT-INECC (2015). *Elementos Mínimos para la Elaboración de los Programas de Cambio Climático de las Entidades Federativas* (Versión Octubre 2015). http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_elem_minims_prog_cc_efederativas.pdf.

SEMARNAT (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40. Primera edición. SEMARNAT, México, 30 pp.

Stockhause, M., Höck, H., Toussaint, F. and Lautenschalager, M. (2012). Quality assessment concept of the World Data Center for Climate and its application to CMIP5 data. *Geoscientific Model Development*, 5: 1023-1032.

Taylor, K., Stouffer, R.J. and Meehl, G.A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *American Meteorological Society*, 93: 485-498.

Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(19): 55-94. DOI: 10.2307/210739.

Vázquez-Aguirre, J.L. (2010). *Guía para el Cálculo y uso de Índices de Cambio Climático en México,* México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología-Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Villarroel-Jiménez, C.P. (2013). *Eventos Extremos de Precipitación y Temperatura en Chile: Proyecciones para Fines del Siglo XXI.* Tesis para obtener el grado de Magíster en Meteorología y Climatología. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. pp.142.

Vincent, L. A., Aguilar, E., Saindou, M., Hassane, A. F., Jumaux, G., Roy, D., Booneeady, P., Virasami, R., Randriamarolaza, L. Y. A., Seeward, H., Amelie, V., Faniriantsoa, F. R. and Montfraix, B. (2011). Observed Trends in Indices of Daily and Extreme Temperature and Precipitation for the Countries of the Western Indian Ocean, 1961-2008. *Journal of Geophysical Research*, 116, 1-12, D10108, doi: 10.1029/2010JD015303.

Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Berlato, M. A., Grimm, A. M., Marengo, J. A., Molion, L., Moncunill, D. F., Rebello, E., Anunciacao, J., Quintama, Y. M. T., Santos, J. L., Baez, J., Coronel, G., García, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock , M. R. and Karoly, D. (2005). Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, 18, 5011-5023.

Vitale, D., Rana, G., Soldo, P. (2010). Trends and Extremes Analysis of Daily Weather Data from a Site in the Capitanata Plain (Southern Italy). *Italian Journal of Agronomy.* 5:133-143.

Zarazúa, V. P., Ruiz, C. J., González, E. D., Flores, L. H. y Ron, P. J. (2011). Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2:351-363.

Zhang, X. and Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0): Manual del Usuario.* Traducción de Santos J.L, pp. 22. Documento disponible en: [http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml].

CAPÍTULO 2

Efectos e impactos del cambio climático en el maíz blanco en El Salvador

Yvette Munguia Fernández[1], *Metzi Aguilar Munguia*[2]

[1]Asesora Fundación Friedrich Ebert, El Salvador, yvette.a@gmail.com
[2] Experta independiente, El Salvador, metzi.aguilar@gmail.com

Resumen

El estudio identifica los efectos del cambio climático en el período de crecimiento de los cultivos en El Salvador para el futuro lejano (2075-2099), así como los impactos en el maíz blanco de los cambios proyectados en las temperaturas y precipitaciones de lluvia. Se proyecta que la duración del período de crecimiento de los cultivos se reduciría entre 10 y 14 días, debido a que se retrasaría de 7 a 11 días el inicio de la época lluviosa en abril y su salida se adelantaría 3 días en octubre. Aunque el comportamiento bimodal de las lluvias durante la época lluviosa se mantendría, se proyectan una intensificación de la sequía intraestival de julio y agosto, y una reducción de la lluvia en los dos picos máximos de junio y septiembre. En la zona costera del suroriente del país, los efectos futuros del cambio climático en el maíz blanco configurarían un conjunto de factores adversos que presionarían dicho cultivo y reducirían sus rendimientos. Las restricciones vinculadas al acceso y uso potencial de la tierra, podrían exacerbar los impactos del cambio climático, reduciendo la producción de maíz blanco, aumentando la inseguridad alimentaria y acelerando el abandono de la agricultura y medio rural.

Palabras clave: Adaptación, Biomasa, Evapotranspiración potencial, Período de crecimiento.

Abstract

The study identifies the effects of climate change in crop growing period in El Salvador in the far future (2075-2099), as well as the impacts on white maize of projected changes in temperature and rainfall. The length of the crop growing period is projected to be reduced from 10 to 14 days, for the beginning

of the rainy season in April would be delayed 7 to 11 days and its departure would be brought forward 3 days in October. Although the bimodal behavior of rainfall during the rainy season would remain, an intensification of the midsummer drought, occurring in July and August, and a reduction of the peaks of rain in both June and September, are projected. In the Salvadoran southeastern coastal area, future climate change impacts on white maize would form a set of adverse factors that would put pressure on the crop and reduce yields. Constraints related to access and potential use of land could exacerbate the impacts of climate change, reducing white maize production, increasing food insecurity and accelerating the abandonment of agriculture and rural areas.

Keywords: Adaptation, Biomass, Potential evapotranspiration, Growth period.

2.1. Introducción

El concepto de período de crecimiento (PC) de los cultivos, al integrar las variables precipitación, temperatura y evapotranspiración (ET), que es el agua transpirada por un cultivo y la evaporada por el suelo, permite identificar la forma en que el cambio climático y la variabilidad asociada afectarían el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En este estudio se analizan los impactos en el maíz blanco resultantes de los cambios proyectados en las temperaturas y precipitaciones, y de los efectos proyectados de dichos cambios en la duración del PC (DPC) de los cultivos en el futuro. Se identifican a su vez, los efectos de los cambios en la DPC en la producción de biomasa y humedad del suelo, así como en las fases fenológicas del maíz y en su productividad.

El área de estudio se localiza en la planicie costera del departamento de Usulután, al sureste del país, y tiene una altitud de 25.625 msnm (Figura 2.1), en la cual se cultiva además de maíz blanco, maicillo y frijol. El estudio explora la aptitud futura del maíz blanco en El Salvador, en el contexto del cambio climático proyectado, identificando algunos de los impactos biofísicos y socioeconómicos asociados al cultivo. Considerando que en el país 45.9% de la producción de maíz es para autoconsumo y 21% de la tierra de las explotaciones agrícolas es alquilada (MINEC, 2009), los impactos adversos del cambio climático en el maíz aumentarían el riesgo de inseguridad alimentaria. Asimismo, se identifican algunas estrategias y medidas de adaptación en varios niveles y ámbitos de acción, como son: (i) políticas públicas a distinto nivel territorial, (ii) instrumentos de política derivados de compromisos multilaterales en materia de cambio climático, y (iii) estrategias y medidas de adaptación del ámbito privado a nivel local y de finca.

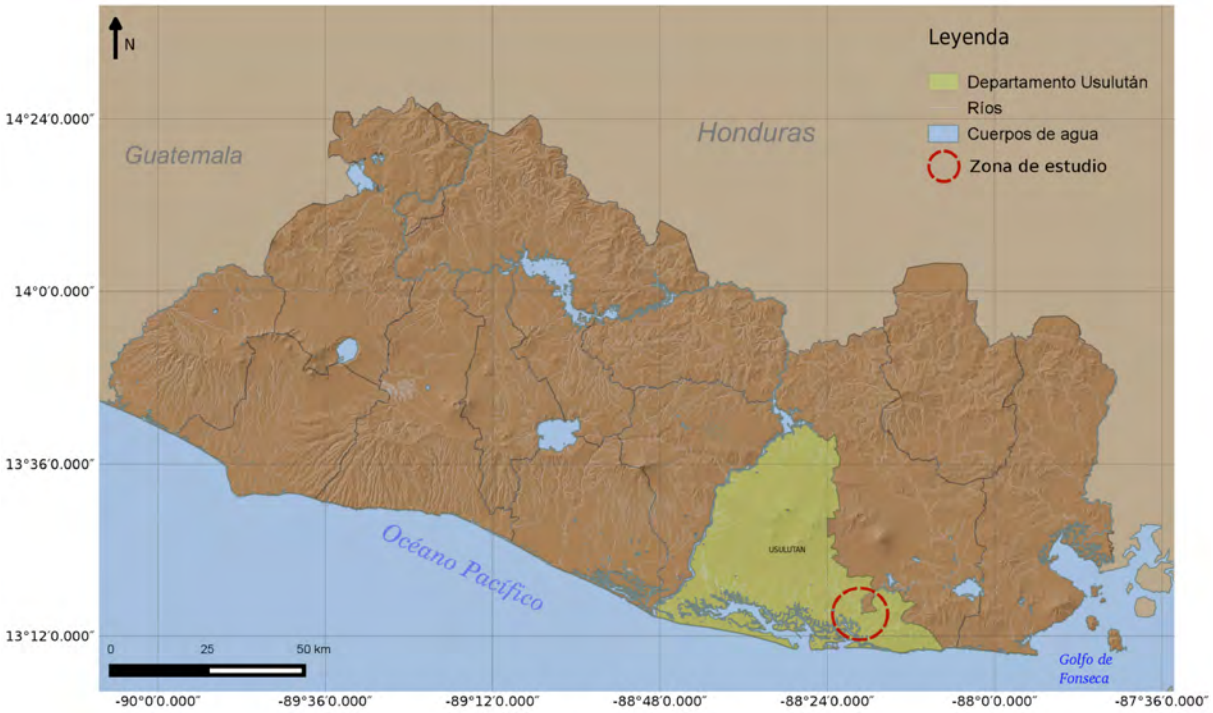

Figura 2.1. Área de estudio, Departamento de Usulután, El Salvador.
Fuente: elaboración propia con datos del Centro Nacional de Registros.

2.2. Metodología

Los datos de precipitaciones y temperaturas medias mensuales para el período de referencia 1961-2000 se obtuvieron para el punto cuyas coordenadas son latitud 13.28046 y longitud -88.41575 ubicado en la malla de datos históricos de la Unidad de Investigaciones del Clima (CRU, por sus siglas en inglés) con resolución de 0.5º × 0.5º. Para el período 2075-2099, se usaron los valores de precipitación y temperatura medias mensuales, generados por un ensamble ponderado de 15 modelos climáticos de circulación general denominado REA (*Reliability Ensemble Averaging*), y estructurado para dos forzamientos radiativos denominados Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés) para dos valores, RCP4.5 y RCP8.5 con resolución de 0.5º × 0.5º (Fernández *et al.,* 2015). Los datos fueron tomados del visualizador web de mapas del INECC.

El estudio fue desarrollado mediante las fases siguientes:

a. Análisis de los cambios en las precipitaciones y temperaturas medias mensuales en 2075-2099 para RCP4.5 y RCP8.5 respecto al período de referencia 1961-2000 (Tabla 2.1) y (Figuras 2.2 y 2.3).

Tabla 2.1. Temperatura y precipitación media mensual para el clima de referencia 1961-2000 y proyecciones para 2075-2099.

Mes	1961-2000		2075-2099							
	Clima de referencia		Ensamble REA RCP4.5				Ensamble REA RCP8.5			
	T media mensual	PCP media mensual	T media mensual	Cambios de T media mensual	PCP media mensual	Cambios de PCP media mensual	T media mensual	Cambios de T media mensual	PCP media mensual	Cambios de PCP media mensual
	(°C)	(mm)	(°C)	(°C)	(mm)	(%)	(°C)	(°C)	(mm)	(%)
Enero	26.1	0	28.2	2.1	0	0	29.5	3.4	0	0
Febrero	26.6	0	28.9	2.3	0	0	30.1	3.5	0	0
Marzo	27.8	2	30.3	2.5	1	–50	31.6	3.8	1	–50
Abril	28.4	21	31	2.6	19	–10	32.8	4.4	17	–19
Mayo	27.7	170	29.7	2	160	–6	31.1	3.4	144	–15
Junio	26.8	275	29.1	2.3	248	–10	30.7	3.9	225	–18
Julio	27.2	205	29.8	2.6	174	–15	31.6	4.4	150	–27
Agosto	26.7	256	29.1	2.4	208	–19	30.7	4	194	–24
Septiembre	25.8	354	28.2	2.4	325	–8	30	4.2	310	–12
Octubre	26	219	28.1	2.1	227	4	29.6	3.6	240	10
Noviembre	25.7	38	27.6	1.9	34	–11	29.2	3.5	36	–5
Diciembre	25.8	0	27.9	2.1	0	0	29.3	3.5	0	0

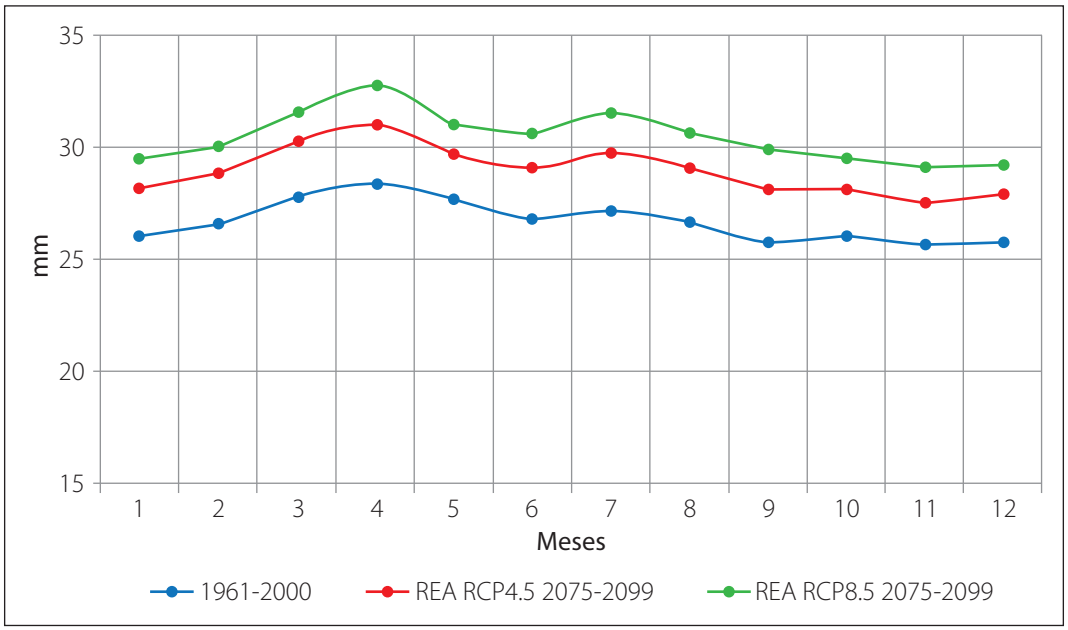

Figura 2.2. Patrón intranual de la temperatura media mensual para el período de referencia 1961-2000 y para el futuro lejano 2075-2099 en el área de estudio.

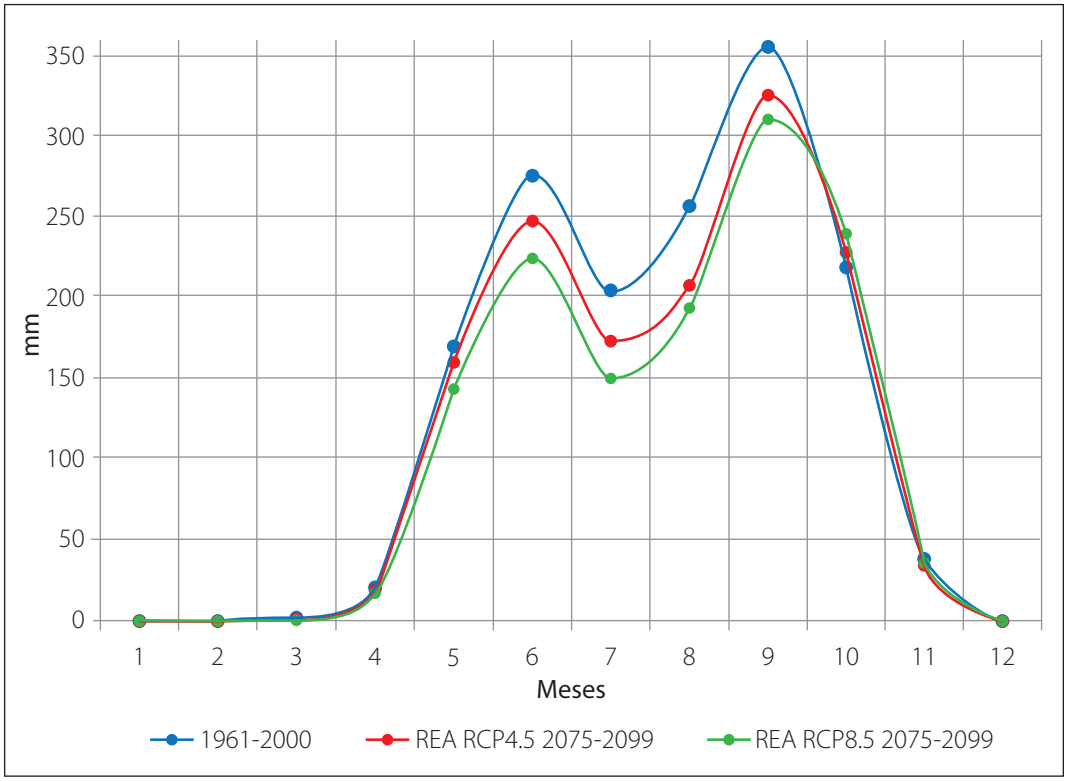

Figura 2.3. Patrón intranual de la precipitación media mensual para el período de referencia 1961-2000 y para el futuro lejano 2075-2099 en el área de estudio.

b. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), que es la demanda de agua de un cultivo bajo condiciones óptimas, y la ETP*0.5 en función de la temperatura media mensual para el período de referencia, en los dos RCP (Tablas 2.2 y 2.3), usando la ecuación de Thornthwaite:

$$ETP = 16\left(10\frac{T_m}{I}\right)^a \qquad [1]$$

$$a = 6.75\times10^{-7}\cdot I^3 - 7.71\times10^{-5}\cdot I^2 + 1.79\times10^{-2}\cdot I + 0.49239 \qquad [2]$$

$$I = \sum i_j \quad \text{con } j = 1,2,\ldots,12; \quad i = \left[\frac{T_{m_j}}{5}\right]^{1.514}$$

donde: *ETP:* evapotranspiración potencial sin ajustar en mm/mes

T_m: temperatura media mensual en ºC

I: índice de calor anual

c. Determinación del tipo de PC, mediante el gráfico del ciclo anual de precipitación media mensual y del ciclo anual de ETP*0.5 para el período de referencia y ambos RCP (Figuras 2.4, 2.5 y 2.6).

Tabla 2.2. Duración del período de crecimiento de referencia para 1961-2000.

Mes	1961-2000				
	Clima de referencia		Índice de calor mensual	ETP	ETP*0.5
	Temperatura media mensual	Precipitación media mensual			
	(°C)	(mm)		(mm/mes)	(mm/mes)
Enero	26.1	0	12	126	63
Febrero	26.6	0	13	136	68
Marzo	27.8	2	13	160	80
Abril	28.4	21	14	174	87
Mayo	27.7	170	13	158	79
Junio	26.8	275	13	140	70
Julio	27.2	205	13	148	74
Agosto	26.7	256	13	138	69
Septiembre	25.8	354	12	121	60
Octubre	26	219	12	124	62
Noviembre	25.7	38	12	119	59
Diciembre	25.8	0	12	121	60
I	152				
A	3.81				

Tabla 2.3. Duración del período de crecimiento para RCP4.5 y RCP8.5 en el futuro lejano 2075-2099.

Mes	Ensamble REA 2075-2099					Ensamble REA 2075-2099				
	RCP4.5					RCP8.5				
	Temperatura media mensual (°C)	Precipitación media mensual (mm)	Índice de calor mensual	ETP (mm/mes)	ETP*0.5 (mm/mes)	Temperatura media mensual (°C)	Precipitación media mensual (mm)	Índice de calor mensual	ETP (mm/mes)	ETP*0.5 (mm/mes)
Enero	28.2	0	14	167	83	29.5	0	15	170	85
Febrero	28.9	0	14	187	94	30.1	0	15	188	94
Marzo	30.3	1	15	234	117	31.6	1	16	241	120
Abril	31	19	16	261	130	32.8	17	17	291	146
Mayo	29.7	160	15	213	107	31.1	144	16	222	111
Junio	29.1	248	14	193	97	30.7	225	16	208	104
Julio	29.8	174	15	217	108	31.6	150	16	241	120
Agosto	29.1	208	14	193	97	30.7	194	16	208	104
Septiembre	28.2	325	14	167	83	30	310	15	185	92
Octubre	28.1	227	14	164	82	29.6	240	15	173	86
Noviembre	27.6	34	13	151	75	29.2	36	14	161	81
Diciembre	27.9	0	14	159	79	29.3	0	15	164	82
I	172					I	186			
a	4.73					a	5.1			

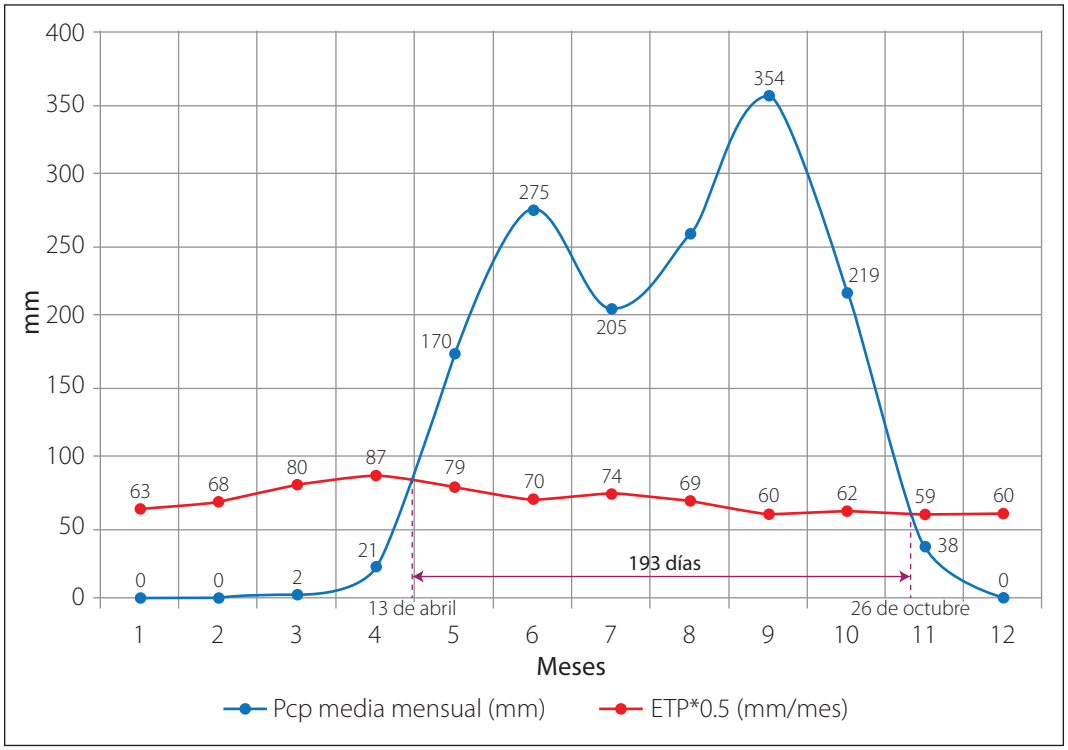

Figura 2.4. Duración de período de crecimiento de referencia para 1961-2000.

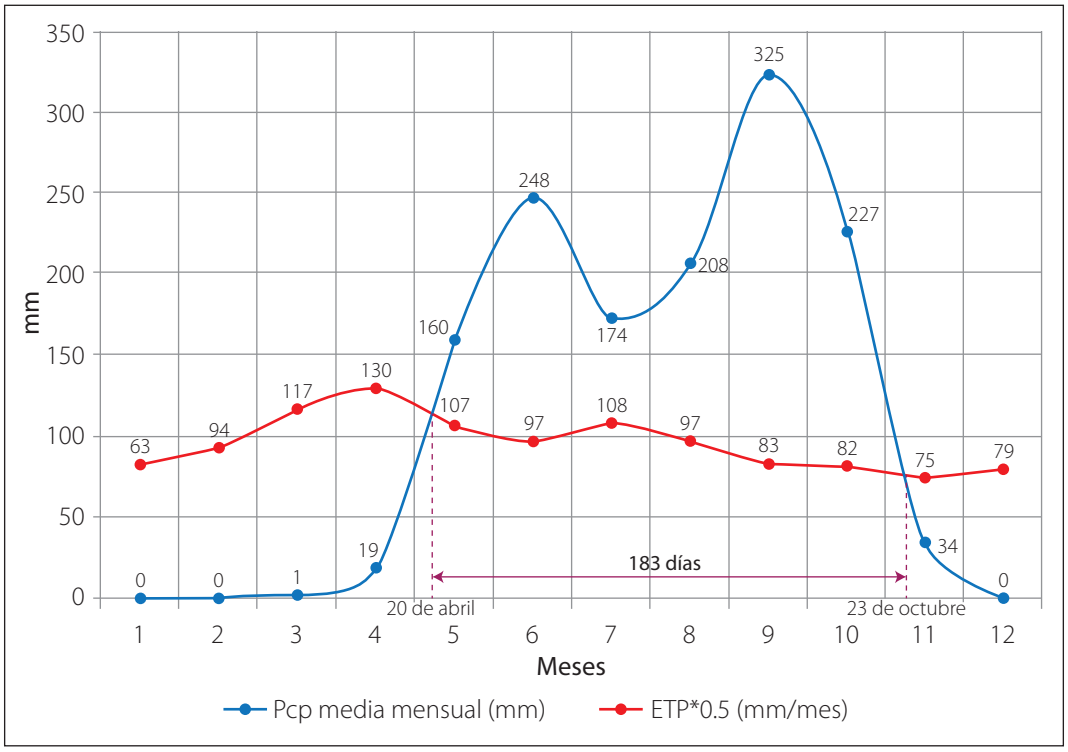

Figura 2.5. Duración de período de crecimiento con RCP4.5 para 2075-2099.

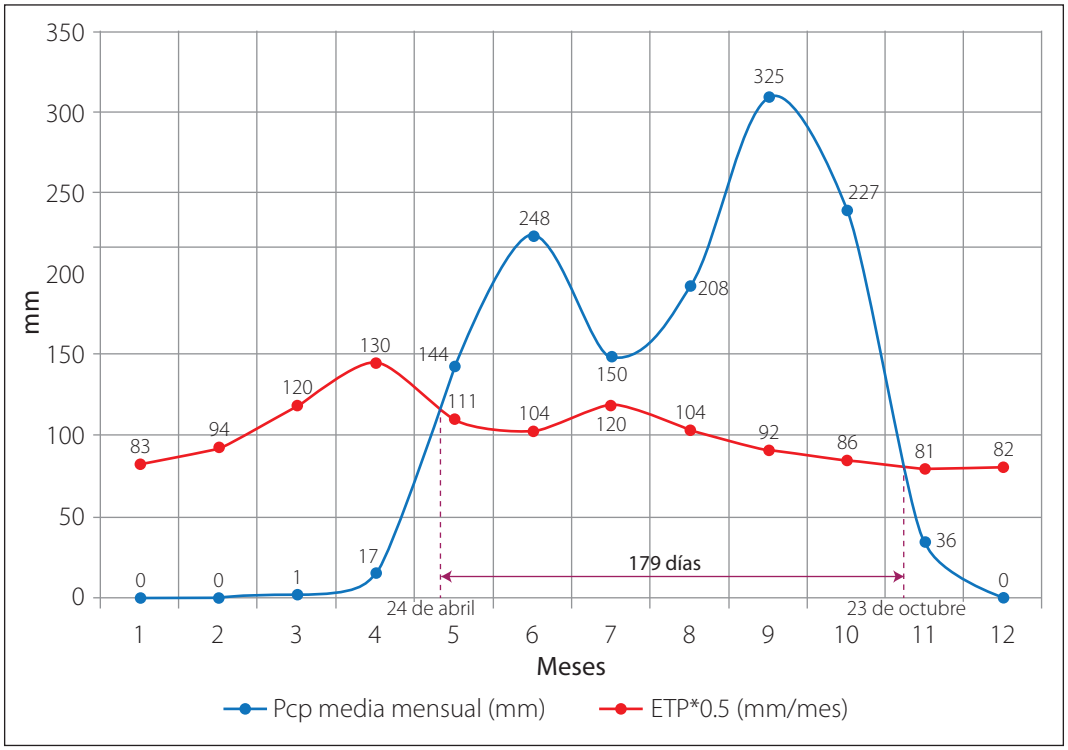

Figura 2.6. Duración de período de crecimiento con RCP8.5 para 2075-2099.

d. Determinación de la fecha de inicio y finalización del PC, así como la DPC para el período de referencia y los dos RCP (Figuras 2.4, 2.5 y 2.6) mediante el cálculo del valor de la abscisa del punto de intersección de las curvas de precipitación media mensual y del ciclo anual de ETP*0.5 usando la ecuación de la recta que pasa por dos puntos:

$$y - y_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\left(x - x_1\right) \qquad \text{donde la pendiente } m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}$$

e. Análisis de los cambios en el inicio y finalización del PC, así como de la DPC en los escenarios del futuro lejano respecto al período de referencia, en relación con los efectos de dichos cambios sobre la temperatura y humedad del suelo, biomasa sobre el suelo, fases fenológicas del cultivo, diferentes fases del ciclo productivo, productividad y producción.

f. Identificación de la aptitud futura del maíz blanco para El Salvador, usando los valores de referencia del PC de dicho cultivo, y determinación de los impactos potenciales cuando el PC futuro sale del rango de tolerancia óptimo de dicho cultivo; identificando variedades del mismo cultivo u otras especies de cereales adaptables al PC proyectado

g. Evaluación de la vulnerabilidad futura de El Salvador, considerando los impactos biofísicos y socioeconómicos debido al cambio en el PC del maíz blanco; y proponer medidas de adaptación para ambos escenarios futuros

2.3. Resultados

2.3.1. Clima de referencia y cambio climático proyectado en el área de estudio

En el período de referencia 1961-2000, la temperatura media mensual oscila entre 25.7°C en noviembre y 28.4°C en abril. La temperatura promedio del trimestre de marzo a mayo es 27.9°C, siendo el trimestre más cálido. El semestre de mayo a octubre corresponde a la época lluviosa y de noviembre a abril, a la época seca, con un patrón bimodal correspondiente a los dos máximos de lluvia en junio con 275 mm y septiembre con 354 mm, y con una sequía intraestival, referida localmente como canícula, en julio y agosto (Tabla 2.1).

Para 2075-2099 los aumentos de temperatura oscilarían entre 1.9 °C y 2.6 °C en RCP4.5, y entre 3.4 °C y 4.4 °C en RCP8.5. Se proyectan reducciones de precipitación de 6% a 50% en RCP4.5 y de 5% a 50% en RCP8.5 para todos los meses, a excepción de octubre, en el cual se proyectan incrementos de precipitación de 4% en RCP4.5 y de 10% en RCP8.5. Las mayores reducciones de precipitación ocurrirían en marzo (–50%), agosto (–19%) y julio (–15%) para el RCP4.5, y en marzo (–50%), julio (–27%) y agosto (–24%) para el RCP8.5 (Tabla 2.1).

En ambos RCP el patrón de comportamiento de la temperatura y precipitación medias mensuales se conservaría. Al igual que en el período de referencia, las mayores temperaturas medias mensuales ocurrirían en abril, con 31 °C y 32.8 °C, seguido de marzo, con 30.3 °C y 31.6 °C, y un pico alto en julio, con 29.8 °C y 31.6 °C, en RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente (Figura 2.2). El patrón bimodal de la época lluviosa se mantendría con reducciones en los dos picos máximos, en junio (–10% y –18%) y en septiembre (-8% y -12%), intensificándose la canícula en julio (–15% y –27%) y en agosto (–19% y –24%) para ambos RCP respectivamente (Figura 2.3).

2.3.2. Efectos del cambio climático futuro en el período de crecimiento de los cultivos

De acuerdo al patrón resultante de la combinación de las curvas de precipitación media mensual y del ciclo anual de ETP*0.5, el PC se tipifica como normal; y usando la intersección de ambas curvas se calculan las fechas de inicio y finalización, y la duración del PC (Tablas 2.2 y 2.3; Figuras 2.4, 2.5 y 2.6). Para el período de referencia 1961-1990, la fecha de inicio del PC es el 13 de abril y la de finalización el 26 de octubre, siendo la DPC de 193 días.

Los efectos del cambio climático en las fechas de inicio y finalización, y DPC para 2075-2099 y el RCP4.5 serían: un retardo de 7 días (20 de abril) en la fecha de inicio del PC y un adelanto de 3 días (23 de octubre) en la fecha de finalización del PC; siendo la DPC de 183 días, representando una reducción de 10 días respecto al período de referencia. Para el RCP8.5 habría un retardo de 11 días (24 de abril) en la fecha de inicio del PC y un adelanto de 3 días (23 de octubre) en la fecha de finalización del PC; siendo la DPC de 179 días, reduciéndose en 14 días respecto al período de referencia (Figuras 2.4, 2.5 y 2.6).

2.4. Discusión

El Salvador se caracteriza por tener una alta dependencia alimentaria del cultivo del maíz, el cual se cultiva mayoritariamente bajo condiciones de secano, es decir que depende del agua lluvia para su desarrollo (MINEC, 2009), de tal manera que las variaciones o los cambios en las variables climáticas provocan impactos importantes en la producción y rendimientos de este cultivo, especialmente por la prevalencia de una temporada lluviosa de tipo bimodal.

La producción de maíz en El Salvador se realiza en tres momentos clave que pueden variar de acuerdo con el establecimiento de la época lluviosa: (a) la siembra de primera que generalmente se realiza del 15 al 30 de mayo en la zona costera (0 a 400 msnm), y del 15 de mayo al 15 de junio en los valles intermedios (400 a 900 msnm); (b) la siembra de postrera o *tunalmil* del 15 al 31 de agosto, especialmente para valles intermedios (400 a 900 msnm) y la región oriental del país; y (c) la siembra de apante que se realiza entre diciembre y febrero en terrenos que permanecen inundados durante la época lluviosa y que guardan suficiente humedad para ser utilizada cuando finaliza la época lluviosa (CENTA, 2012).

Estudios realizados muestran que los efectos del cambio climático en 2020 y 2050 se traducirían en pérdidas superiores al 30% en la producción de maíz, debido por un lado al incremento de temperatura, especialmente la nocturna por encima de 18 °C, y a la reducción de la precipitación, y por otro, a la degradación de los suelos. Además la intensificación de las sequías afectaría la producción de biomasa y la fase reproductiva del maíz (Eitzinger *et al.*, 2012).

En el país el maíz posee buen desarrollo vegetativo y buenos rendimientos en el rango comprendido entre 0 a 900 msnm. La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales. En general, el cultivo necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo. Cuando hay estrés hídrico o sequía en las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido el cultivo, puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional, o estancar su crecimiento (CENTA, 2012).

En el caso de las variedades híbridas de maíz (H-59, Platino y Oro Blanco) la fase vegetativa oscila entre 110 y 120 días; mientras que para variedades de polinización libre (CENTA Pasaquina, CENTA Protemás y CENTA Dorado, entre otros), varía entre 90 y 95 días. Durante la fase vegetativa el maíz requiere de temperaturas entre 24 °C y 30 °C, observándose que arriba de 30 °C se producen problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces, de asimilación de nutrientes y retardo en el crecimiento (Fassio, 1998).

De acuerdo a los resultados derivados de los escenarios futuros de cambio climático en el área de estudio, el cultivo del maíz se vería sometido a una fuerte presión debido a la reducción de la DPC de los cultivos en 10 días para el RCP4.5 y de 14 días para el RCP8.5, como consecuencia del retraso en el inicio de lluvias en abril y adelanto de la salida de las mismas en octubre. A la vez, el comportamiento bimodal de la precipitación se mantendría en ambos RCP, con reducciones de las precipitaciones durante las canículas y los picos máximos de lluvia. De tal manera que en RCP4.5 se esperarían reducciones de lluvia de 8% a 19% entre junio y septiembre; y de 12% a 27% en RCP8.5 para el mismo período. Dicho conjunto de factores proyectados a futuro podría provocar reducción en los rendimientos del cultivo, lo cual conjugado con las restricciones vinculadas al acceso, uso potencial y competencia por la tierra, podría disminuir el nivel de producción del cultivo en el país.

Respecto al comportamiento de las temperaturas, los escenarios futuros proyectan que para el RCP4.5 en la siembra de primera éstas oscilarían entre 29.1 °C y 29.8 °C, mientras en la siembra de postrera la variación oscilaría entre 27.6 °C y 29.1 °C; lo cual implicaría un incremento de las restricciones del cultivo al acercarse las temperaturas a su máximo de tolerancia. Para el RCP8.5, se proyecta una situación más dramática, ya que para la siembra de primera se esperan temperaturas entre 30.7 °C y 31.6 °C, y para la siembra de postrera, entre 29.2 °C y 30.7 °C, las cuales están prácticamente en los límites máximos de tolerancia del cultivo.

Como resultado del incremento en las temperaturas se esperaría un doble impacto negativo en la producción de maíz. Por un lado, la reducción del potencial productivo del cultivo como consecuencia del efecto combinado de incremento de temperatura y reducción de precipitación, ya que con ambos RCP las condiciones se acercan a los límites de tolerancia del cultivo y por otro, una posible expansión de la producción a las zonas más altas y frágiles, y el consecuente impacto en el deterioro de los suelos de ladera y ecosistemas con la finalidad de cultivar en zonas con menores temperaturas ya que el país se experimenta en promedio una reducción de 1.3 °C por cada 200 metros de elevación (CENTA-MAG, 2002).

La situación anterior se agravaría debido a que al reducirse la DPC de los cultivos, de 10 y 14 días para los RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, se incrementaría el déficit hídrico en la época seca y en consecuencia se presentaría una marcada reducción en la producción de biomasa vegetal en los meses de febrero, marzo y abril; lo cual redundaría en un corto período de acumulación de

la misma, que a su vez provocaría un balance negativo de biomasa en gran parte del año, con la consecuente reducción de rendimientos debido a la baja infiltración del agua e incremento de la erosión; y las altas temperaturas en la superficie del suelo, aumentarían la evaporación del agua y reducirían la actividad biológica; se reduciría la disponibilidad de agua para los cultivos y recarga de los acuíferos y manantiales superficiales (Vieira, 2000).

A pesar de lo anterior, los estudios en la región centroamericana señalan que la aplicación de prácticas adecuadas de manejo de tierras posibilitaría hacer frente a la reducción de los rendimientos de maíz, de tal manera que la reducción de la producción se limitaría a lo sumo a un 2% (Eitzinger *et al.*, 2012).

2.5. Estrategias y medidas de adaptación al cambio climático

Estudios realizados (Eitzinger *et al.,* 2012) categorizan las zonas de impactos del cambio climático en: zonas críticas de alto riesgo, zonas de adaptación y zonas de presión. En ese marco, el área de estudio se ubicaría en una zona de adaptación, en la cual los sistemas productivos de maíz y frijol tienen capacidad adaptación, mediante la implementación de estrategias coordinadas para adaptar las fincas y los paisajes naturales por medio de la cooperación de los diversos actores relevantes y la articulación de estrategias y medidas de adaptación en múltiples niveles territoriales.

El conjunto de estrategias y medidas para propiciar la adaptación del maíz blanco al cambio climático deberá abordarse y aplicarse en varios niveles y ámbitos: (a) políticas públicas a todo nivel territorial, (b) instrumentos de política en aplicación de los compromisos multilaterales en materia de cambio climático, y (c) estrategias y medidas de iniciativas privadas a nivel local y de finca; tal como se ilustra de manera indicativa a continuación.

2.5.1. Políticas públicas a todo nivel territorial

- Implementación plena de la Ley de Ordenamiento y Desarrollo Territorial, vigente desde 2011, incorporando estrategias de adaptación idóneas, eficaces y oportunas, sustentadas en una zonificación agroclimática actualizada que considere la prevalencia de las dinámicas naturales sobre las actividades humanas, el uso potencial del suelo y las proyecciones e impactos futuros del cambio climático sobre los sistemas naturales, suelo, agua, sectores socioeconómicos, incluyendo el agropecuario, forestal, acuícola y pesquero.
- Redefinición de la política nacional agropecuaria en torno a los tres objetivos estratégicos siguientes: (i) soberanía y seguridad alimentaria y nutricional, (ii) economía agropecuaria

diversificada, plural y eficaz, equitativa y ambientalmente sustentable, y (iii) sistemas productivos agropecuarios adaptables a los cambios y variaciones del clima.

- Reconceptualización e implementación del Plan de Agricultura Familiar (PAF) en coherencia con una nueva política agropecuaria orientada hacia la soberanía y seguridad alimentaria y nutricional; priorizando la creación de un sector de economía solidaria y la adopción estrategias y medidas de adaptación al cambio climático, en el marco de la Estrategia Ambiental de Adaptación y Mitigación al cambio climático del sector agropecuario, forestal, acuícola y pesquero (EAMCC) vigente desde 2012.
- Definición, adopción e implementación de las políticas e instrumentos de política especializadas en coherencia con una nueva política nacional agropecuaria, como son: (i) política para el manejo de la agricultura de secano sustentada en el aprovechamiento del agua lluvia captada en el suelo para aumentar la producción de biomasa; (ii) política de agricultura sostenible y de agricultura orgánica; (iii) programa permanente de fomento de la agricultura de conservación para garantizar la agricultura sostenible mediante la perturbación mínima y cobertura permanente del suelo, y la rotación de cultivos diversos o intercalados (Benitez, 2014); y (iv) programa de restauración de suelos agrícolas que genere y procese datos para ofrecer y difundir información útil para tomadores de decisión, incluida la institucionalización paulatina de un servicio articulado al PAF y a la EAMCC.
- Rescate de especies nativas, como el amaranto (Amaranthus) y el ojushte (*Brosimum alicastrum*), de alto valor nutritivo, uso energético y maderable, y capacidad de adaptación.
- Fomento del uso de variedades de maíz tolerantes a condiciones climáticas adversas como CENTA Pasaquina, CENTA Santa Rosa, entre otras.
- Fortalecer los servicios de investigación y extensión para conformar un sistema de innovación tecnológica que ofrezca opciones idóneas para la adaptación al cambio climático; y respuestas a los retos en materia de competitividad ante las nuevas demandas.

2.5.2. Instrumentos de política en aplicación de compromisos multilaterales de cambio climático

- Actualización de la EAMCC, a fin de incorporar la evaluación del cambio climático y sus impactos actuales y futuros en los sistemas naturales y agropecuarios, biodiversidad, rubros y actores relevantes por subsector, incluidos los pequeños productores de granos básicos. Las medidas de adaptación agropecuarias que se adopten deberán sustentarse en los hallazgos de la evaluación del cambio climático, cuya idoneidad y eficacia deberán medirse, verificarse y notificarse periódicamente en el marco de las obligaciones derivadas del Acuerdo de París.
- Incorporación en la Primera Contribución Nacional (NDC) al Acuerdo de París de un componente de adaptación, que incluya estrategias y medidas de adaptación para los rubros, subsectores

agropecuarios, productores y comunidades rurales vulnerables, incluidos el maíz, frijol, maicillo, legumbres y hortalizas.

- Desarrollo del Plan Nacional de Adaptación en cumplimiento al Acuerdo de París, incluido un componente agropecuario, que se articule al PAF y a la EAMCC, dotado de un sistema de medición, notificación y verificación que sustente los informes bienales oficiales de la NDC.
- Desarrollo de programas de formación, investigación, capacitación e intercambio de experiencias, en los aspectos científicos y técnico-metodológicos para la evaluación de los impactos del cambio climático en los rubros y subsectores agropecuarios vulnerables.
- Desarrollo de programas de innovación, desarrollo y transferencia de tecnologías para la adaptación a los impactos del cambio climático en los rubros y subsectores agropecuarios vulnerables a la variabilidad y cambios del clima, incluyendo granos básicos como el maíz.
- Desarrollo de programas de fomento de inversiones para el manejo sostenible de los nutrientes del suelo y plantas, adopción de mecanismos de acopio de agua e introducción de nuevas variedades de maíz y fríjol tolerantes al estrés calórico (Eitzinger *et al*., 2012).
- Desarrollo de programas de fomento de sistemas combinados de agroforestería y diversificación productiva, como en el caso de las fincas de café de bajío.

2.5.3. Estrategias y medidas de iniciativas privadas a nivel local y de finca

- Adopción de buenas prácticas de manejo de suelos y de sistemas de cosecha de agua para riego suplementario, para minimizar el riesgo de pérdidas de cultivos provocado por sequías cortas, severas e inesperadas (Rockstro, 2014).
- Implementación de prácticas de manejo integrado de la fertilidad del suelo, orientadas a conservar o restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incluidas las tecnologías y prácticas basadas en la naturaleza o biomímesis.
- Adopción de tecnologías para la captación de agua lluvia para alimentar pequeños sistemas de riego por goteo a campo abierto e hidroponía.
- Cambio hacia variedades híbridas no convencionales de maíz, más resistentes a zonas de humedad limitada, o a líneas de maíz tolerantes a factores bióticos y abióticos
- Adopción de sistemas de producción en asocios, relevos y rotaciones para mejorar su resiliencia mediante el uso de variedades resistentes y tolerantes a humedad limitada y a altas temperaturas, como el frijol CENTA Pipil o CENTA Costeño u otras variedades de sorgo.
- Diversificación productiva incorporando cultivos con buenos precios y demanda, como el chile dulce, el cual aumentaría su aptitud un 25% debido al cambio climático; combinada con agroforestería, mediante frutales como mango, aguacate, naranja, cacao, con manejo agronómico mejorado (Läderach, 2012).
- Adopción de las mejores prácticas de manejo agronómico de la agricultura de conservación: eliminación de la quema de residuos para conservar la fertilidad del suelo; manejo de coberturas

vegetales, como rastrojos de cosecha, para conservar la humedad del suelo, y laboreo mínimo del suelo o siembra directa; y uso de abonos verdes.

- Adopción de biofertilizantes, como hongos micorrízicos arbusculares para mejorar la calidad del suelo; uso de ambientes protegidos para hortalizas; generación u obtención de materiales genéticos de cultivos adaptados a altas temperaturas y limitaciones de humedad; control de erosión y reducción de escorrentía con prácticas y obras de conservación de suelos; permacultura y conservación de ecosistemas y biodiversidad.

2.6. Conclusiones

El cambio climático proyectado tendría efectos e impactos biofísicos adversos sobre el maíz en el futuro lejano, ya que los aumentos de las temperaturas y las reducciones de las lluvias aumentarían la temperatura del suelo, reducirían su humedad, aumentarían la evaporación del agua y reducirían la actividad biológica. El volumen de biomasa vegetal y su acumulación se verían a su vez reducidos, generándose un déficit en gran parte del año, el cual además de disminuir el rendimiento del cultivo reduciría la disponibilidad de agua para los cultivos y para la recarga de los acuíferos y manantiales superficiales. La reducción de la DPC de los cultivos debido al retardo en el inicio y adelanto en la finalización del PC, afectaría al ciclo de desarrollo del maíz, tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva, afectando su rendimiento.

La conjugación de impactos adversos biofísicos con factores socioeconómicos, tales como el nivel de acceso, uso potencial y competencia por el uso de la tierra, restringirían el potencial de adaptación, exacerbando los impactos del cambio climático, reduciendo la producción, aumentando la inseguridad alimentaria y acelerando el proceso de abandono de la agricultura. Sin embargo, la adopción e implementación de estrategias y medidas de adaptación idóneas, eficaces y oportunas, tanto en el ámbito público como privado y a todo nivel territorial, las cuales se sustenten en las manifestaciones e impactos del cambio climático y se articulen sinérgicamente en el marco de los compromisos del Estado derivados del Acuerdo de París; podría viabilizar el potencial de adaptación del maíz en algunas zonas, incluida el área de estudio.

2.7. Referencias

Benitez, J. R. (2014). *Agricultura de Conservación: una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales*. Lima, Agrosaber.

CENTA (2012). *Guía Técnica: el cultivo del maíz*. San Andrés, El Salvador.

CENTA-MAG (2002). *Guía para la planificación integral de fincas*. San Andrés, El Salvador.

Eitzinger, A., Läderach, P. Sonder, K., Schmidt, A., Sain, G., Beebe, S., Rodríguez, B., Fisher, M., Hicks, P., Navarrete-Frías, C. y Nowak, A. (2012). *Tortillas en el comal: Los sistemas de maíz y frijol de América Central y el cambio climático.* CIAT. Cali.

Fassio, A., Carriquiry, A.I., Tojo, C. y Romero, R. (1997). *Maíz: aspectos sobre fenología.* Serie Técnica No 101. INIA, Montevideo.

Fernández, A., Hidalgo, J., Romero, R., Conde, A.C. y Trejo, R.I. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica.* Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, México.

Läderach, P. (2012). *Escenarios del Impacto del Clima Futuro en Áreas de Cultivo de Café en El Salvador.* Grupo Decisión y Análisis de Política del CIAT. Cali y Managua.

MINEC (2009). IV Censo Agropecuario 2007-2008. Resultados nacionales. San Salvador.

Rockstro, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis T., Bruggeman, A., Farahani, J. y Qiang, Z. (2014). Manejo del agua en agricultura de secano. La necesidad de un cambio de paradigma. Artículo presentado en la Conferencia Internacional Revitalizando inversiones en la agricultura de secano en Centroamérica, San Salvador, El Salvador.

Vieira, M. J. (2000). *Manejo Integrado de Tierras: un enfoque para producir y conservar.* Documento de Campo No. 26, Proyecto CENTA-FAO, San Salvador.

CAPÍTULO 3

Índice de vulnerabilidad al cambio climático en el sector hídrico a nivel comunitario en Honduras

Mirza Castro Martin[1], Tania Peña Paz[1]

[1] Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, C.A., Honduras, mosiriscastro@gmail.com, tmpenapaz@gmail.com

Resumen

El artículo se basa en un estudio del índice integrado de vulnerabilidad al cambio climático en la unidad hidrogeológica del cerro de Hula, la cual ha sido seleccionada bajo el criterio de delimitar la fuente de abastecimiento de agua de 23 comunidades. Estas comunidades presentan problemas en la calidad del agua por las concentraciones de hierro y manganeso encontradas en el área de estudio, siendo un reto para las autoridades locales, suplir la demanda creciente de agua, tanto en calidad como en cantidad sobre todo para consumo humano y sus diferentes usos. Se realizó el censo y diagnóstico de las zonas de aprovechamiento hídrico, todas las actividades incluyendo la validación y socialización se realizaron de forma conjunta con las 23 juntas de agua, a quienes se les brindó capacitación e instalación de equipo de monitoreo del recurso hídrico. Los resultados del índice integrado de vulnerabilidad en las 23 comunidades, muestran que más del 50% incrementarán su vulnerabilidad, pero las comunidades que están ejerciendo una buena gobernanza de sus recursos hídricos y que muestran un índice medio de capacidad adaptativa, no aumentará su vulnerabilidad para el año 2030.

Palabras clave: Capacidad adaptativa, Comunitario, Exposición, Índice de vulnerabilidad, Recursos hídricos, sensibilidad.

Abstract

This chapter is based on a study of the integrated vulnerability index to climate change in the hydrogeological unit of the Hula hillslope, which has been selected under the criterion of delineating the source area of water supply of 23 communities. These communities present problems in water quality due to the concentrations of iron and manganese found in the study area. It is a challenge for local

authorities to supply the growing demand for water, both in amount and quality, especially for human consumption and their different uses. The census and diagnosis of water use zones were carried out. All activities, including validation and socialization, were carried out jointly with the 23 water-management boards, which were trained and also monitoring systems water resources were installed. The results of the integrated vulnerability index shown that more than 50% of the 23 communities will increase their vulnerability, but communities that are doing good governance actions of their water resources and showing an adaptive capacity index at medium level will not increase their vulnerability to the 2030 year.

Keywords: Adaptive capacity, Community, Exposure, Vulnerability index, Water resources, sensitivity.

3.1. Introducción

El Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (IHCIT/UNAH), realizó un estudio del índice de vulnerabilidad al cambio climático, para 23 comunidades de 3 municipios (Santa Ana, Ojojona y San Buenaventura) del departamento de Francisco Morazán, que conforman la unidad hidrogeológica del cerro de Hula, la cual ha sido seleccionada bajo el criterio de delimitar la fuente de abastecimiento de agua de las comunidades. Dicho estudio es parte de los productos del Proyecto del Fondo de Adaptación: "Enfrentando riesgos climáticos en recursos hídricos en Honduras: incrementando resiliencia y disminuyendo vulnerabilidades en comunidades urbanas pobres", ejecutado por la Secretaria de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MiAmbiente), en acuerdo con la UNAH.

Una investigación previa, realizada en la zona de estudio por el IHCIT, determinó la existencia de riesgos por toxicidad a la salud humana en el agua, por las concentraciones de hierro y manganeso encontradas en el área de estudio, que es a su vez afectada por otros factores de presión como lo son la deforestación, la agricultura migratoria, el uso de leña y la urbanización de las cuencas, que impermeabilizan grandes porciones de suelo y restringen infiltración del agua al subsuelo.

El agua subterránea, ha venido a ser en los últimos años para nuestras ciudades, el medio para resolver este problema de abastecimiento de agua, la evidencia de esto es la estimación de más de 1,000 pozos en la ciudad de Tegucigalpa y Comayagüela y los innumerables manantiales en las partes altas de la cuenca, que son utilizados por las comunidades que se asientan alrededor de estas. Es un reto para las autoridades locales suplir la demanda creciente de agua, para sus diferentes usos; por lo cual los gobiernos locales deben establecer una mejor gobernabilidad y ordenamiento de la tierra, que asegure el aprovechamiento sostenible del mismo. Conocer la vulnerabilidad actual y los posibles escenarios ante el cambio climático que tendrán estas comunidades en relación al

uso del agua, son la clave para poder ejercer una gobernabilidad y gobernanza del recurso hídrico y así priorizar según estas vulnerabilidades las medidas de adaptación adecuadas para asegurar la disponibilidad y la calidad del agua actual y a futuro.

Este estudio comienza a realizarse a inicios del 2015 y finaliza en junio del 2016, lo que llevó un trabajo de campo muy específico tanto en la realización de los estudios técnicos (geología, hidrogeología, infiltración etc), así como obtener la información de las comunidades necesaria para las variables de los índices, por lo que tuvo que realizarse un curso de entrenamiento dirigido a las juntas de agua y las unidades ambientales municipales (UMAS), fortaleciendo sus capacidades y así mismo poder obtener la información requerida. Se empezó también un proceso de gestión de conocimiento con las comunidades a través de la instalación de instrumentos de medición: pluviómetros, vertederos y el desarrollado de medidas de adaptación específicas para cada comunidad involucrada en el estudio.

Las actividades de levantamiento de la información a través de encuestas a los miembros de las comunidades, específicamente para el índice de capacidad de adaptación, fueron realizados y apoyadas por un grupo de estudiantes de último año de las carreras de biología, medicina, ingeniería civil e ingeniería química quienes recibieron capacitación en el tema de cambio climático, gestión de riesgos y recursos hídricos, con énfasis en adaptación al cambio climático.

La investigación se orientó a poder evaluar el índice de vulnerabilidad actual al cambio climático que contenga la exposición, sensibilidad y la capacidad de adaptación en las 23 comunidades hídricas, así como evaluar el índice de vulnerabilidad futura al cambio climático con el modelo CCSM4 para el año 2030 para estas mismas comunidades. Teniendo como limitantes: el tiempo (que para algunas de las variables como la hidroquímica solo se tiene datos del 2015), la disponibilidad de datos e información a nivel comunitario, ya que la mayoría de las estadísticas del país están desagregadas por municipio, y por área rural y urbana en general, así como los recursos financieros también fueron una limitante, por lo que se tuvo que restringir el número de encuestas para el índice de la capacidad de adaptación que requerían mayor logística, así como realizar pruebas físicas y químicas más detalladas en algunas de las variables de sensibilidad, sobre todo de la presencia de metales pesados en agua.

3.2. Metodología

3.2.1. Identificación y selección de la población de estudio

Se hizo el censo de las zonas de aprovechamiento hídrico en el área de estudio, de las cuales se incluyeron 23 zonas de aprovechamiento, en tres municipios del Distrito Central: 3 zonas que

pertenecen a Ojojona, 6 a San Buenaventura y 14 a Santa Ana. Cabe mencionar que se escogieron estas juntas, en función de la localización, por su accesibilidad, por atender a la convocatoria y por su representatividad municipal (Figura 3.1).

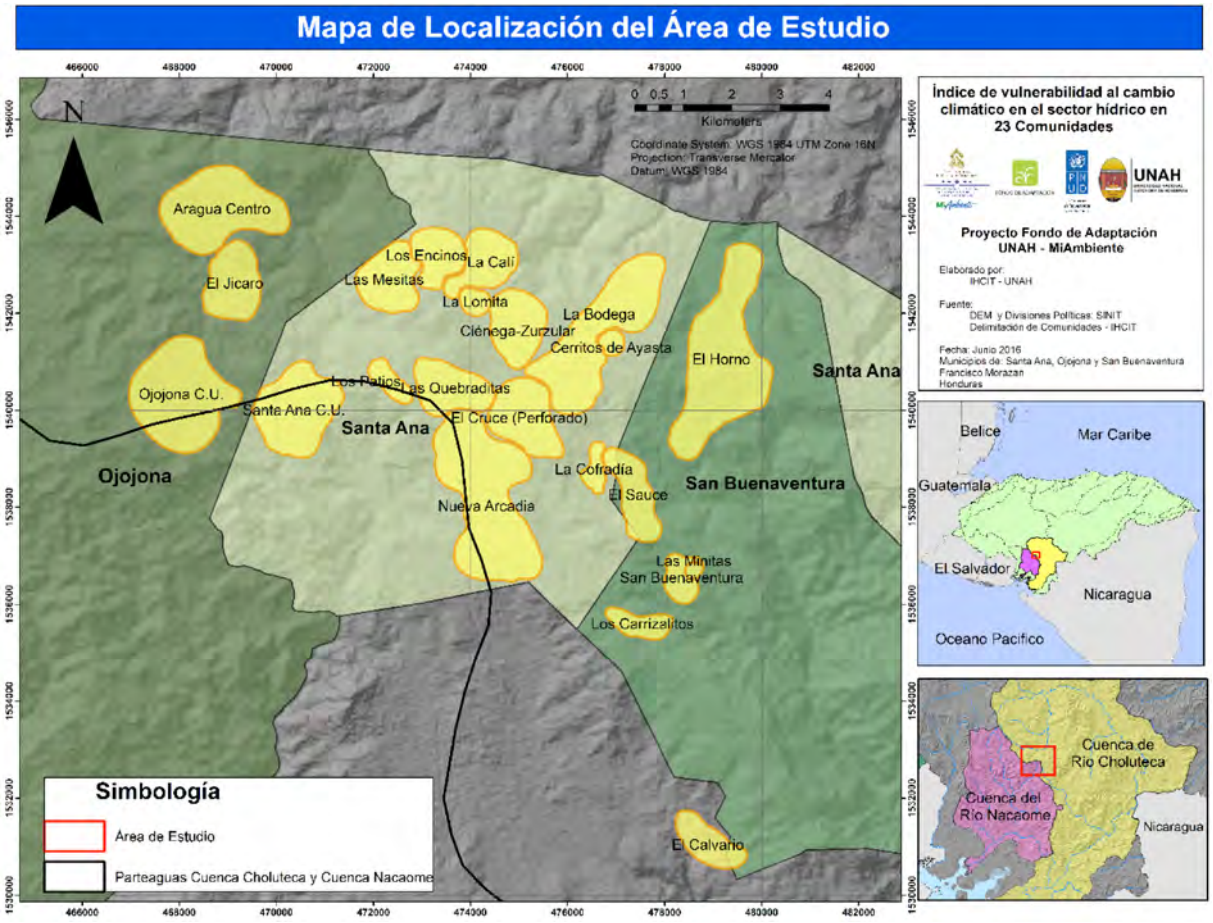

Figura 3.1. Área de estudio (IHCIT-UNAH, 2016).

3.2.2. Selección de la muestra

La selección de la muestra para las comunidades resultó bastante compleja, debido a la heterogeneidad de las poblaciones, que van desde 1000 abonados en los cascos urbanos de Santa Ana y Ojojona hasta 9 abonados en otras comunidades pequeñas como La lomita y El Jícaro. Por lo cual se utilizó un nivel de confianza de 85% como el ideal de la muestra por cada comunidad, y teniendo en cuenta también el aspecto social-cultural de la encuesta, la dinámica laboral del área, la dispersión de las casas y la poca o nula información catastral del área, es por eso que el error esperado es del 15%.

3.3. Datos primarios

3.3.1. Diagnóstico por cada comunidad

Se elaboraron diagnósticos en campos, con apoyo de las juntas de agua de las 23 comunidades hídricas, donde se levantó un expediente por junta con todos los datos necesarios, sobre todo para el índice de sensibilidad.

3.3.2. Encuesta general

Los datos para elaborar los índices, principalmente el de capacidad de adaptación, se obtuvieron a través de encuestas en las comunidades, con una población de 4,094 abonados, con un nivel de confianza del 85%, se determinó la muestra para cada una de las 23 comunidades, que asciende a un total de 1,260 encuestas.

3.4. Índice de vulnerabilidad

Para la estimación del índice integrado de vulnerabilidad de las 23 comunidades hídricas, se consideraron indicadores que reflejan el grado de exposición al clima y al cambio climático de las zonas de aprovechamiento hídrico, indicadores de sensibilidad de la población y las juntas de agua, así como indicadores que muestran su capacidad adaptativa. Se buscó que la evaluación integre indicadores representativos de las condiciones sociales, biofísicas, económicas e históricas de estas comunidades en estudio con respecto al recurso hídrico y su aprovechamiento.

El Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC) que se desarrolla para las comunidades está compuesto por tres dimensiones que, a su vez, son índices de riesgo diferenciados de la siguiente manera: Índice de exposición (50%), índice de sensibilidad (25%) e índice de capacidad adaptativa (25%), considerando la siguiente expresión Vulnerabilidad = (exposición + sensibilidad) – capacidad adaptativa.

3.5. Índice de exposición

La exposición se refiere al grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis. Puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas o bien por cambios en la variabilidad climática, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos (Monterroso *et al*., 2015).

En el presente estudio se consideraron 16 variables en cuatro grupos de indicadores a escala comunitaria:

1. Fenómenos extremos: Inundaciones, sequía, deslizamientos, lluvia intensa, temperaturas máximas y sus frecuencias en la zona
2. Amenazas antropogénicas: Incendios, uso del suelo, torres de generación de energía eólica, resineras, cruce de carreteras primarias y secundarias y desechos sólidos en zonas recreativas.
3. Climatología: Precipitación y temperatura promedio anual.
4. Concentración de metales pesados en el agua: Hierro, plomo y manganeso para ambas épocas: seca y lluviosa.

3.6. Índice de sensibilidad

La sensibilidad es la medida de la susceptibilidad de la población a los impactos del cambio climático (un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio, interno, externo o un grupo de ellos), la cual es una función de las circunstancias físicas, sociales y de medios de subsistencia actuales de esa población y para los fines del estudio se toman los aspectos relacionados al agua, tanto en calidad como en cantidad así como las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno.

Dentro del índice de sensibilidad se consideraron 16 variables distribuidas en 5 grupos:

1. Población: Índice de pobreza a nivel municipal y población en actividades primarias
2. Salud: Porcentaje de adultos mayores (65 años), niños menores (5 años), personas con capacidades especiales, acceso a centros de salud dentro de la comunidad.
3. Gestión del agua: Tipo de acuífero en función de la recarga, porcentaje de almacenamiento, infraestructura de aprovechamiento y distribución, tratamiento del agua, obras de abastecimiento dentro del área de recarga y tarifa.
4. Fragilidad del acuífero a la contaminación
5. Gobernanza del agua: Junta de agua legalizada y activa, uso del suelo en el área de recarga (tenencia de la tierra) y porcentaje de área total en función del área de recarga.

3.7. Índice de capacidad adaptativa

Se refiere a la capacidad de un sistema de enfrentar los efectos del cambio climático, al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su capacidad de modificar sus características o comportamientos

para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio (Monterroso *et al.,* 2015).

Para los objetivos del estudio, se consideraron 18 variables en 4 componentes:

1. Capital humano: se evalúan las condiciones de vida de las personas como una medida de capacidad para hacer frente a vulnerabilidades. Como ser las personas que saben leer y escribir, grado de escolaridad, porcentaje de personas capacitadas en el manejo y uso del agua.
2. Capital social: se representa en porcentaje de familias con acceso al agua, familias con energía eléctrica, con eco-fogones, con telefonía, medios de comunicación y familias con títulos de propiedad de sus viviendas.
3. Capital financiero: Proveen información general de la situación económica. Porcentaje de familias que reciben remesas del extranjero, familias con apoyo del gobierno (bono solidario), ingreso mensual por familia, asociados a cooperativas de ahorro y crédito a nivel local.
4. Capital natural: Es una medida del grado de riqueza de ecosistemas y sus funciones, así como de las acciones para incrementar su superficie. Se incluyeron tres indicadores: superficie con bosques y/o selvas, superficie reforestada y recarga de acuíferos.

Para poder determinar los 4 componentes, se realizó una encuesta en las comunidades, la cual se preparó para poder obtener los datos necesarios, se seleccionaron las variables, se dieron los valores en porcentaje a cada una de las variables en las 23 comunidades. Según juicio de experto, se procedió a dar un peso a los componentes de forma individual, considerando que el mayor valor de la capacidad adaptativa es 1.

3.8. Escenarios climáticos futuros

El análisis de las temperaturas y precipitación se realizaron con datos del modelo de proyección Weather Research and Forecasting (WRF) es una nueva generación de modelos regionales de predicción del sistema climático, los datos se obtuvieron para las décadas de 2011-2020, 2060-2070 y para el año 2030. Para determinar la variación en las temperaturas se utilizaron los valores promedios anuales, haciendo una comparación porcentual de la época presente respecto (2011-2020) al 2030 y respecto a la década 2060-2070. Para determinar la variación de las precipitaciones se utilizaron los valores totales anuales, haciendo una comparación porcentual de la época presente respecto (2011-2020) al 2030 y respecto a la década 2060-2070.

3.9. Resultados

3. 9.1. Índice de exposición

Los resultados del índice de exposición para las 23 comunidades del área de estudio, indican que están más expuestas a los aspectos climatológicos y a la variabilidad climática (Figura 3.2), las amenazas naturales existentes en la zona afectan al 87% de las comunidades, y las amenazas antropogénicas son más dispersas ya que dependen de las particularidades de cada comunidad, la concentración de metales pesados (hierro, manganeso y plomo) en el agua de consumo humano representa una de las amenazas más significativas para la salud de la población, ya que en un 52% de las comunidades las concentraciones sobrepasan los valores máximos permisibles según la norma técnica nacional para la calidad del agua potable de Honduras. Hay comunidades como La Bodega y Santa Ana que tienen los valores más altos en hierro, excediendo los 5mg/l.

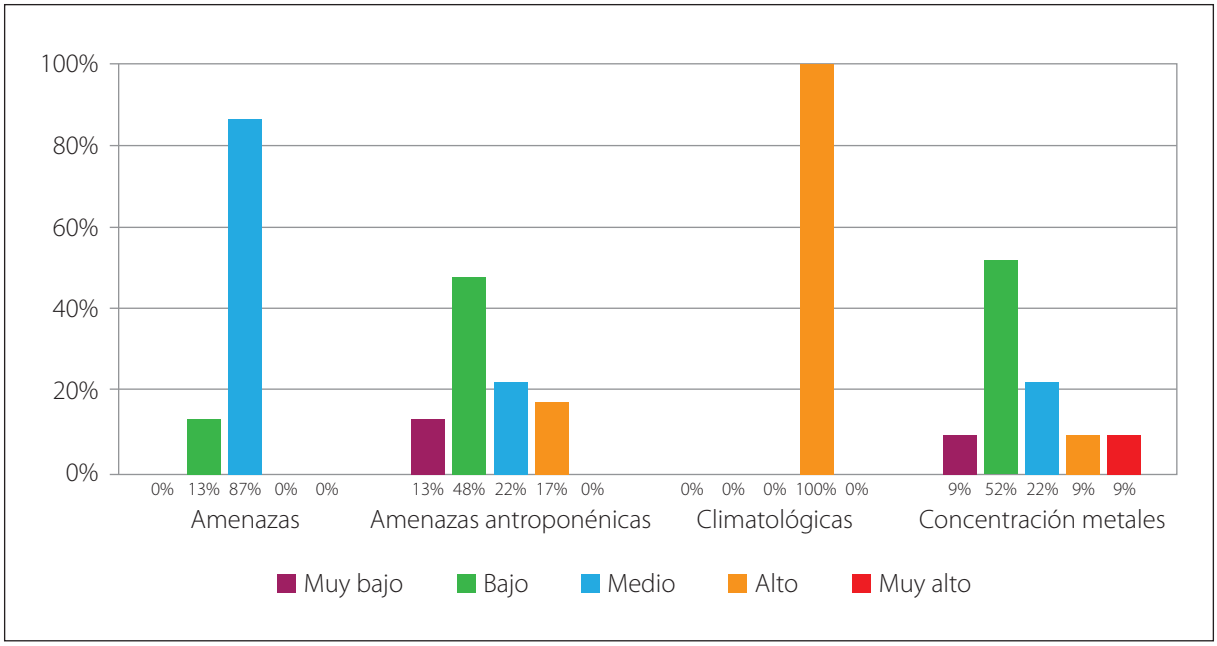

Figura 3.2. Índice de exposición años base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016).

3.9.2. Índice de sensibilidad

Los resultados del índice integrado de la sensibilidad en las 23 comunidades del estudio (Figura 3.3), se ve incrementada por la débil gobernanza del agua, la vulnerabilidad intrínseca del medio y la gestión del agua, que en su mayoría corresponden a valores de sensibilidad medio para más del 50% de las comunidades, importante destacar que la gobernanza del agua es la que da valores altos de más del 20%. La población en general y la sensibilidad por salud se mantienen en valores medios a bajos.

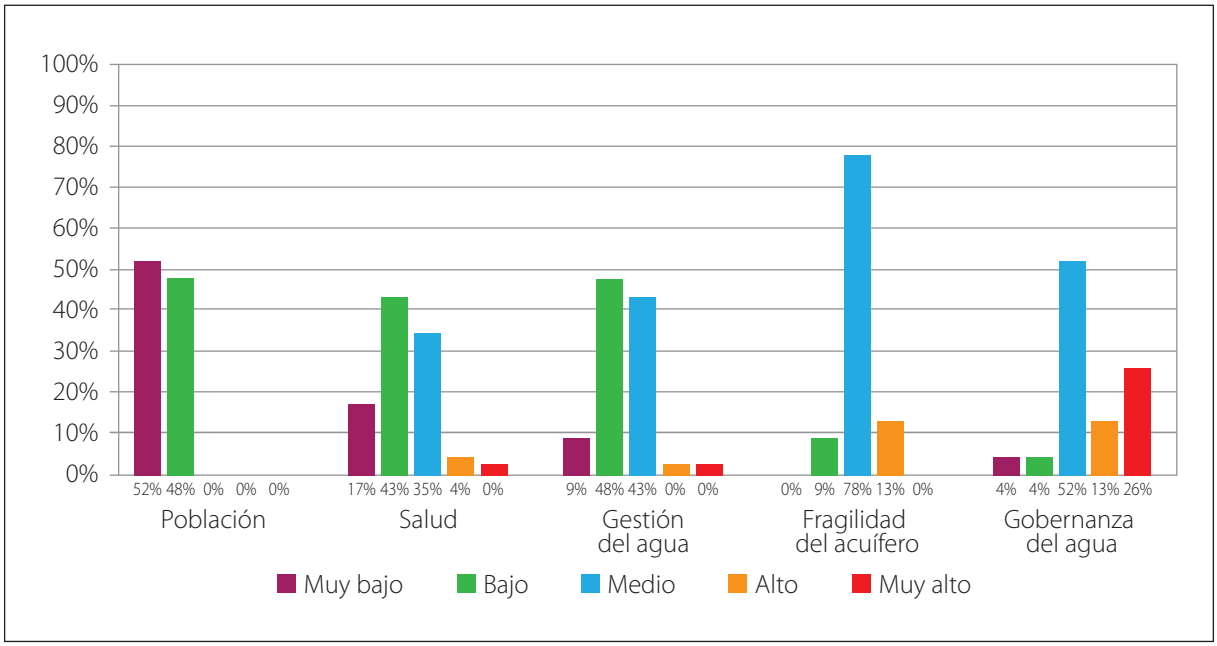

Figura 3.3. Índice de sensibilidad escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016).

3.9.3. Índice de capacidad adaptativa

Los resultados del índice de la capacidad adaptativa en las 23 comunidades (Figura 3.4), nos muestran que el capital social y humano son los más altos, sin embargo el capital financiero es muy bajo en más del 74% de las comunidades y el capital natural es bajo, representado por el 57% de las comunidades y medio para el 35%.

3.9.4. Índice integrado de vulnerabilidad al cambio climático, escenario base 2015

El índice integrado de vulnerabilidad para el escenario base 2015, presenta que solo tres comunidades hídricas (Santa Ana, Los Patios, El Cruce) resultan con vulnerabilidad alta, y las demás con vulnerabilidad media (Figura 3.5), las tres comunidades con vulnerabilidad alta presentan diversas amenazas, altas concentraciones de metales en el agua, débil gobernanza y gestión del agua, así como capitales humanos y financieros muy débiles.

Comunidades como Aragua, Nueva Arcadia, El Horno, La Ciénega, a pesar de presentar un índice de vulnerabilidad medio, presentan también una sensibilidad media ante la gestión y gobernanza del agua, así como capitales financieros y naturales bajos.

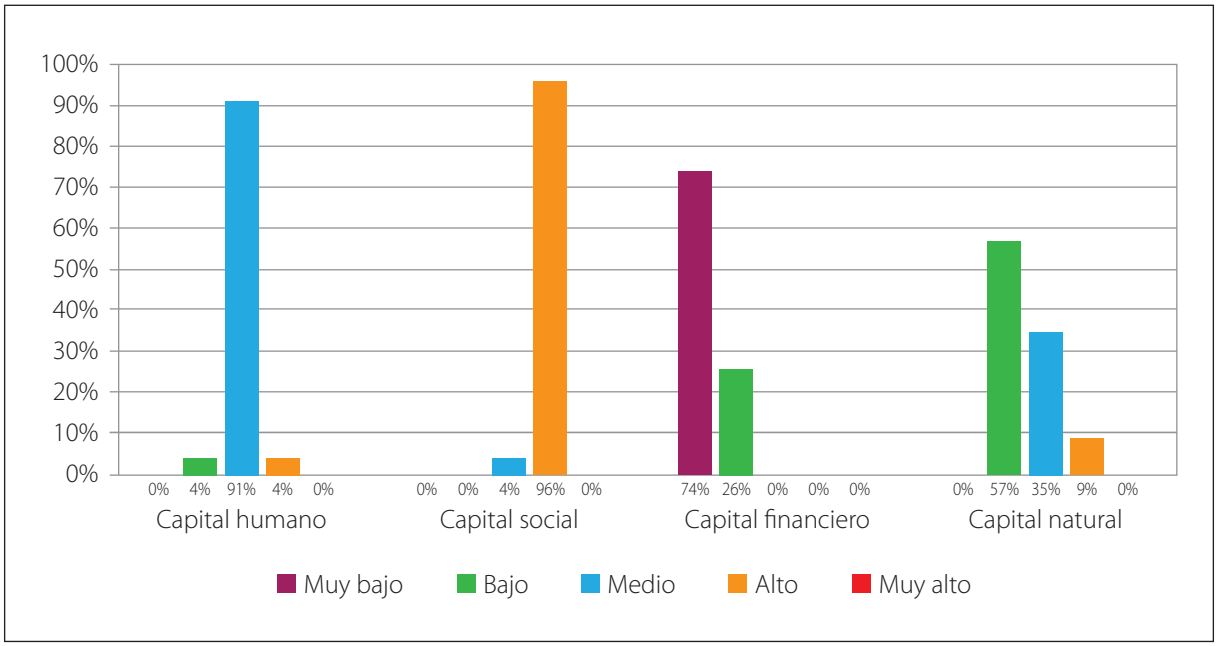

Figura 3.4. Índice de capacidad adaptativa, escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016).

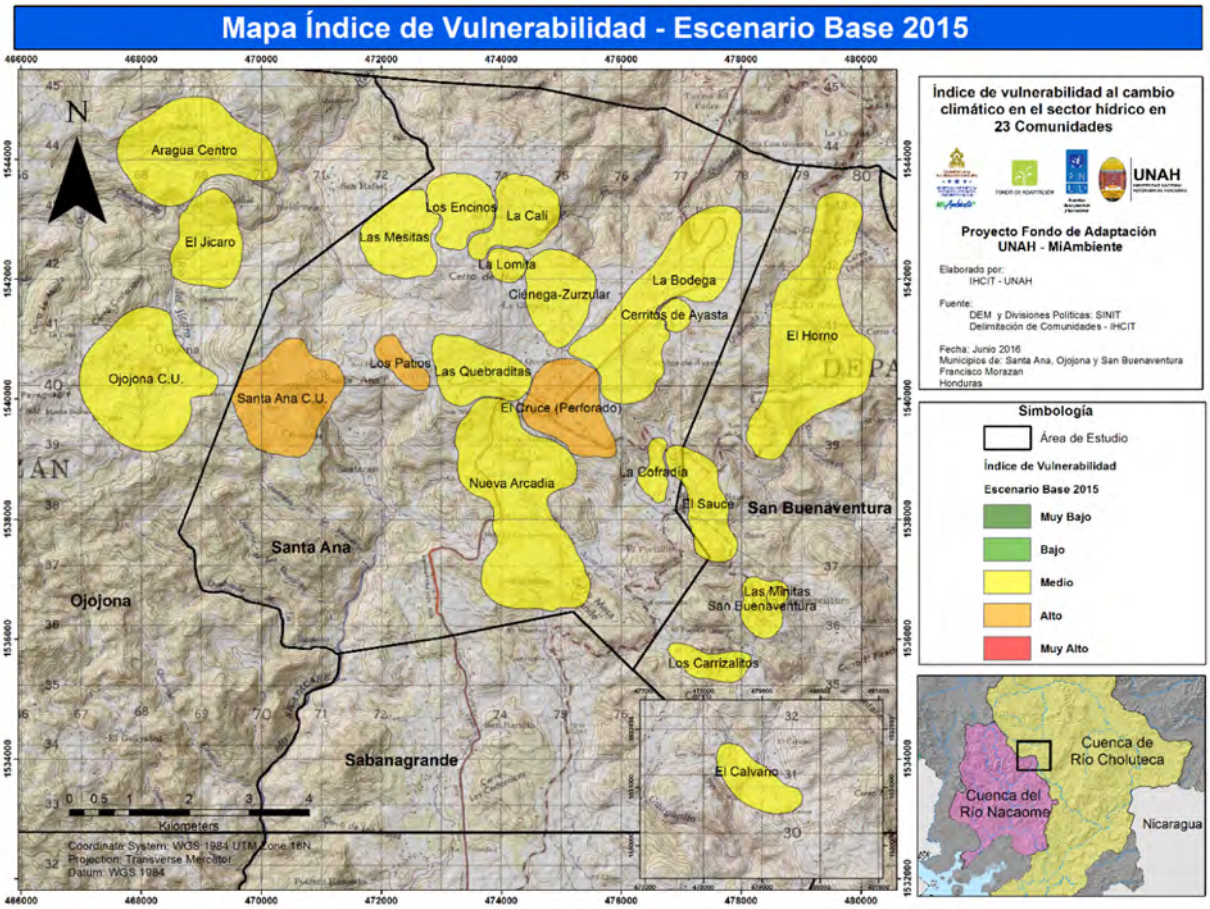

Figura 3.5. Índice de vulnerabilidad al cambio climático, escenario base 2015 (IHCIT-UNAH, 2016).

3.9.5. Índice de vulnerabilidad al cambio climático, escenario futuro 2030

La vulnerabilidad total para el escenario 2030, aumenta del 13% al 40% en comunidades hídricas con vulnerabilidad alta, y las demás con vulnerabilidad media (Figura 3.6), este cambio representa una mayor exposición y sensibilidad de estas comunidades, lo cual las hace más vulnerables para el escenario futuro del 2030. Sin embargo es de hacer notar que comunidades como la Bodega, El Jícaro, Los Encinos, Las Mesitas y La Cali, que a pesar de tener una exposición alta, no solo por la parte climática sino también por presentar altas concentraciones de metales en el agua, su sensibilidad es baja, debido a los procesos de gobernanza del agua que estas desarrollan, su fuerte gestión y su capital social.

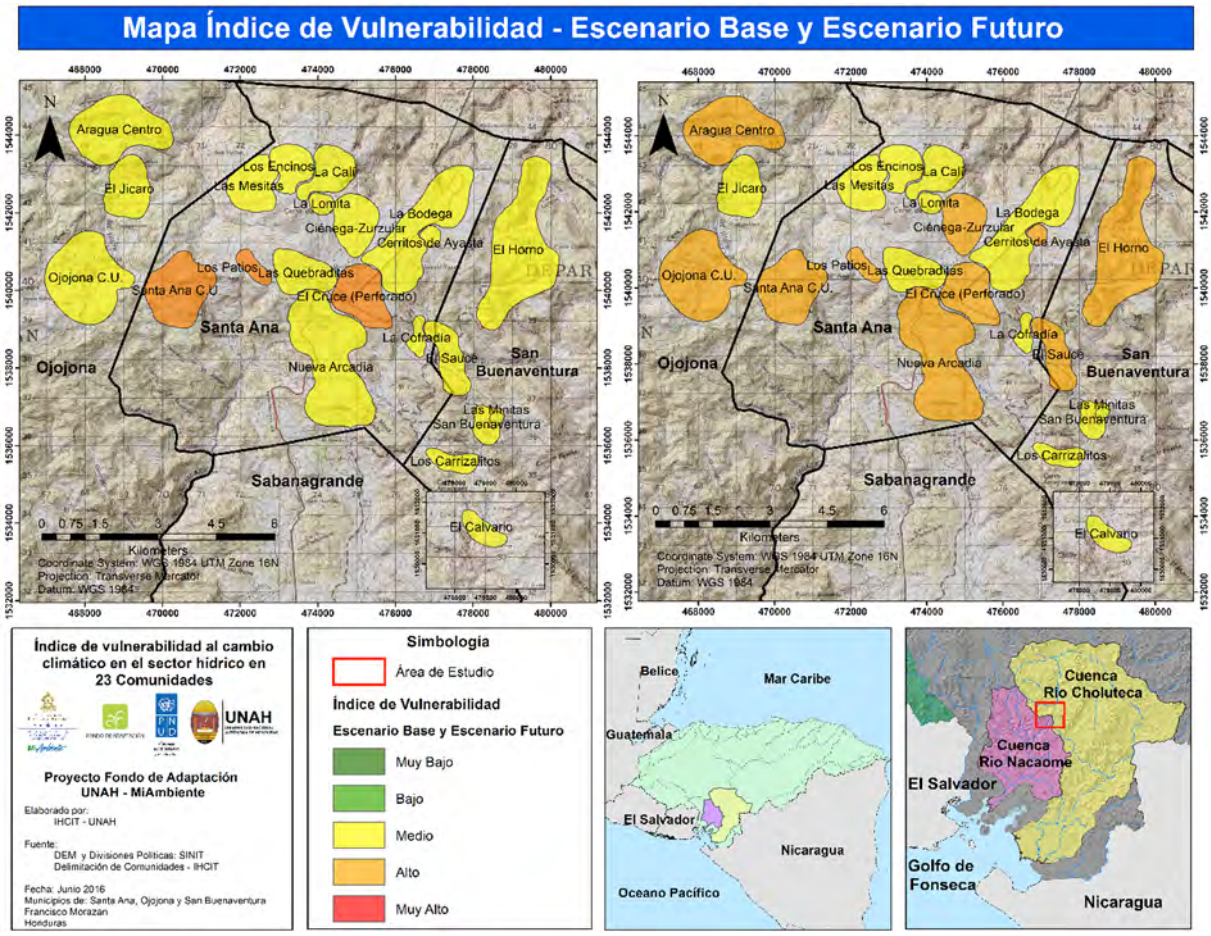

Figura 3.6. Comparación del escenario 2015 y 2030 para el índice de vulnerabilidad (IHCIT-UNAH, 2016).

3.10. Discusión

La metodología que se utilizó para el desarrollo de este estudio tomó como base la combinación de los conceptos del IPCC y de metodologías empleadas por el INECC en México, para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático, sin embargo se hizo una adaptación de la misma sobre todo en el componente de sensibilidad ya que el estudio está enfocado a la temática hídrica tanto superficial como subterránea, así mismo destacar que se hizo una consulta sobre los componentes del mismo y sus variables a expertos en el sector, sin embargo merece una valoración sobre todo en la ponderación de estas variables y la selección de las mismas, que fueron tomadas de acuerdo a la disponibilidad de información y a las principales características de las comunidades en cuanto a la gestión del agua. Así mismo algunas de las variables utilizadas (sobre todo las climáticas, escenarios, PIB, población) son de tamaño municipal y el estudio se realizó a nivel comunitario.

El índice de capacidad de adaptación también debe recoger información sobre la capacidad de respuesta a las amenazas de éstas comunidades, el capital social y humano, a criterio de los investigadores debe considerar ciertas particularidades sociales-culturales de cada sitio, para poder definir esa capacidad instalada en las comunidades y que responden a estas amenazas en su día a día.

El índice de exposición debe también valorarse por otros modelos de circulación que pueden ajustarse de mejor forma a las condiciones climáticas reales del área, así mismo tener un modelo hidrológico e hidrogeológico que pueda definir mejor ese grado de exposición a las variaciones climáticas y al cambio climático; además de poder ver las dinámicas hidroquímicas de los metales estudiados.

En general el índice integrado de vulnerabilidad, representa mejor la vulnerabilidad real y actual que viven estas comunidades, ya que en reuniones con estas se comentaban entre sus representantes, lo vulnerables que son al cambio climático, las diferentes amenazas que viven y la debilidad de sus infraestructuras hídricas. Además este índice evidencia mejor cuales son las medidas de adaptación a emplear en el corto, mediano y largo plazo, que no necesariamente son las mismas para todas las comunidades; a pesar de estar en la misma zona geográfica y de ser pequeñas comunidades vecinas.

3.11. Conclusión

La alta exposición ante las amenazas de la variabilidad climática en las 23 comunidades hídricas, es una evidencia de las amenazas que se tienen a nivel nacional, específicamente en el sector hídrico.

Es evidente que a una mayor exposición (por efecto del cambio climático) aumente la vulnerabilidad futura, sin embargo deja en omisión la exposición que tendría para este caso los cambios en la hidrogeoquímica del área, por lo que se supone una mayor exposición.

El índice de sensibilidad demuestra, que a pesar de estar en una zona de recarga, con acceso directo a las fuentes de agua, la débil gestión y gobernanza del agua, hace que la disponibilidad del recurso disminuya y sumado a esto no poder resolver el tema de la calidad del agua. Concluyendo que el problema de la sensibilidad no es la disponibilidad del agua es la gestión.

Los capitales humanos y sociales son imprescindibles para poder enfrentar los impactos de las amenazas climáticas y del cambio climático, sin embargo la gestión financiera es de suma importancia para poder aumentar esta capacidad de adaptación que fortalecerá la conservación y regeneración del capital natural de las comunidades.

El índice de capacidad adaptativa de las 23 comunidades se ubicaron entre los rangos de medios y bajos. Sin embargo los índices de los componentes fluctuaron en un rango de muy bajo a alto. Nunca se presentó un caso o comunidad con Índice de capacidad adaptativa en el rango de muy alto (81-100).

El escenario futuro del índice de vulnerabilidad (2030) nos muestra que más del 50% de las comunidades tenderán a incrementar el mismo, pero también se rescata que las comunidades que están ejerciendo una buena gobernanza de sus recursos hídricos y que muestran índice medio de capacidad adaptativa, porque tienen un alto índice de capital humano y social, no incrementarán su vulnerabilidad para el 2030; como es el caso de La Cali, Los Encinos y Las Mesitas.

El índice integrado de la Vulnerabilidad, nos da una mejor comprensión de la susceptibilidad de las comunidades, ya que involucra múltiples variables de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, en busca de medidas de adaptación adecuadas y oportunas para que las comunidades se vuelvan más resilientes a los impactos de la variabilidad y del cambio climático.

Agradecimientos

Queremos agradecer por la recopilación, desarrollo, análisis de base de datos y elaboración de mapas a Carlos Flores, Marcelo Granera, Saúl García, Belki Gutiérrez, David D´Cuire, Karla Hernández, Luis Castillo y Marcio Chirinos. Por la asesoría técnica prestada a Max Ayala, Kelly Almendares, Maynor Ruiz y Edgar J. Mejía. Colaboradores Raúl López y Claudia Milagros.

3.12. Referencias

Banco Central de Honduras (2015). Cifras de País 2014. Recuperado el 15 de junio de 2016, de http://www.bch.hn/download/honduras_en_cifras/hencifras2013_2015.pdf.

Gallopín, G.C. (2006). "Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity." *Global Environmental Change*, 16, 293-303.

Gay, C. y Conde, C. (2014). *Metodología para la elaboración de los mapas de vulnerabilidad al cambio climático en los municipios y estados de México*. México D.F. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

IPCC (2014). Quinto informe de evaluación. Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Recuperado el 11 de marzo de 2016, de https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/index_es.shtml.

Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, D. y José, L. (2014). Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. Recuperado el 16 de mayo del 2015, de http://http://link.springer.com/article/10.1007/s11027-012-9442-y.

Monterroso, A., Conde, C. y Gay, C. (2015). Indicadores de Vulnerabilidad y Cambio Climático en la Agricultura de México. Recuperado el 16 de mayo del 2015, de http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0086_PU-SA-VIII-2012-A_MONTERROSO.pdf.

Moreno, R. y Maldonado, J. (2012). La capacidad adaptativa de las comunidades locales y su papel en el manejo de Áreas Marinas Protegidas. En: *Perspectivas en la ecología de los arrecifes coralinos.* Editorial Uniandes.

SERNA (2010). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Tegucigalpa, M.D.C. Honduras.

Smith, B. and Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptative capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 282-292.

CAPÍTULO 4

Escenarios de cambio climático 2075-2099: caso de estudio de impacto en la agricultura de Guanacaste, Costa Rica

Luis Alvarado Gambo[1], Federico Paredes Valverde[2]

[1] Instituto Meteorológico Nacional (IMN), MINAE, San José, Costa Rica, lalvarado@imn.ac.cr
[2] Ministerio de Salud, San José, Costa Rica, paredesfederico@gmail.com

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el cambio en la precipitación y la temperatura en la provincia de Guanacaste (Costa Rica) para un horizonte de tiempo lejano (2075-2099) en relación con un periodo de referencia denominado como clima actual (1961-2000). Como caso de estudio de los impactos potenciales del cambio climático en la agricultura, se seleccionó los efectos en el maíz de temporada, para lo cual se evaluará la variación en la duración del periodo de crecimiento (DPC) según dos escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5), usando un ensamble ponderado de modelos globales de cambio climático. Los datos mostraron que a diferencia de otros cultivos como el arroz, el maíz no sufriría grandes pérdidas de rendimiento en caso de presentarse un escenario de altas emisiones como el RCP8.5, todo lo contrario, ya que la duración del periodo de crecimiento se reduciría en unos 35 días respecto a la actualidad.

Palabras clave: Escenarios de cambio climático, Costa Rica, Duración del periodo de crecimiento del maíz, Evapotranspiración, Ensamblaje ponderado REA.

Abstract

This work aims to study the change in precipitation and temperature in the province of Guanacaste (Costa Rica) for a distant time horizon (2075-2099) in relation to a base line period referred to as current climate (1961-2000). As a case of study of the potential impacts of climate change on agriculture, the effects in the corn season were selected, for which the variation measured in the length of growing

period (DPC) according with two scenarios of gas emissions greenhouse (RCP4.5 and RCP8.5) will be assessed, using a weighted ensemble of global climate change models. The data showed that, unlike other crops such as rice, corn would not suffer heavy losses in yields in the RCP8.5 scenario, quite the opposite, the duration of the growth period would be reduced in about 35 days as compared to present days.

Keywords: Climate change scenarios, Costa Rica, Duration of maize growth period, Evapotranspiration, REA weighted assemblage.

4.1. Introducción

En el año 2011 el CGIAR (siglas en inglés de Consultative Group on International Agricultural Research) realizó una investigación sobre los impactos del cambio climático en la agricultura denominado Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics (Ericksen *et. al*, 2011). En este estudio se aplicó el concepto de duración de periodo de crecimiento como un indicador de exposición al cambio climático.

Se entiende por período de crecimiento el período del año en el que tanto las condiciones de humedad como de temperatura son favorables o aptas para el desarrollo de los cultivos. En los trópicos, donde la temperatura es rara vez un factor limitante (excepto a grandes alturas), la duración del período de crecimiento (DPC) se puede estimar por medio de un balance hídrico entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP) (FAO, 1997). La integración de las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración en el cálculo del DPC, permite comprender mejor cómo el crecimiento y la producción de cultivos específicos son afectados por la variabilidad del clima. De acuerdo con la DPC, algunas regiones no son aptas para la agricultura, otras lo son durante todo el año o por ciertas temporadas.

Este estudio tiene como objetivo analizar el cambio en la precipitación y la temperatura de la provincia de Guanacaste (Costa Rica) para un horizonte de tiempo lejano (2075-2099) en relación con un periodo de referencia denominado como clima actual (1961-2000). Adicionalmente, como caso de estudio de los impactos potenciales del cambio climático en la agricultura, se seleccionó los efectos en el maíz de temporada, para lo cual se evaluará la variación en la DPC según los escenarios de emisiones de gases RCP4.5 y RCP8.5, usando el ensamble ponderado de modelos REA (Fernández *et al*, 2014).

4.2. Metodología

Los datos que se utilizaron fueron los de precipitación media mensual y temperatura media mensual para el periodo de referencia 1961-2000 obtenidos de la base de datos históricos CRU con resolución de 0.5° × 0.5°.

Para los efectos de este estudio se escogió a la provincia de Guanacaste (ubicada al noroeste del país), más exactamente a los cantones de Santa Cruz y Nicoya, como caso de estudio de los efectos en el maíz, que de acuerdo con un estudio de Retana *et al*. (2014) sobre seguridad alimentaria y cambio climático, son los cantones de mayor vulnerabilidad en esa provincia. Por lo tanto, la localización de los cantones de estudio se ubicó en el correspondiente mapa el pixel o celda que mejor se ajustara. También para esta celda se obtuvieron los valores de precipitación media mensual y temperatura media mensual para el periodo 2075-2099 y para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 con resolución de 0.5°x0.5° de los escenarios climáticos más actualizados, para lo cual se utilizaron las simulaciones de 14 Modelos de Circulación General (MCG) del experimento CMIP5. Para integrar las simulaciones de los 14 modelos se aplicó una metodología de ensamble ponderado denominado REA (Reliability Ensemble Averaging, por sus siglas en inglés), estimando con ello el grado de fiabilidad de cada uno de los 14 modelos globales utilizados (Fernández *et al*., 2014).

El segundo paso, una vez obtenidos los datos de lluvia y temperatura media mensual para la climatología de referencia y los escenarios futuros, consistió en el cálculo de la evapotranspiración (ETP) con la ecuación de Thornwaite, la cual determina la ETP en función de la temperatura media mensual, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. Adicionalmente se calculó la ETP*0.5, ya que junto con el régimen de lluvia y la ETP son parámetros que permiten determinar el tipo y la duración del periodo de crecimiento del maíz.

El tercer paso consistió en calcular el inicio y el final del periodo de crecimiento para todos los escenarios, y de esta forma obtener la duración del periodo de crecimiento. Posteriormente, con todos los datos anteriores, se calcula el cambio en la duración del periodo de crecimiento por medio de la diferencia entre la duración del periodo de crecimiento de referencia (1961-2000) y la duración del periodo de crecimiento a futuro (2075-2099).

Finalmente, a partir de una tabla de limitaciones agro-climáticas para el maíz en áreas tropicales y subtropicales, se determina la aptitud futura del maíz en la región de estudio.

Resultados

En las Tablas 4.1, 4.2, y 4.3 se presentan los datos obtenidos de los escenarios climáticos de referencia y futuros así como el cálculo de los parámetros de la ETP, tanto sin corregir (e) como corregida (ETP y ETP*0.5) .

Tabla 4.1. Datos mensuales de lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo o climatología de referencia 1961-2000 de la base de datos CRU.

Mes	Lluvia	Tm	e	ETP	ETP*0.5
	(mm)	(°C)	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)
Enero	0	26.7	135.8	135.8	67.9
Febrero	0	27.5	152.5	138.7	69.4
Marzo	1	28.5	175.3	180.6	90.3
Abril	25	28.3	170.6	175.7	87.8
Mayo	225	27.8	159.1	171.8	85.9
Junio	267	27	141.9	150.4	75.2
Julio	167	27.2	146.0	157.7	78.9
Agosto	241	26.9	139.8	149.6	74.8
Septiembre	355	26.5	131.9	134.5	67.3
Octubre	363	26.3	128.0	130.6	65.3
Noviembre	131	25.9	120.6	118.1	59.1
Diciembre	3	26	122.4	121.2	60.6

e: evapotranspiración mensual sin ajustar.

Tabla 4.2. Datos mensuales de la lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo 2075-2099 del escenario de emisiones RCP4.5 y del ensamble de modelos REA.

Mes	Lluvia	Tm	e	ETP	ETP*0.5
	(mm)	(°C)	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)
Enero	0	28.8	182.8	182.8	91.4
Febrero	0	29.7	211.9	192.8	96.4
Marzo	35	30.7	248.4	255.9	127.9
Abril	26	30.5	240.8	248.0	124.0
Mayo	220	29.8	215.3	232.6	116.3
Junio	248	29.2	195.3	207.0	103.5
Julio	129	29.5	205.1	221.5	110.8
Agosto	223	29.1	192.1	205.5	102.8
Septiembre	321	28.7	179.7	183.3	91.7
Octubre	360	28.3	168.0	171.4	85.7
Noviembre	132	27.9	156.9	153.8	76.9
Diciembre	3	28	159.6	158.0	79.0

e: evapotranspiración mensual sin ajustar.

Tabla 4.3. Datos mensuales de la lluvia, temperatura media y evapotranspiración (Thornthwaite) para el periodo 2075-2099 del escenario de emisiones RCP8.5 y del ensamble de modelos REA.

Mes	Lluvia	Tm	e	ETP	ETP*0.5
	(mm)	(°C)	(mm/mes)	(mm/mes)	(mm/mes)
Enero	0	30.3	234.2	234.2	117.1
Febrero	0	31.2	275.8	251.0	125.5
Marzo	2	32.3	334.6	344.6	172.3
Abril	26	31.9	312.1	321.5	160.7
Mayo	41	31.3	280.7	303.2	151.6
Junio	240	30.5	243.0	257.6	128.8
Julio	71	30.9	261.3	282.2	141.1
Agosto	206	30.7	252.0	269.7	134.8
Septiembre	317	30.3	234.2	238.9	119.5
Octubre	226	29.9	217.5	221.9	110.9
Noviembre	144	29.4	198.0	194.0	97.0
Diciembre	3	29.6	205.6	203.6	101.8

e: evapotranspiración mensual sin ajustar.

4.4. Discusión

4.4.1. Periodo de crecimiento con la climatología de referencia

En el primer caso, correspondiente a la del periodo de referencia (Figura 4.1), se observa un tipo de crecimiento normal, que se caracteriza porque a lo largo del año, el promedio de la precipitación mensual supera al de la ETP promedio y al de la mitad de la ETP (ETP*0.5) la mayor parte del año, específicamente entre abril y noviembre, que corresponde al periodo lluvioso de la región seleccionada. En este caso y los siguientes nótese que se puede calcular un inicio y un final del periodo de crecimiento. El día de inicio del periodo de crecimiento corresponde a la abscisa del punto de intersección entre la curva de precipitación y la curva de ETP*0.5. El día final del periodo de crecimiento se calcula de la misma forma que el día de inicio, solamente considerando el mes de término (donde se intersectan las rectas de precipitación y ETP*0.5) y el mes siguiente al mismo. La duración del periodo de crecimiento se calcula como la diferencia en días del día final menos el día de inicio.

Al aplicar el método correspondiente, los resultados para el día de inicio/final/duración del periodo de crecimiento de la climatología de referencia son los siguientes:

a. Día de inicio del periodo de crecimiento = 100
b. Día de finalización del periodo de crecimiento = 317
c. DPC (duración del periodo de crecimiento de referencia) = 217 días

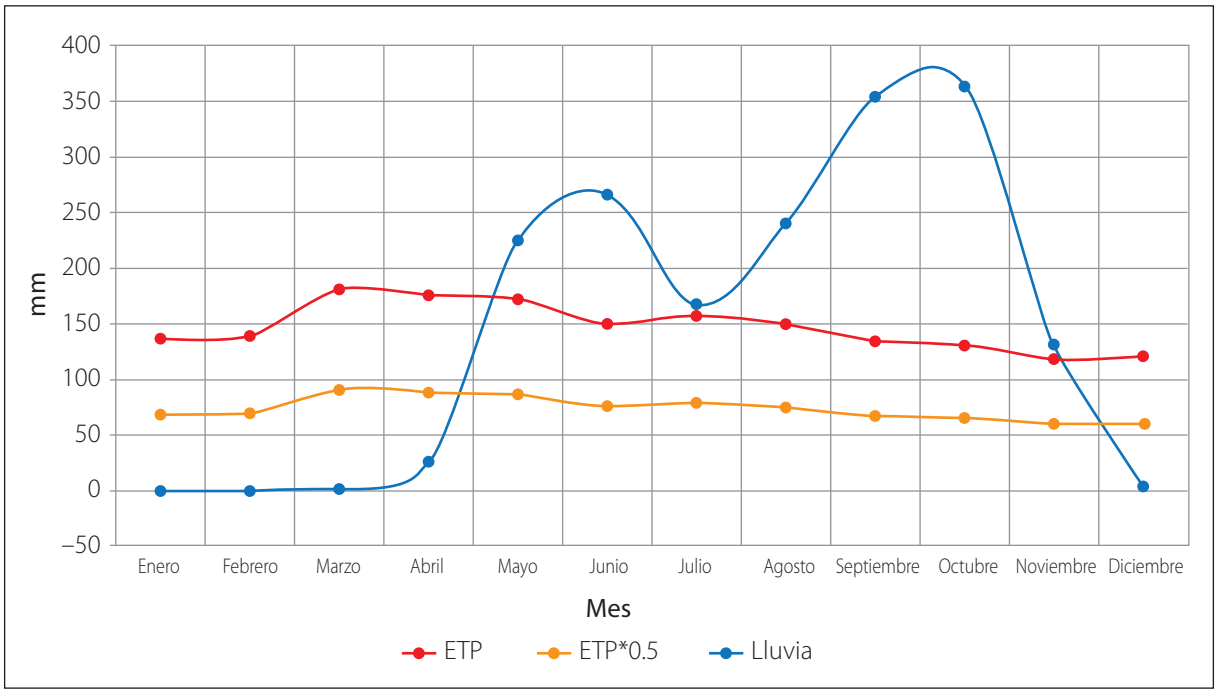

Figura 4.1. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo de referencia 1961-2000. Fuente de los datos: CRU 0.5x0.5, (INECC-México).

4.4.2. Periodo de crecimiento calculado con el ensamble REA del escenario RCP4.5 para el futuro lejano (2075-2099)

En este caso se utilizaron los datos proyectados de lluvia y temperatura mensual para el periodo 2075-2099 con el ensamble de modelos REA y el escenario de bajas emisiones RCP4.5. Los resultados son los contenidos en la Tabla 4.2. La Figura 4.2 muestra la gráfica de la lluvia y la ETP, donde, al igual que con el escenario de referencia, el tipo de crecimiento dominante es el 3, es decir, un periodo de crecimiento normal, por cuanto el promedio de la precipitación mensual supera al de la ETP promedio y al de la mitad de la ETP en cierta temporada del año, sin embargo con el escenario RCP4.5 nótese que los modelos aumentan la ETP y disminuyen ligeramente la precipitación, lo que permite a la curva de lluvia estar por encima de la de ETP menos tiempo que en el caso del periodo de referencia. De todas formas es posible calcular el inicio, fin y duración del periodo de crecimiento ya que la curva de ETP*0.5 interseca a la curva de lluvia en dos momentos determinados.

Al aplicar el método correspondiente, los resultados para el día de inicio/final/duración del periodo de crecimiento del experimento con el escenario RCP4.5 son los siguientes:

a. Día de inicio del periodo de crecimiento = 98
b. Día de finalización del periodo de crecimiento = 312
c. DPC (periodo de crecimiento con RCP4.5)= 214 días

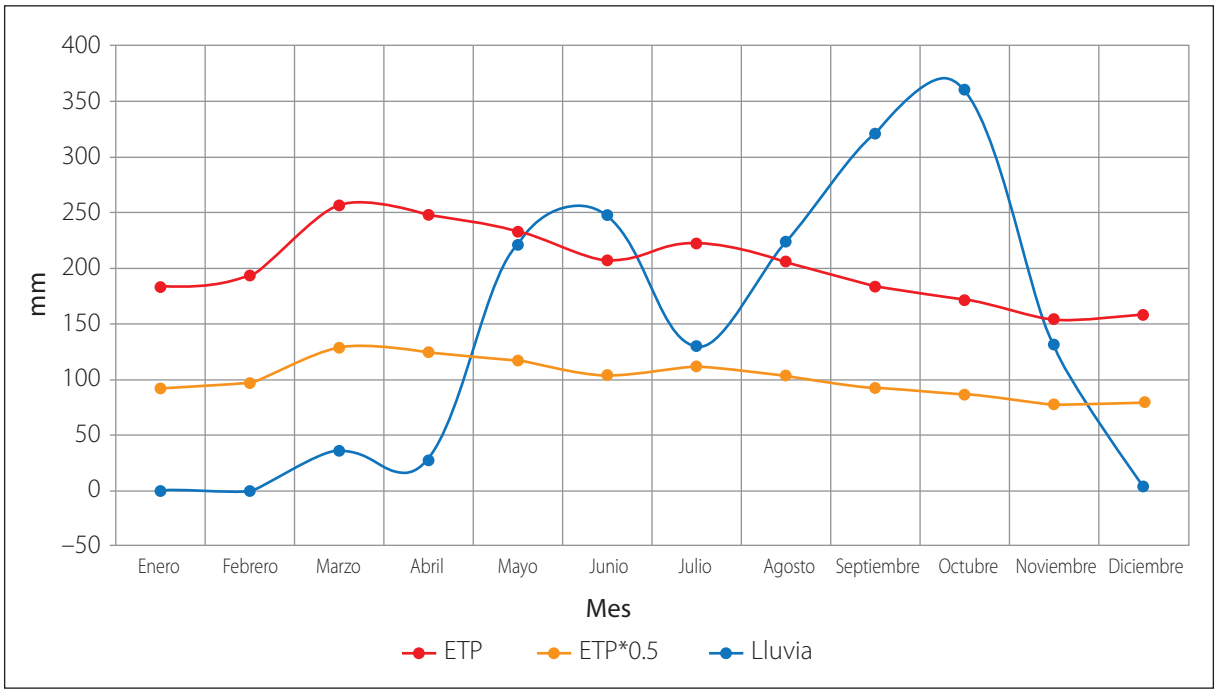

Figura 4.2. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo 2075-2099 del ensamble de modelos REA del escenario RCP4.5. Fuente de los datos INECC-México.

4.4.3. Periodo de crecimiento calculado con el ensamble REA del escenario RCP8.5 para el futuro lejano (2075-2099)

En los resultados de este escenario de altas emisiones se utilizaron los datos de la Tabla 4.3. La Figura 4.3 muestra la variación anual de la lluvia y la ETP para las condiciones dadas en este escenario.

Al aplicar el método correspondiente, los resultados para el día de inicio/final/duración del periodo de crecimiento del experimento con el escenario RCP8.5 son los siguientes:

a. Día de inicio del periodo de crecimiento = 101
b. Día de finalización del periodo de crecimiento = 284
c. DPC (duración del periodo de crecimiento con RCP8.5) = 183 días

La Tabla 4.4 resume los resultados finales de las fechas de inicio/final y duración del periodo de crecimiento con los tres escenarios planteados.

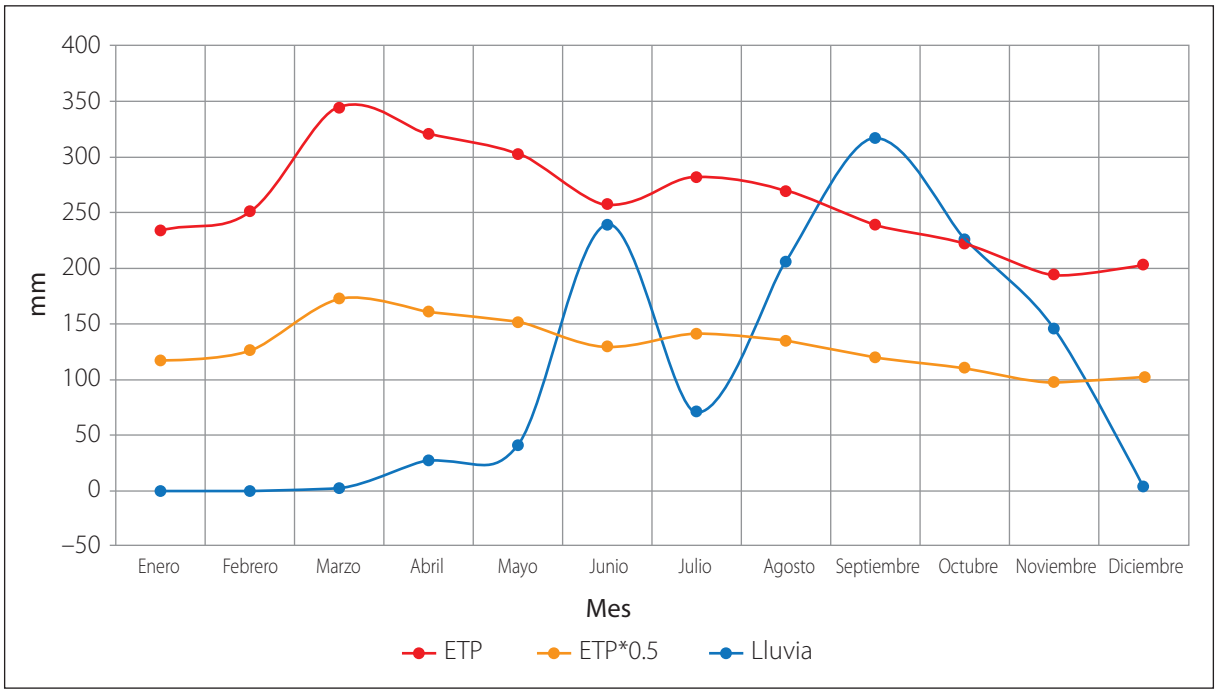

Figura 4.3. Régimen anual de la lluvia y evapotranspiración de los cantones de Nicoya y Santa Cruz para el periodo 2075-2099 del ensamble de modelos REA del escenario RCP8.5. Fuente de los datos INECC-México.

Tabla 4.4. Resultados de las fechas de inicio/finalización y longitud del periodo de crecimiento en las proyecciones de clima actual y futuro con dos escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5).

	Escenario referencia	Escenario RCP4.5	Escenario RCP8.5
Día inicio	100	98	101
Día final	317	312	284
DPC	217	214	183

4.4.4. Cambio futuro en la duración del periodo de crecimiento con respecto al periodo de referencia

De acuerdo con la Tabla 4.4, se concluye que a futuro la fecha de inicio del periodo de crecimiento se mantiene relativamente estable con un promedio de 100 y sin cambios significativos en el largo plazo. En cuanto a las fechas de finalización, sí se observa una tendencia hacia fechas más tempranas, ya que disminuye de 317 en la actualidad hasta 284 en el peor de los escenarios (RCP8.5), es decir, en cualquiera de los escenarios de emisiones, el día de finalización del periodo de crecimiento termina antes que en la actualidad. En cuanto a la duración también se observa una disminución en cualquiera de los dos escenarios futuros, aunque obviamente con el escenario de altas emisiones la disminución es más significativa, ya que pasa de 217 días a 183.

En término más cuantitativos, el cambio futuro en la duración del periodo de crecimiento con respecto al periodo de referencia es el siguiente:

DPC (escenario optimista) = DPC4.5 – DPCR = 214 – 217 = –3 días
DPC (escenario pesimista) = DPC8.5 – DPCR = 183 – 217 = –34 días.

Por lo tanto se nota el efecto tan significativo del escenario RCP8.5 en una mayor reducción del número de día efectivos para el crecimiento del cultivo.

La actitud actual del cultivo de maíz en la zona de estudio se caracteriza por una longitud del periodo de crecimiento de 217 días entre abril y noviembre. El cultivo no presenta limitaciones graves en cuanto a la pérdida de rendimiento por carencia de agua, efectos de enfermedades o impedimentos climáticos, excepto por un peligro moderado por ataque de plagas durante eventos extremos como El Niño y por impedimentos que dificultan el laboreo.

La actitud futura para el escenario bajo en emisiones (RCP4.5) es muy similar a la del periodo de referencia, es decir, no hay un cambio significativo. Ahora bien, con el escenario de altas emisiones (RCP8.5) las condiciones de actitud del cultivo parecen más bien ser mejores con respecto a los otros escenarios, incluso al actual. Ya que las limitaciones son ligeras en todos los aspectos evaluados anteriormente.

Por lo tanto, el maíz sería uno de los cultivos que no sufrirían grandes pérdidas de rendimiento en caso de presentarse un escenario pesimista en emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5).

4.5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el clima actual de la región en estudio es favorable para el desarrollo del maíz de temporada, el cual presenta una duración del periodo de crecimiento de 217 días entre abril y noviembre. En el clima futuro (2075-2099), la aptitud del maíz de temporada sigue siendo favorable siempre y cuando se considere un escenario de bajas emisiones como el RCP4.5, para el cual se presentaría una reducción de 3 días en la duración del periodo de crecimiento con respecto al clima actual. El cambio más notable se presentaría con un escenario de altas emisiones como el RCP8.5, para el cual se ha estimado una reducción de unos 35 días del periodo de crecimiento del cultivo con respecto al clima actual. Esta reducción se debe principalmente a la tendencia hacia fechas más tempranas de la finalización del crecimiento.

Por lo tanto, el maíz sería uno de los cultivos que no sufrirían grandes pérdidas de rendimiento en caso de presentarse un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5), por

el contrario, las condiciones de actitud del cultivo parecen más bien ser mejores con respecto a los otros escenarios, incluso al actual.

4.6. Referencias

Ericksen, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones. P. and Herrero, M. (2011). *Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics.* CCAFS Report 5. Copenhagen, Denmark: CCAFS.

Fernández, A., Zavala, J., Romero, R., Conde, A.C. y Trejos I. (2014). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación.* Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-SEMARNAT), México.

FAO (1997). *Zonificación Agroecológica. Guía General.* Boletín de Suelos de la FAO 73. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Retana, J., Villalobos, R., Alvarado, L., Sanabria, N. y Córdoba, J. (2014). *Seguridad Alimentaria y el Cambio Climático en Costa Rica: Granos Básicos.* Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio del Ambiente y Energía. pp96. San José, Costa Rica.

CAPÍTULO 5

Cambio climático y vulnerabilidades en Cuba

Ofelia Pérez Montero[1], Adrián Álvarez Adán[2], Yaritza Gómez Villa[3]

[1] Centro de Estudios Multidisciplinarios de Zonas Costeras. Universidad de Oriente, Cuba, ofelia@uo.edu.cu
[2] Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba, adanalvarez@ica.co.cu
[3] Instituto de Meteorología de Cuba, ygastirai7@gmail.com

Resumen

Este artículo tiene como objetivo describir el comportamiento y variaciones del clima en Cuba, el impacto de éste sobre el recurso suelo, y sus consecuencias socioeconómicas en la agricultura, así como el análisis de variables válidas para el estudio de la vulnerabilidad por la elevación del nivel del mar en la isla. Los principales resultados revelan que como promedio la temperatura mínima puede alcanzar los 28 ºC y para el caso de temperatura máxima el ascenso llega a 35 ºC. La precipitación muestra para el período lluvioso una disminución, que puede llegar hasta un 10% hacia la zona oriental del país. Por su parte para período poco lluvioso se evidencia un aumento, pero solo de un 1.5%. En el caso de la agricultura, para el municipio de Güines, la disminución de precipitación hasta el 10% para el escenario más crítico, unido al aumento de la evapotranspiración, conllevaría a la existencia de prolongados e intensos períodos de estrés hídrico en los cultivos durante casi todo el año. Concluye con la exposición de 30 variables asociadas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa al cambio climático frente al peligro de la penetración del mar.

Palabras clave: Cambio climático, Cuba, Vulnerabilidades.

Abstract

This article aims to describe the behavior and changes in climate in Cuba, the impact of this on soil resources and socio-economic consequences for agriculture, as well as analysis of valid variables for the study of the vulnerability level rise the sea on the island. The main results show that average minimum

temperature can reach 28 °C and the maximum temperature if the rise reaches 35 °C. Precipitation shows for a decline rainy period, which can reach up to 10% towards the east of the country. For their part to increased dry season, it is evident, but only 1.5%. In the case of agriculture, for the municipality of Guines, decreased precipitation up to 10% for the most critical stage, combined with increased evapotranspiration, would lead to the existence of prolonged and intense periods of water stress on crops during almost all the year. It concludes with exposure of 30 variables associated to the dimensions of exposure, sensitivity and adaptive capacity to climate change against the danger of penetration of the sea.

Keywords: Climate change, Cuba, Vulnerabilities.

5.1. Introducción

Como se expresa en el informe presentado por Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático "para Cuba el enfrentamiento al cambio climático es una alta prioridad". El archipiélago cubano es muy vulnerable al cambio climático global, dado su condición de pequeño estado insular situado en la región tropical del planeta. El cambio climático viene agravando y agravará en el futuro, los problemas ambientales acumulados en la nación, convirtiéndose paulatinamente en un factor determinante del desarrollo sostenible (AMA, 2015).

Los estudios realizados en Cuba por Planos *et al.* (2013) sobre el tema demuestran que el clima es hoy más cálido y extremo y que la actividad ciclónica se intensifica en el Caribe. Observándose cambios en el régimen de lluvias que conlleva a cambios en la disponibilidad hídrica del país. Otro impacto que enfrenta el archipiélago cubano es el ascenso al nivel medio del mar. Las proyecciones futuras indican ascensos que implicarían una disminución lenta de la superficie emergida del país y la salinización paulatina de los acuíferos subterráneos, por el avance de la llamada "cuña salina".

Cuba desde 1990 presentó el Programa de la sociedad cubana para el enfrentamiento del cambio climático y para el año 2007 ya presentaba importantes resultados, los cuales se compilaron y desarrollaron bajo el Macroproyecto "Peligros y Vulnerabilidad Costera para los años 2050-2100". En la actualidad estos estudios se han multiplicado con importantes contribuciones de profesionales de diferentes disciplinas científicas pertenecientes a distintas universidades, instituciones científicas de diferentes sectores y ministerios en el país. Lo anterior va generando una producción científica importante para la toma de decisiones sobre el tema de referencia y para la construcción de políticas públicas pertinentes para la adaptación de Cuba a los nuevos escenarios climáticos.

En este capítulo los autores abordan el comportamiento y variaciones del clima en Cuba, el impacto del cambio climático sobre el recurso suelo y sus consecuencias socioeconómicas en la agricultura por el incremento de la sequía, así como el incremento de la vulnerabilidad por la elevación del nivel del mar en la isla.

5.2. Metodología

Este trabajo es resultado de los ejercicios que se realizaron en el marco de la plataforma de colaboración entre la República de Corea y México sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para América Latina y el Caribe.

Para la elaboración de los mismos, se descargaron los datos mensuales de temperaturas máxima y mínima y variación de la precipitación del ensamble REA RCP4.5 para el período 2075-2099 con resolución espacial de 30’’ × 30’’, que se encuentran disponibles en la página web: http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html. El procesamiento de los datos se realizó en el programa QGIS 2.6. con el que se obtuvo la información correspondiente a los promedio de las variables antes mencionadas, así como para los períodos lluvioso (mayo-octubre) y poco lluvioso (noviembre-abril). Finalmente se obtuvieron los valores de las proyecciones de las variables para cada período, que son presentados en mapas, con el fin de tener una adecuada visualización espacial de los cambios en todo el país.

La evapotranspiración de referencia mensual (Eto), se calculó por la fórmula de Thornthwaite (1957) en función de la temperatura media, con corrección en la duración astronómica del día y el número de días del mes. Una vez obtenida la Eto, se realizó un análisis gráfico de su relación con la precipitación para identificar el comportamiento mensual de las deficiencias hídricas y la determinación de las fechas de inicio y fin del período de crecimiento.

El índice de aridez utiliza la relación P/ETP para clasificar las tierras áridas en hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas de acuerdo con el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP, 1992). Las tierras áridas tienen una relación de precipitación anual promedio (P) respecto a la evapotranspiración potencial (ETP) menor de 0.65.

Para la determinación de las variables asociadas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa al cambio climático, se utilizó la metodología para los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo por penetración del mar (AMA, 2009) vigentes en el país y el criterio de expertos para su selección.

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Comportamiento espacio-temporal de escenarios de cambio climático en Cuba

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, por lo que la comunidad científica internacional ha venido realizando investigaciones encaminadas a analizar cuál será el comportamiento de las diferentes variables y fenómenos climáticos en el futuro. Esto permite la realización de estudios de impacto, que permita la identificación e implementación de medidas para la adaptación al cambio climático.

Las salidas de los diferentes modelos climáticos globales (MCG) muestran las proyecciones climáticas bajo los diversos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, pero lo hacen para una resolución espacial baja. Los resultados obtenidos para esa resolución, limitan su empleo en estudios sobre regiones pequeñas como los estados insulares o sobre áreas donde el relieve y otras características producen variaciones espaciales en el clima. Debido a esto se han desarrollado diferentes técnicas de reducción de escala que permitan obtener un mayor grado de detalle como los modelos climáticos regionales.

Estos son modelos de área limitada (Elguindi *et al*., 2007) que se alimentan de las salidas de los MCG para obtener proyecciones de los escenarios sobre regiones específicas del planeta como lo es el Caribe. En este sentido, diversos estudios se han desarrollado sobre esta región y entre ellos Campbell *et al.* (2010) y Karmalkar *et al.* (2012) utilizaron el modelo HadRCM3 para estudiar y proyectar el clima en la región del Caribe y Centro América respectivamente, mientras que recientemente Diro *et al.* (2012) y Fuentes-Franco (2015) utilizaron el modelo RegCM4 con propósitos similares.

5.3.2. Escenarios en Cuba

Cuba, dentro de esta región, se ha destacado en el desarrollo de investigaciones relacionadas con el desarrollo de escenarios climáticos. Inicialmente se crearon un grupo de escenarios climáticos utilizando el modelo climático simple MAGICC y el generador de escenarios SCENGEN, obteniéndose los resultados en cuanto a cambios en la temperatura, la precipitación y el ascenso del nivel del mar con resoluciones espaciales muy bajas (Centella *et al.*, 2001), por lo que la aplicación de este procedimiento no constituyó una técnica de reducción de escala propiamente.

Los primeros escenarios climáticos generados mediante el empleo técnicas de reducción de escala se deben a Centella *et al.* (2009), los cuales surgieron a partir de la participación de investigadores en una iniciativa regional coordinada por el Centro de Cambio Climático de la Comunidad del

Caribe (CCCCC) (Centella *et al.,* 2007 y Taylor *et al.,* 2007). La técnica de reducción de escala utilizada fue la dinámica, mediante el uso del modelo climático regional HadRCM3, encapsulado en el sistema PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies) (Jones *et al.*, 2004), el cual fue alimentado por las salidas de los modelos MCG HadAM3P y ECHAM4, a partir de los escenarios de emisiones SRES A2 y B2. Los resultados se generaron a una resolución de 50 km sobre el Caribe y los escenarios de temperatura superficial mostraron un ascenso de 2.3 °C a 3.4 °C para finales del siglo XXI; aunque se plantea que sobre zonas terrestres los incrementos son significativamente superiores. Por su parte, los cambios en la precipitación variarán entre –10.7% y 2.9%, dependiendo de la región.

En los años posteriores, el desarrollo tecnológico del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET) y el fortalecimiento de la iniciativa coordinada por el CCCCC, crearon las condiciones para desarrollar nuevas y más complejas simulaciones utilizando el sistema PRECIS (Taylor *et al.,* 2013). Hasta el presente, los escenarios de clima desarrollados en Cuba han sido empleados para evaluar los impactos en diferentes sectores como la agricultura, los recursos hídricos, los asentamientos humanos o en áreas como la biodiversidad.

Los resultados más recientes obtenidos por el INSMET muestran las proyecciones de cambio climático para la región del Caribe según el modelo climático regional PRECIS alimentado por los MCGs HadCM3 y Echam5 para el escenario SRESA1B. En ellos se aprecia que para el escenario proyectado el incremento de la temperatura será del orden de 1.5 °C durante el período 2011-2040, llegando a duplicarse durante el período 2041-2070, con valores incluso superiores a los 3.0 °C. En el caso de la precipitación los cambios futuros no resultan tan coincidentes como los que se reflejan en el incremento de la temperatura. No obstante a esto, es posible identificar regiones donde las proyecciones representadas por los diferentes experimentos presentan mayor coincidencia tanto en la significación estadística de los cambios, como en el sentido de los mismos.

A pesar de las mayores incertidumbres en la estimación futura de las precipitaciones, el patrón de reducción de las lluvias sobre un amplio sector, localizado principalmente sobre el Mar Caribe y zonas de Centro América y el noreste de América del Sur, es una característica bastante común, aunque mucho más robusta durante el período de verano, para el período 2041-2070, donde la señal de cambio climático es más fuerte y visible. En esas regiones las reducciones de los totales de precipitación llegan a alcanzar magnitudes entre el 30% y 50%, aunque sobre Cuba y gran parte de las Antillas el patrón seco no aparece tan intenso y resulta menos robusto.

En el estudio anteriormente mencionado se concluyó además que las diferencias estructurales de los modelos globales que alimentaron al MCR PRECIS (HadCM3 y Echam5) tienen un mayor impacto en la dispersión de los resultados, que las que existen entre las diferentes versiones del modelo HadCM3 empleadas. Por lo que se refuerza la idea y la necesidad de ampliar el espectro de

simulaciones, combinando diferentes MCG para alimentar un mismo MCR y utilizando también diferentes MCR.

5.3.3. Proyecciones para Cuba según nuevos escenarios de emisión del IPCC (AR5, 2014)

En el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC (AR5, 2014) se presentaron las proyecciones futuras bajos los nuevos escenarios de emisión llamados Trayectorias Representativas de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés). En Cuba aún no se cuentan con estudios desarrollados con estos escenarios, aunque ya se están desarrollando algunos esfuerzos para generar sus proyecciones con PRECIS. En la Figura 5.1 se aprecia que el promedio de temperatura mínima para el período lluvioso puede alcanzar valores de 28 ºC y en el poco lluvioso de 26 ºC. El aumento de la temperatura se muestra de manera homogénea sobre todo el país.

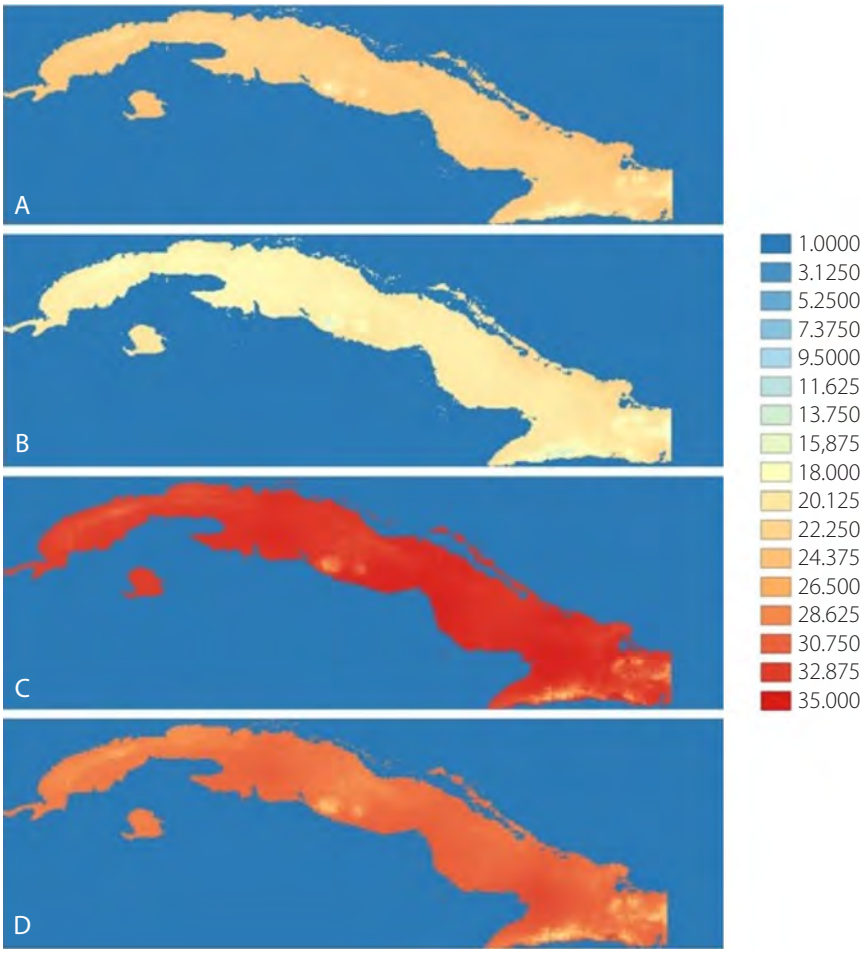

Figura 5.1. Proyección de la temperatura superficial terrestre en ºC según el ensamble REA, escenario RCP4.5 para el período 2075-2099. (A y B temperatura mínima períodos lluvioso y poco lluvioso; C y D temperatura máxima períodos lluvioso y poco lluvioso).

La temperatura máxima alcanza como promedio valores de 32 ºC y 35 ºC en los períodos poco lluvioso y lluvioso respectivamente. En este caso se presenta que el mayor calentamiento se distribuye hacia la zona oriental del país. Las zonas que se destacan con menor calentamiento en los mapas se corresponden con zonas montañosas del país, donde los valores de temperatura siempre son más bajos que su entorno. Es importante tener en cuenta que cuando se analizan los meses que conforman estos períodos de manera individual, hay meses donde la temperaturas puedes alcanzar valores superiores, que para el caso de la temperatura máxima pueden ser por arriba de 36 ºC.

Se debe resaltar que los resultados mostrados están referidos solamente al ensamble REA. El análisis de modelos individuales muestran que los cambios en la temperatura pueden ser mayores, también dependiendo del escenario proyectado pueden ascender hasta 40 ºC en algunas zonas del país.

La variación en porcentaje de los valores promedios de precipitación se muestra en la Figura 5.2, donde se aprecia que los aumentos proyectados para algunas zonas del país son mínimos, sin embargo los porcentajes de disminución son mayores, alcanzando valores de un 10 % como promedio. Para el período lluvioso (A) la mayoría del territorio cubano muestra una disminución, siendo más marcada hacia la zona oriental. Esta manifestación no se presenta de igual manera en el período poco lluvioso (B), ya que en este le tendencia es al aumento de manera general, aunque una vez más hacia la zona más oriental del país no se ve favorecida por aumentos en los valores de precipitación. Aunque la concordancia de los modelos no es siempre la misma en cuanto a las proyecciones de la precipitación para Cuba, este es un resultado que se corresponde con otros estudios realizados para el país, donde se ha podido concluir que la precipitación para finales de siglo, tiende aumentar en el período poco lluvioso y disminuye en el lluvioso.

Figura 5.2. Proyección de las variaciones del promedio precipitación en porcentaje según el ensamble REA, escenario RCP4.5 para el período 2075-2099. (A y B períodos lluvioso y poco lluvioso respectivamente).

Los análisis anteriores sirven de base para la realización de estudios de impacto sobre diferentes sectores socioeconómicos de interés para Cuba, como lo es la agricultura por lo que continuación se hacen referencia a algunos de los resultados del impacto del Cambio Climático en esta importante rama económica.

5.4. Análisis de los impactos del cambio climático en la agricultura

5.4.1. Características de la agricultura en Cuba

Según la Oficina Nacional de Estadística e Información ONEI (2015), de una superficie de tierra firme (exceptuando los cayos) de 10,888.4 Mha, Cuba dedicaba a las actividades agropecuarias 6,278.9 Mha (57.7% de la superficie total) desglosadas nacionalmente como se muestra en la Tabla 5.1. Los índices de ociosidad (área ociosa *vs* área agropecuaria) y aprovechamiento de la tierra (superficie cultivada vs superficie agrícola) se encuentran en el orden de 15.3 y 42.5%, respectivamente.

Tabla 5.1. Uso de la tierra agrícola.

Uso	Superficie (Mha)
Superficie cultivada	**2,888.7**
Cultivos temporales	1,156.8
Cultivos permanentes	1,499.7
De ellos pastos artificiales	108.9
Viveros y semilleros	12.2
Superficie no cultivada	**3,610.2**
Pastos naturales	2,648.1
Ociosas	962.1

Entre los cultivos permanentes que ocupaban la superficie agrícola, la mayor extensión correspondía a la caña de azúcar (870 Mha de ellas el 8.8% con riego) seguido de los pastos y forrajes (215.2 Mha de ellas el 2.8% con riego); mientras que en los cultivos temporales se destacan los cultivos varios (883.6 Mha de ellas 14.8% bajo riego) y el arroz con 233.7 Mha.

El nuevo escenario que se proyecta de un modelo agrícola cubano, encierra una tendencia hacia el predominio de la pequeña y mediana empresa, tanto en la tenencia como en la propiedad de la tierra, lo cual encierra cambios cualitativos fortalecidos por las formas colectivas de producción, el conocimiento y la sabiduría del campesinado, trasladado de generación en generación y enriquecido por el desarrollo científico técnico (Nova, 2015).

5.4.2. Programa de enfrentamiento al cambio climático en la agricultura

La primera aproximación a la valoración de los posible impactos del cambio climático sobre el sector agrícola fue realizada en el Marco de la Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Centella *et al*., 2001). Posteriormente a finales del 2008 se iniciaron las acciones encaminadas a la preparación de la Segunda Comunicación Nacional y durante el 2009, la Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de la Agricultura, creó la Red Agraria de Cambio Climático con la misión de coordinar y facilitar la investigación, capacitación, mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agropecuario. A raíz de esta iniciativa se crea el Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático en la Agricultura.

5.4.3. Impactos esperados

Partiendo de la idea de que el cambio climático es un hecho, se pueden establecer los principales impactos del mismo en la agricultura, aunque es de señalar que a pesar de que cada variable climática tiene un efecto individual sobre el comportamiento, el resultado final será la combinación de muchos efectos individuales. Además tendrá una manifestación específica según la actividad agropecuaria específica que se analice, así como la especie, la variedad o raza y el estado fenológico de las plantas o los animales presentes en los agroecosistemas. No obstante, la decisión del estudio de los impactos estará permeada por el carácter y objetivo de la investigación que se realice.

Para el caso de la localidad de Güines, perteneciente a la provincia Mayabeque y que se destaca por su intensa actividad agropecuaria, se pueden mencionar algunos resultados de los principales impactos a los que se someterá la región a partir de las proyecciones de escenarios de climas futuros (RCP4.5 y RCP8.5) para el período 2075-2099.

Se prevé un aumento de 1.8 (RCP4.5) a 3.1 °C (RCP8.5) en la temperatura media de la zona donde podrá alcanzar valores entre 27.4 y 28.7 °C respectivamente, que son cercanos a los óptimos fotosintéticos de muchos cultivos. No obstante, esto puede llegar a comprometer, según Coraza y Quintero (1991), los procesos fisiológicos fundamentales de la planta (fotosíntesis, respiración, crecimiento, transpiración y efectos fotoperiódicos). Además, se plantea que las temperaturas por encima del óptimo también reducen sustancialmente el crecimiento, debido a una disminución de la actividad fotosintética por inactivación enzimática y a un incremento de la demanda respiratoria (respiración y fotorespiración).

Sobre los efectos perjudiciales de las temperaturas extremas en plantas, Castillo y Castellvi (2001) señalaron que estos varían con la especie, variedad, estado fenológico, condiciones climáticas, estado fitosanitario, etc. Puntualizan que la temperatura ejerce un papel muy importante de control sobre el crecimiento de las plantas.

La Figura 5.3 muestra que los mayores aumentos se espera ocurran durante los meses de abril y mayo, con el inicio del período estacional lluvioso del año.

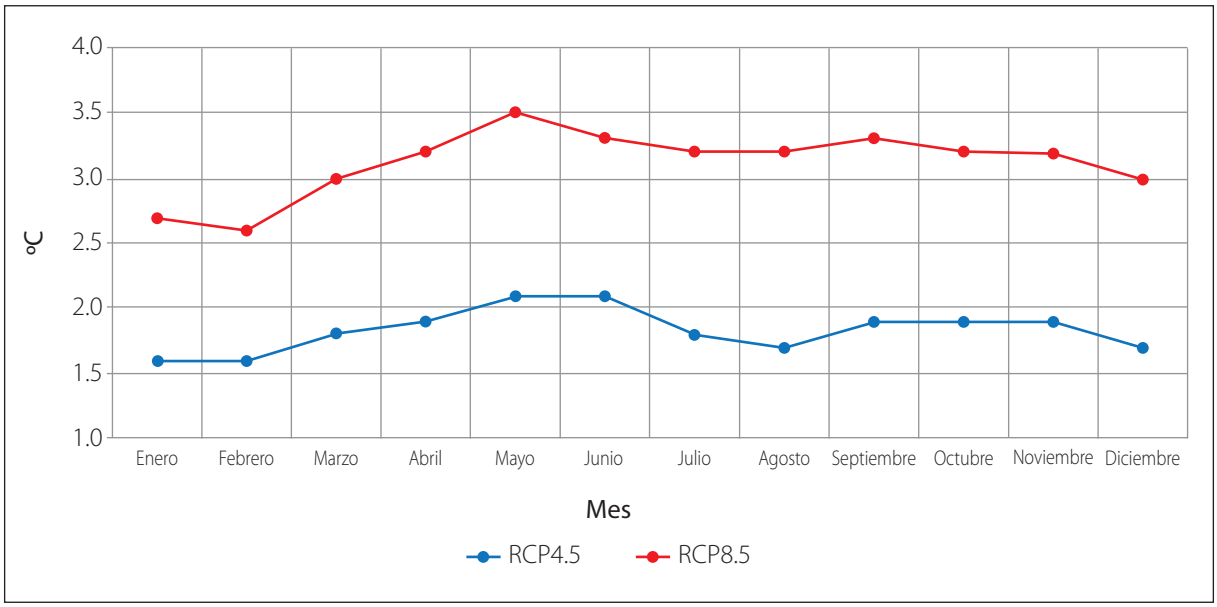

Figura 5.3. Comportamiento de las anomalías mensuales de la temperatura media en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°.

La actividad ganadera en la zona podrá verse afectada por el estrés calórico, ya que se sabe que la temperatura crítica alta en vacas lecheras varía entre 25 y 26°C (Berman *et al.,* 1985), lo que tendrá una repercusión tanto en la producción (Hurtado *et al.,* 2014) como en la reproducción (López *et al.,* 2003; Espinosa *et al.,* 2011; Castaño *et al.,* 2014).

Es de destacar que un aumento de la temperatura media superior de 3 ºC, como se pronostica para final del siglo XX, en combinación con una creciente demanda de alimentos, plantearía grandes riesgos para la seguridad alimentaria. Así lo corrobora el IPCC (2014) en su quinto informe sobre el cambio climático, donde plantea que todos los aspectos de la seguridad alimentaria están potencialmente afectados por el cambio climático, incluido el acceso a los alimentos, el uso de estos y la estabilidad de sus precios.

En el caso de la precipitación, un disminución entre el 2 y el 10% para los escenarios más favorable y más crítico, respectivamente; en contraste con la creciente evapotranspiración potencial (ETP) (Figura 5.4) traería como consecuencia prolongados e intensos períodos de estrés hídrico en los cultivos (Figura 5.5) durante casi todo el año, excepto en los meses de septiembre y octubre.

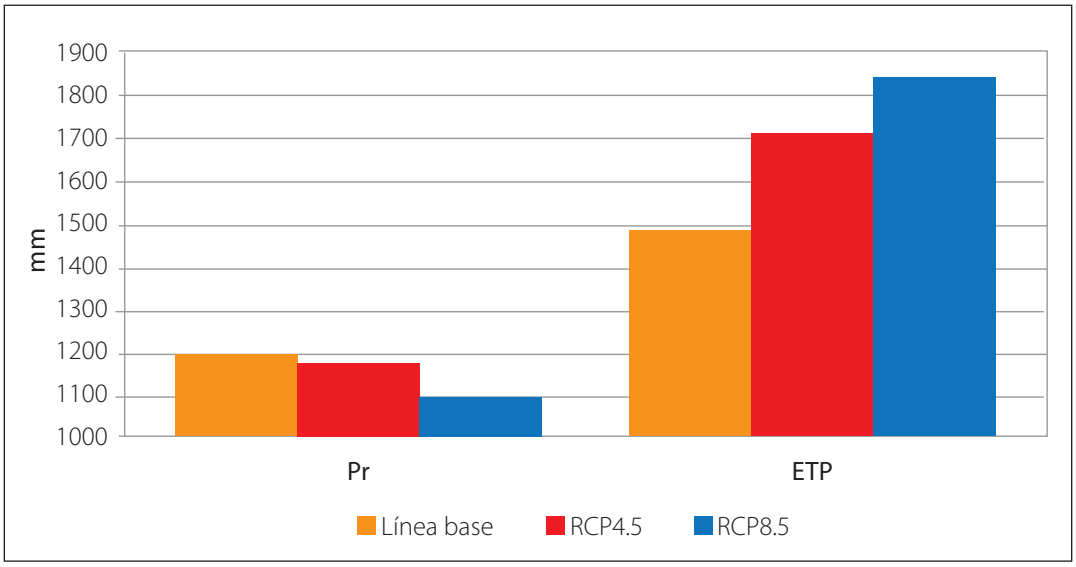

Figura 5.4. Comportamiento de la precipitación media mensual y de la evapotranspiración potencial en el escenario de referencia CRU (línea base 1961-2000) y en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°.

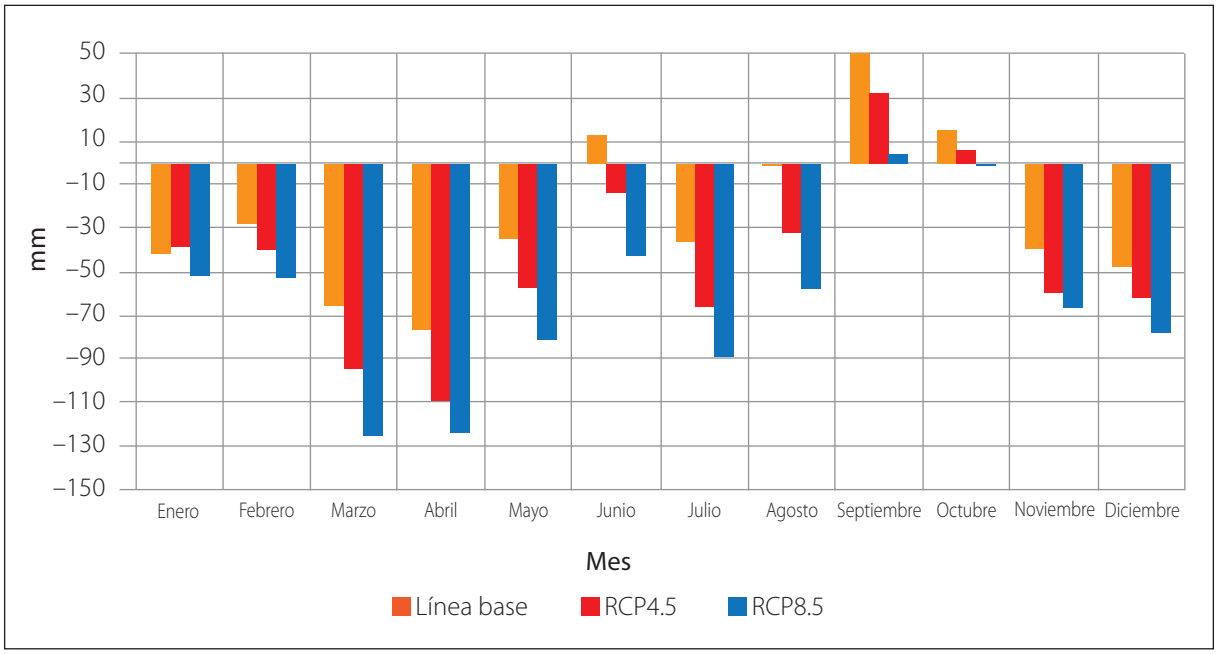

Figura 5.5. Comportamiento mensual del déficit hídrico proyectado en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°.

La media anual del déficit hídrico oscilará entre 247 y 478 mm, lo cual conllevará a una fuerte competencia por el uso del agua entre todos los sectores económicos presentes en el área y la población.

En la agricultura, la presión por la disminución de la disponibilidad de agua será cada vez mayor si se toma en cuenta que en la región hay una alta presencia de cultivos de regadío. Por tanto, uno de los retos principales es elevar la productividad con respecto al agua, tanto para amortiguar la producción en secano más volátil como también para dar respuesta a la disminución de la disponibilidad del agua. Según la FAO (2007), al aumento de la escasez de agua se le suma los fenómenos de precipitaciones más intensos como consecuencia del cambio climático. Estos cambios generan una grave amenaza a la producción agrícola estable, en particular a las superficies regadas en forma continua en el mundo. Una amenaza secundaria es la pérdida de tierras productivas debido al aumento de aridez (y salinidad asociada), al agotamiento freático y al aumento del nivel del mar.

En consecuencia, la disminución de las precipitaciones y el aumento de la ETP en la región, podría generar una disminución del 0.6 del índice de aridez del paisaje, lo cual nos indica que la región transitará hacia un estado subhúmedo seco para finales del siglo XXI. Además, en el análisis de la Figura 5.6 se aprecia un retraso en las fechas de inicio y fin del período de crecimiento para ambos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5), respecto a las establecidas a finales del siglo XX, lo cual reflejará una disminución de la duración del período de crecimiento de 16 y 25 días, para un total de 222 y 198 días, respectivamente.

Este análisis corrobora el criterio que se emitió para el índice de aridez, demostrando que el período de crecimiento tiene un comportamiento intermedio seco, es decir, a lo largo del año el promedio de la precipitación no excede el total de la ETP, pero si excede la mitad de la misma.

5.5. Vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático en el ejemplo de la penetración del mar

Los estudios sobre la elevación del nivel del mar indican que quedaría sumergida de forma permanente el 2.45 % de la superficie terrestre para el 2050, con una elevación del nivel del mar de 27cm, mientras que el 5.80 % de la superficie quedaría cubierta para el 2100 con una elevación del nivel medio del mar 85cm, sin considerar los cayos. Respecto a los asentamientos humanos, se estiman afectaciones parciales para 78 asentamientos en 2050 y 107 para el 2100, mientras que las cifras de afectaciones totales sería de 15 asentamientos en 2050 y 6 asentamientos para 2100 (AMA, 2015).

En Cuba se aborda el análisis de vulnerabilidad al cambio climático con un enfoque de gestión de riesgos. En todos los municipios del país se realizan los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgos (PVR) frente a fenómenos naturales como fuertes vientos y lluvias, penetración del mar, tecnológicos, sísmicos, deslizamientos, sequias, inundaciones, entre otros.

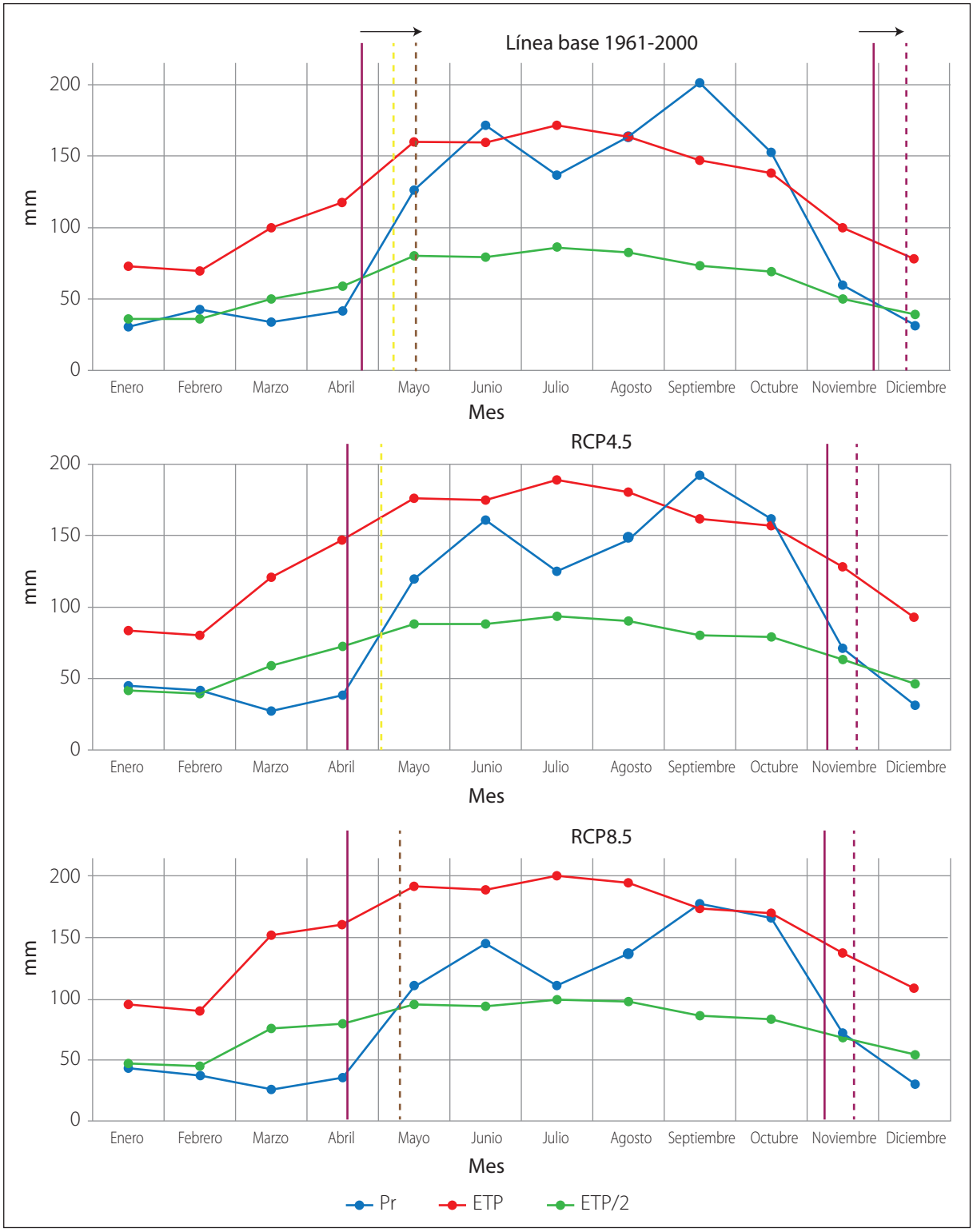

Figura 5.6. Comportamiento de las fechas de inicio y fin del período de crecimiento en el escenario de referencia CRU (línea base 1961-2000) y en el ensamble REA, para los escenarios RCP4.5 y 8.5 (horizonte lejano 2075-2099), con resolución de 0.5° × 0.5°.

Específicamente para estudiar el peligro de elevación del nivel del mar y a la penetración de este bajo el impacto de los huracanes o eventos meteorológicos extremos propios del Caribe e intensificado por el cambio del clima, en todo el país se organizaron grupos de trabajo multidisciplinarios e interinstitucionales. Los análisis de estos estudios se realizan a nivel del consejo popular, que es la unidad base dentro de los gobiernos municipales, los cuales se hacen corresponder con los niveles de gestión de riesgos en el país. El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente de Cuba (CITMA) es el responsable de coordinar los esfuerzos de las diferentes instituciones científicas y organismos de la administración central del estado a diferentes niveles quienes aportan información pertinente para los estudios.

Los resultados se presentan en forma de mapas, informes y matrices que respaldan la toma de decisiones de los gobiernos a diferentes niveles. En los últimos años, las universidades han incorporado a sus líneas de investigación el tema de cambio climático, por lo que aparecen nuevas publicaciones científicas en las cuales se utilizó la metodología que para tales efectos aprobó el CITMA.

En esta metodología, la AMA (2009) define el concepto de vulnerabilidad como "*la predisposición a sufrir pérdidas o daños, de los elementos bióticos o abióticos expuestos al impacto de un peligro de determinada severidad*". Este concepto se relaciona directamente con las cualidades y propiedades del o de los elementos que se encuentran expuestos en relación al peligro o los peligros que podrían incidir sobre estos.

Se definen además las siguientes vulnerabilidades.

- *Vulnerabilidad estructural*. Se analiza la capacidad resistiva de las edificaciones del fondo habitacional a las fuerzas destructivas de los diferentes peligros, para esto se considera la tipología constructiva, el estado técnico y la altura de las mismas, así como parámetros de localización como tipo de suelo, cota, etc., en dependencia del peligro.
- *Vulnerabilidad no estructural*. Se evalúan las afectaciones que pueden sufrir las líneas vitales del territorio como carreteras, sistemas de gasificación, comunicaciones, sistema energético, torres de alta tensión y redes eléctricas (incluidas las soterradas, en caso de inundación), así como el estado del sistema de drenaje y las redes de alcantarillado.
- *Vulnerabilidad funcional*. En este análisis se estudia la influencia de la vulnerabilidad estructural y no estructural en la estabilidad o paralización de la producción y los servicios, ante cada tipo de evento de determinada categoría. El análisis de esta vulnerabilidad permitirá ver el estado de los factores preparativos de respuesta, a partir de la disponibilidad de grupos electrógenos de emergencia; la preparación del sistema de salud para caso de desastres; la capacidad de albergamiento de evacuados y certificación de las instalaciones, el acceso a zonas aisladas, la reserva de suministros básicos (agua, alimentos, combustibles, medicamentos) y otros.

- *Vulnerabilidad social*. Valora el grado en que los factores sociales puedan incrementar la vulnerabilidad. Se evaluará el total de población expuesta, densidad de población o afectación a la población, percepción del riesgo y grado de preparación, presencia de desechos sólidos en las calles y la preparación de los órganos de dirección.
- *Vulnerabilidad ecológica*. Se debe considerar la exposición en zonas de peligro potencial como ecosistemas frágiles, zonas ecológicamente sensibles o áreas protegidas.
- *Vulnerabilidad económica*. Se evalúan los factores económicos teniendo en cuenta las zonas industriales en áreas de riesgo, la cantidad de áreas cultivadas y animales en zonas de riesgo; el nivel de ejecución del presupuesto de reducción de vulnerabilidades, donde se incluye el costo de la respuesta y todo esto refrendado con medidas concretas en el Plan de Reducción de Desastres.

Las vulnerabilidades estructural y no estructural, expresarán los *factores de exposición*, es decir, permitirán valorar el grado de exposición del territorio estudiado a la influencia de los peligros.

5.6. Variables de las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para asentamientos humanos en riesgo por penetración del mar

Los autores consideraron pertinente desarrollar variables e indicadores para las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa para asentamientos humanos en riesgo por penetración del mar. Algunos de los cuales no se encuentran recogidos en la metodología vigente en Cuba, pero que constituyen hallazgos importantes después de correr la misma en la provincia de Santiago de Cuba.

Para el análisis de exposición se tomó la definición dada por el IPCCC (2014) en la cual la presencia de personas; medios de subsistencia, especies o ecosistemas; funciones; servicios y recursos ambientales; infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

Por sensibilidad se asumió la definición dada por el IPCC (2007) que es el grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático. Los efectos pueden ser directos (por ejemplo, un cambio en el rendimiento de los cultivos en respuesta a una variación de la temperatura media, de los intervalos de temperaturas o de la variabilidad de la temperatura) o indirectos (por ejemplo, daños causados por una mayor frecuencia de inundaciones costeras por haber aumentado el nivel del mar).

Para el caso de la capacidad adaptativa se tomó la definición dada por el IPCC (2014) que es la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos a adaptarse a los

posibles daños, aprovechar las oportunidades o para responder a consecuencias.
A continuación se listan las variables consideradas en cada dimensión antes definidas (Tabla 5.2) y que para cada estudio fueron operacionalizadas en indicadores aplicadas en cada consejo popular ubicado en municipios costeros.

Tabla 5.2. Variables asociadas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa al cambio climático.

Variables asociadas a las dimensiones de exposición	Variables asociadas a la sensibilidad	Variables asociadas a la capacidad adaptativa
Personas expuestas por sexos y grupo de edades	Población afectada	Organización comunitaria
Viviendas dentro de la línea de peligro	Viviendas afectadas	Adaptación de los planes de prevención a escala empresarial y comunitaria
Infraestructura económica expuesta	Destrucción de infraestructuras (turísticas, productivas y de servicios	Nivel de percepción del riesgo
Infraestructura sociocultural expuesta	Modificaciones en la línea de costa	Niveles de ingreso de la población
Líneas vitales expuestas	Medida de elevación del nivel del mar	Acceso a créditos
Ecosistemas de manglar, y playas expuestos	Pérdida de barreras protectoras	Cultivo de plantas más resistentes
Ecosistemas de bahías expuestos	Cambios en los escenarios de inundación	Construcción de obras ingenieras protectoras
Áreas protegidas	Incremento de la salinidad de los acuíferos	Reubicación de viviendas ubicadas en áreas de peligros
Organización social expuesta	Modificación en la flora y fauna	Incremento información pública sobre el impacto del CC
Personas expuestas por sexos y grupo de edades	Población afectada	Organización comunitaria

5.7. Conclusiones

Actualmente la adaptación al cambio climático forma parte de la agenda política del gobierno de Cuba y para dar respuesta a las incertidumbres que su impacto tendrá en el archipiélago cubano, se cuenta con esfuerzos de investigación que están realizando diferentes instituciones científicas y universidades, las cuales aportan profesionales de diferentes especialidades quienes a lo largo y ancho del país conforman grupos de trabajo con el fin de abordar los complejos problemas que de dicho fenómeno se derivan.

El impacto del cambio climático sobre el archipiélago cubano se evidencia, por en el incremento de un clima cálido y extremo, la desertificación y la sequía, así como por la elevación del nivel del

mar, entre otros efectos observados. Estos tres impactos generan consecuencias importantes en el desarrollo sostenible y la calidad de vida de los cubanos, fundamentalmente en sectores como el agroalimentario, el turismo y los asentamientos humanos.

Los principales resultados revelan que como promedio la temperatura mínima puede alcanzar los 28 ºC y para el caso de temperatura máxima el ascenso llega a los 35 ºC. La precipitación muestra para el período llovioso una disminución, que puede llegar hasta un 10% hacia la zona oriental del país. Por su parte, para períodos poco lluviosos se evidencia un aumento de sólo un 1.5%. En el caso de la agricultura, para el municipio de Güines, se obtuvo una disminución en la precipitación hasta del 10% para el escenario más crítico, lo cual unido al aumento de la evapotranspiración, conllevaría a la existencia de prolongados e intensos períodos de estrés hídrico en los cultivos durante casi todo el año.

Por último, se consideraron 30 variables asociadas a las dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa frente al peligro de la penetración del mar, las cuales fueron operacionalizadas en indicadores aplicadas en cada consejo popular ubicado en municipios costeros.

5.8. Referencias

AMA-Agencia de Medio Ambiente. (2015). Contribución nacionalmente determinada. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (19/11/2015).

AMA-Agencia de Medio Ambiente. (2009). Lineamientos metodológicos para la realización de los estudios de peligro vulnerabilidad y riesgo de desastres de inundación por penetración del mar. Agencia de medioambiente (AMA), La Habana, Cuba.

Berman, A., Folman, Y.M., Kaim, M, Mamen, Z., Herz. D., Wolfenson, A. and Graber Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a tropical climate. *Journal of Dairy Science.* 68, 488-495.

Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T.S., Watson, R.A. y Whyte, F.S. (2010). Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology*. 13(12):1866-1878. DOI: 10.1002/joc.2200.

Castaño, F.A., Rugeles, Clara C., Betancur, C.A. y Ramírez-López, C.J. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Biosalud.* 13(2).

Castillo, F.E. y Castellvi, F. (2001). *Agrometeorología.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España, 517 pp.

Centella, A., Llanes J., Paz, L., López, C. y Limia, M. (2001). Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Grupo Nacional de Cambio Climático. Instituto de Meteorología. La Habana. 169 pp.

Centella, A., Bezanilla, A. and Leslie, K. (2007). *Assessing the uncertainty of Climate Change in the Caribbean using the PRECIS outputs. Technical Report,* Community Caribbean Climate Change Center, Belmopan, Belize.

Centella, A., Bezanilla, A., Borrajero, I. y Martínez, D. (2009). *Escenarios Climáticos de Alta Resolución para la región de los Mares Interamericanos utilizando el Modelo PRECIS.* Ciudad de la Habana, Cuba. 45 pp.

Coraza, R. y Quintero, E. (1991). *Agrometeorología.* Ediciones Mundi Prensa, 390 pp.

Diro, G.T, Rausher, S.A, Giorgi, F. and Tompkins, A.M. (2012). Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4. *Climate Research.* 52, 31-48. doi: 10.3354/cr01049

Elguindi, N., B.I. X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S. y Zakey, A. (2007). *RegCM Version 3.1 User's Guide*. Italia, 57 pp.

Espinoza, J., Ortega, R., Palacios, A. y Guillén, A. (2011). Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino. *Revista MVZ Córdoba* 16(1):2302-2309.

FAO (2007). *Cambio climático y seguridad alimentaria: Un documento marco. Resumen.* Grupo de Trabajo Interdepartamental de la FAO sobre el Cambio Climático. Recuperado 24 de enero de 2016. http://www.fao.org/clim/index_en.htm.

Fuentes-Franco, R., Coppola, E., Giorgi, F., Pavia, E.G., Tefera, Diro, G., and Graef, F. (2015). Inter-annual variability of precipitation over Southern Mexico and Central America and its relationship to sea surface temperature from a set of future projections from CMIP5 GCMs and RegCM4 CORDEX simulations. *Climate Dynamics.* 45, 425-440.

Hurtado-Sosa, E.G., Ledesma-Placencia, M. y Díaz-Barrios, C.R. (2014). Efectos de las altas temperaturas en vacas en lactación. *Revista Infociencia* 18(2).

IPCC (2007). *Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability.* Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas.* Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica MundialGinebra, Suiza. 34 pp.

Jones, R., Noguer, M., Hassell, D., Hudson, D., Wilson, S., Jenkins, G. and Mitchell, J. (2004). *Generating High Resolution Climate Change Scenarios Using PRECIS Handbook.* Met Office Hadley Centre. Exeter, UK, 40 pp.

Karmalkar, A. V., Taylor, M. A., Campbell. J., Stephenson. T., New. M., Centella, A., Bezanilla, A., and Charlery, J. (2012). A Review of Observed and Projected Changes in Climate for the Islands in the Caribbean. *Atmósfera*. 26, 283-309.

López, O., Lamela, L. y Sánchez, T. (2003). Diagnóstico de la eficiencia reproductiva de los rebaños lecheros y factores que la afectan. *Pastos y Forrajes* 26(1).

Nova, A. (2015). *El modelo agrícola y los lineamientos de la política económica y social en Cuba. Editorial de Ciencias sociales.* La Habana, Cuba, 198 pp.

ONEI-Oficina Nacional de Estadística e Información (2015). Panorama Uso de la Tierra Cuba 2014. Recuperado en enero de 2016. www.onei.cu.

Planos, E.O., Vega, R. y Guevara, A. (Editores) (2013). *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba.* Editorial AMA. Instituto de Meteorología. Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba, 430 pp.

Taylor, M. A., Centella. A., Chalery, J., Borrajero, I., Bezanilla, A., Campbell, J., Rivero, R., Stephenson, T.S., Whyte, F. and Watson, R. (2007). *Glimpses of the future. A briefing from the PRECIS Caribbean Climate Change Project.* Caribbean Community Climate Change Center. Belmopan, Belize, 24 pp.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., and Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 93(4):485-498.

Thornthwaite, C.W. and Matter, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology.* 10(3):185-311.

UNEP -United Nations Environment Programme. (1992). *World atlas of desertification.* Edited by N. Middleton and D. S. G. Thomas. Edward Arnold, London, 1992. 69 pp. ISBN 0 340 55512 2.

CAPÍTULO 6

Vulnerability assessments in Jamaica

Pietra Brown

Climate Studies Group Mona-University of the West Indies, Jamaica, pietra.brown@gmail.com

Resumen

En este artículo se discute sobre la vulnerabilidad al cambio climático en Jamaica, considerando sus tres componentes (sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación) y cómo se manifiesta localmente. La nación forma parte de los Pequeños Estados Insulares del Caribe (SIDS, por sus siglas en inglés) y el clima es una parte inherente a los medio de vida de la población y de sectores como la agricultura, la cual es dependientes de la estacionalidad de las lluvias o de la variabilidad de eventos atmosféricos a gran escala como El Niño. La vulnerabilidad en Jamaica tiende a exacerbar los efectos sobre sectores de la población, ya de por si vulnerables, como los ancianos, los trabajadores externos y los pequeños empresarios.

Palabras clave: Pequeños estados insulares del Caribe, Inundaciones, Huracanes, Lluvias.

Abstract

This article discusses Jamaica's vulnerability to climate change by examining the three components of vulnerability (sensitivity, exposure and adaptive capacity) and how it is manifested locally. As one of the Caribbean's Small Island States (SIDS), climate is an inherent part of Jamaica's daily livelihood with sectors such as agriculture being dependent on the seasonality of rainfall or the variability of large-scale atmospheric events such as El Niño. Jamaica's vulnerability also manifests itself in the exacerbation of pre-existing vulnerabilities and an expanded range of vulnerable populations such as old people, outside workers and small business operators.

Keywords: Small island states of the Caribbean, Floods, Hurricanes, Rains.

6.1. Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) defines vulnerability as the degree to which a system is susceptible or unable to cope with adverse effects of climate change including climate variability and extremes (IPCC, 2013). Vulnerability is therefore, a mixture of exposure, sensitivity and ability to cope (adaptive capacity) (Taylor, 2015). This report will briefly discuss Jamaica's exposure to climate extremities, its sensitivities due to its economic dependence on climate patterns and its ability to cope with the impacts of extreme climate events due to resource constraints. Discussion will also include local efforts to build resilience to climate change on the island and the extent to which climate change exacerbates pre-existing vulnerabilities and expands the range of vulnerable groupings.

Jamaica's topography is shaped with hilly slopes and coastal areas where approximately 80% of Jamaica's 2.8 million inhabitants live within 1 km of our coastline (Government of Jamaica, 2015).

6.2. Exposure

Jamaica is highly vulnerable to climate change due to the high degree of exposure to climate extremes. This small island developing state is located within the path of the Hurricane Belt of the Atlantic Ocean (known as the Main Development Region) which is evidenced by strong tropical hurricanes (Taylor, 2015). From 2001-2012, Jamaica has experienced over 10 tropical cyclones including tropical hurricanes and storms that have been very damaging to its economy and gravely affected its gross domestic product (GOJ, 2015). See Table 6.1 below.

Table 6.1. Impact of Extreme Events on Jamaica's Gross Domestic Product (Taylor, 2015).

Extreme Event	Year	Category	Impact (% GDP)
Hurricane Michelle	2001	4	0.8
May/June Flood Rains	2002		0.7
Hurricane Charley	2004	4	0.02
Hurricane Ivan	2004	3	8.0
Hurricanes Dennis & Emily	2005	4	1.2
Hurricane Wilma	2005	5	0.7
Hurricane Dean	2007	4	3.4
Tropical Storm Gustav	2008		2.0
Tropical Storm Nicole	2010		1.9
Hurricane Sandy	2012	1	0.9

Tropical North Atlantic temperatures relative to temperatures in the equatorial Pacific Ocean is a major driver of Caribbean rainfall, and contributes significantly to the region's characteristic bimodal pattern in rainfall (Taylor *et al.,* 2002; Stephenson *et al.,* 2008). The tropical North Atlantic/equatorial Pacific temperature gradient has big implications for rainfall and drought events in the Caribbean region under climate change (Whyte *et al.,* 2008). When the Caribbean temperatures are colder (warmer) relative to the equatorial Pacific, conditions conducive to rainfall are suppressed (enhanced). With rising temperatures in both the North Atlantic and Pacific regions, the Caribbean Small Island Developing States (SIDS) may face fewer rainfall events, more frequent El Niño and drought events (Campbell *et al.,* 2011; Nurse and Charlery, 2014). Shifts in the timing of the dry and wet seasons may also occur (Gamble *et al.,* 2010) with possible changes to agricultural planting and harvesting seasons.

Jamaica's rainfall follows a bimodal pattern, with an early wet season (March-April-May), a mid-summer drought (June-July-August), and a late wet season (August-September-October). The early and late wet seasons are separated by a dry period known as the mid-summer beginning in June (CSGM, 2012). Jamaica's dry season is susceptible to sporadic rainfall events and fronts which often yield flooding. During its wet seasons, the country is also oftentimes susceptible to flooding even outside of the North Atlantic hurricane season (June-November).

Heavy rainfall and flooding events destroy livestock and damage Jamaica's commercially viable standing export plants such as coffee, sugar cane and bananas. Flooding also damages infrastructure, sometimes displacing coastal communities (GOJ, 2011). It also disrupts the academic progress of students in some rural areas who have to traverse road networks now damaged by floods (Spencer *et al.,* 2016).

Jamaican rainfall is highly variable temporally and spatially. The result is that some years are wetter than others, and regions across Jamaica show different patterns of rainfall and temperature. Thus, some regions of Jamaica are more prone to heavy rainfall events or vice versa (GOJ, 2016). According to the State of the Climate Report 2012, Jamaica's rainfall pattern has become much more variable in recent years, manifested as changes in the intensity and frequency of events. This variability is associated with climate change which is also impacting the island through a reduction in peak rainfall during rainy periods, shorter and more intense rainfall events, and a shift in timing of the midsummer dry spell.

Drought occurrence and length have also increased in recent years. In 2014, for example, Jamaica experienced the worst drought in decades as the normal midsummer dry spell extended for four months, devastating Jamaica's economy. This severe lack of rainfall, led to food shortages, water restrictions and local food insecurity (The Gleaner, 2015a).

6.3. Sensitivity

Jamaica is also extremely sensitive to climate change as Jamaican livelihood revolves around climate variability. Climatic patterns guide work and recreational activities and patterns (Taylor, 2015). The majority of Jamaica's population live and work along the coast. Power generation plants, tourist resorts, and human settlements also lie on or near to coastal planes. Many of these infrastructures have already felt the impacts of climate with rising sea levels and increased beach erosions (The Gleaner, 2015b) and increased storm surges through powerful hurricanes.

Most Caribbean (SIDS) rely on groundwater and surface water sources to supply local water demand (Taylor *et al.,* 2015). For Jamaica, water is sourced mainly from groundwater sources, contributing 84% to Jamaica's water supply. Groundwater sources are recharged through rainfall activity. Therefore, the availability of water is susceptible to changes in climatic conditions and is expected to decline as the Caribbean region continues to dry towards the end-of-century.

Jamaica's tourism sector is particularly vulnerable to climate change. Tourism generates approximately USD 2 billion for Jamaica's economy annually. However, with sustained increases in temperatures, the local product of sun, sand and sea is currently being threatened by climate change. Beaches around the island face more frequent erosion events, as in the case of Hellshire Beach (The Jamaica Observer, 2011). Coral reefs, which provide a habitat for Jamaica's marine wildlife, suffer frequent thermal stress due to warmer sea surface temperatures. The result is the migration of commercially viable fish stocks, the destruction of marine habitat, and increased invasion of foreign marine species. Increased thermal stress of corals also results in murkier waters (Jackson *et al.,* 2014). With a warmer climate, there will also be an increasing energy demand, exacerbating the costs of climate control and cooling aids for hotels and tourist resorts (Chen, 2011). There is also an increasing risk of tourists and outside workers to get heat strokes and other heat related illnesse. Furthermore, hurricanes which are slated to increase in magnitude and frequency will also devastate the tourism sector as this will result in cancellations and displacement of visitors and damage to many coastal infrastructure including hotels.

Agriculture also proves to be an extremely vulnerable sector in Jamaica (CSGM, 2012). Increasing temperatures has led to the increase in a number of pests and longer drought periods, resulting in a significant decline in crop output and consequently, a high food importation bill (The Gleaner, 2015a). The Beet Army Pestworm is an agricultural insect whose population grows with increasing temperatures. For an example, the spread of the Beet Army worm has led to a significant increase in the devastation of onion and escallion crops in the parish of St. Elizabeth, leading to losses amounting to USD $140 million dollars in 2012 (Sherwood, 2015).

Jamaica is therefore extremely sensitive to climate change as it has a significant impact on economic growth, health and livelihoods. Table 6.2 below shows a synopsis of the impact of climate change on the tourism, agriculture and the health sectors.

Table 6.2. Impacts of Climate Change on Health, Agriculture and Water (CSGM, 2012).

Climate Change Variable/ Extreme events	Impact
Health	
Increasing temperature	Increasing temperatures can lead to the emergence of mosquito borne diseases. This is because higher temperatures also speed the life cycle of the *Aedes aegypti* mosquito and the disease organisms they harbour and make adult mosquitoes bite more often. Furthermore a 2-3 degree rise in temperature results in shorter incubation periods for the virus and can lead to a threefold increase in the dengue fever transmission. Dengue haemorrhagic fever could be increased.
Agriculture	
Droughts	Drought conditions can affect agro biodiversity. They can lead to large scale losses of cattle and lower reproduction rates among livestock. It threatens local agriculture which demands 75% of local water supply. Droughts can also lead to a decline in soil fertility and degradation. Malnutrition could also happen as a result of drought which can lead to a disruption in food supply and distribution.
Water	
Water	84% of exploitable water comes from underground resources and is recharged by rainfall patterns which are subjected to climatic conditions. Current climate trends in rainfall in the Caribbean region are projected to decline by 2100.

6.4. Ability to cope

The capacity of Jamaica and by extension the Caribbean to cope with climate impacts is being challenged, not just by the magnitude of the climatic events but also by the increasingly recurrent nature of the threats. Climate change threatens to derail the Vision 2030-'National Development Plan', which is Jamaica's National Development Plan to make Jamaica achieve developed country status by 2030. Vision 2030 is the national roadmap for making Jamaica "the place to work, raise families and do business'. However, given Jamaica's climate-sensitivity, climate change has and will continue to limit Jamaica's advances with respect to development if no action is taken to reduce the island's vulnerability.

For this reason, many opportunities for projects geared towards resilience building and adaptation efforts at both the community and national level have been made available. Currently vulnerability

assessments are currently underway in Jamaica by many research institutions and government bodies such as the University of the West Indies, CARIBSAVE, the National Environment and Planning Agency, the Ministry of Local Government and Community Development, the Office of Disaster Preparedness and Emergency Management and other relevant authorities.

One notable vulnerability assessment was taken in Negril, under the Risk and Vulnerability Assessment Methodology Development Project (RiVAMP). This RIVAMP tool considers ecosystems and climate change factors in the analysis of disaster risk and vulnerability. This project targets SIDS which are particularly vulnerable to sea level rise, flooding and tropical cyclones. It uses an evidence-based scientific approach combined with a stakeholder consultation approach. The European Union funded, Government of Jamaica (GOJ) and United Nations Environment Programme (UNEP)-backed Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction project also focussed on efforts to build local resilience in Jamaica including mangrove and artificial reef replanting, reforestation of some mountainous areas, public education and awareness-raising efforts and research.

Climate change will, however, continue to exacerbate pre-existing vulnerability and expand the range of vulnerable groupings. Sportspeople, outside workers, tourists, small businesses, household workers, the chronically ill, the elderly and women are amongst the growing new groupings vulnerable to the unpredictability that characterises climate change, even though they were previously unaffected. This is why building resilience should be a national priority.

Therefore more vulnerability assessments need to be done across the length and breadth of Jamaica. However there is a lack of technical knowledge and resources to materialise these efforts.

6.5. Conclusion

Jamaica is extremely vulnerable to climate change because it remains sensitive, exposed to the impacts and has less ability to cope. Climate change threatens to derail Jamaica's national development plan. It is also exposing new vulnerable groups and expanding the range of vulnerabilities and vulnerable populations. However, efforts are being done in capacity building and adaptation and mitigation efforts to build resilience to climate change, which will be a persistent problem.

6.6. References

Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Watson, R. A. and Whyte, F. S. (2011). Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology*, *31*(12), 1866-1878. http://doi.org/10.1002/joc.2200

Chen, A. (2011). Presentation entitled "Impacts of climate change on renewable energy systems" presented to the Renewable Energy Forum, St. Thomas, US Virgin Islands. September 20-21 (This presentation can be acquired from the Climate Studies Group, Department of Physics, University of the West Indies, Mona)

CSGM - Climate Studies Group Mona. (2012). *State of the climate report: Information for resilience building,* 16 Oxford Road, Kingston 5, Jamaica, West Indies

Gamble, D. W., Campbell, D., Allen, T. L., Barker, D., Curtis, S., McGregor, D. and Popke, J. (2010). *Climate change, drought, and Jamaican agriculture: local knowledge and the climate record.* Annals of the Association of American Geographers, 100(4), 880-893.

GOJ - Government of Jamaica. (2011). The second national communication of Jamaica to the United Nations Framework Convention Climate Change, National Meteorological Service Jamaica, 65¾ Half Way Tree Road. Kingston 10, Jamaica, 409 pp..

GOJ - Government of Jamaica. (2015). *Climate change policy framework*, Retrieved from http://www.mwh.gov.jm/Library/Public/Climate%20Change/Climate%20Change%20Policy%20Framework%20Final.pdf

GOJ - Government of Jamaica. (2016). The third national communication of Jamaica to the United Nations Framework Convention Climate Change, National Meteorological Service Jamaica, 65 ¾ Half Way Tree Road (not yet published)

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Fifth assessment report, Climate change 2013: The Physical Science Basis.* Retrieved from http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

Jackson, J., Donovan, M., Cramer, K. and Lam, V. (2014). Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970-2012 (RPRT). (J. Jackson, M. Donovan, K. Cramer, & W. Lam, Eds.). Gland, Switzerland: Global Coral Reef Monitoring Network.

Nurse, L. A. and Charlery, J. L. (2014). Projected SST trends across the Caribbean Sea based on PRECIS downscaling of ECHAM4, under the SRES A2 and B2 scenarios. Theoretical and Applied Climatology, 1–17.

Sherwood, M. (2015). *Status Report on the Beetarmy Pestworm (Spodoptera exigua) Pest Forecasting System*, Ministry of Agriculture and Fisheries, Research and Development Division.

Spencer, N., Polachek, S. and Strobl, E. (2016). How do hurricanes impact scholastic achievement? A Caribbean perspective. Natural Hazards, *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazard*. ISSN 0921-030X

Stephenson, T. S., Chen, A. A., & Taylor, M. A. (2008). Toward the development of prediction models for the primary Caribbean dry season. Theoretical and Applied Climatology, 92(2007), 87-101. http://doi.org/10.1007/s00704-007-0308-2

Taylor, M. (2015,September 29). Presentation entitled "Climate change impacts and Jamaica: 2 Things to Note; 3 Things to Consider; 1 Thing to Do" at Component 1 Third National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change

Taylor, M. A. (2015). *Why Climate Demands Change*. Grace Kennedy Foundation

Taylor, M. A., Enfield, D. B. and Chen, A. A. (2002). Influence of the tropical Atlantic versus the tropical Pacific on Caribbean rainfall. *Journal of Geophysical Research,* 107(C9), 3127. http://doi.org/10.1029/2001JC001097

The Gleaner (2015a). Fire drought dry spell bedevils farmers but expect more than average rainfall. Retrieved from http://jamaica-gleaner.com/article/lead-stories/20150512/fire-drought-dry-spell-bedevils-farmers-expect-more-average-rainfall, October 27,2016

The Gleaner (2015b). Sea-level Rise a daunting reality in St.Thomas. http://jamaica-gleaner.com/article/lead-stories/20150826/sea-level-rise-daunting-reality-st-thomas. Accessed October 27, 2016.

The Jamaica Observer (2011). Hellshire Beach threatened. Retrieved from http://www.jamaicaobserver.com/environment/Hellshire-Beach-threatened_9066133. October 27, 2016.

Whyte, F. S., Taylor, M. A., Stephenson, T. S. and Campbell, J. D. (2008). Features of the Caribbean low level jet. *International Journal of Climatology,* 28(1), 119–128. http://doi.org/10.1002/joc.1510

Es inequívoco que las acciones humanas han cambiando el clima, y que esto representa una amenaza para los sistemas humanos y naturales de Centro América, el Caribe y México. Estos territorios, particularmente expuestos a diferentes fenómenos hidrometeorológicos, conforman una región geográfica con características que los sitúan como una de las zonas más vulnerables a los efectos del cambio climático, por lo que es necesario y prioritario generar estrategias de adaptación al cambio climático, en ella.

En este libro *Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Propuestas para Métodos de Evaluación,* el lector podrá encontrar diferentes aspectos que son fundamentales para realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad actual y futura, dentro del proceso de adaptación al cambio climático.

Un aspecto corresponde con el análisis de la variabilidad climática, particularmente con los eventos climáticos extremos, otro corresponde con la utilización de los escenarios de cambio climático, para analizar la dimensión actual y de cambio en las variables fundamentales del clima. Otros, corresponden con la evaluación de los impactos potenciales derivados del cambio climático en el periodo de crecimiento de cultivos como el maíz y la caña de azúcar, y finalmente con la evaluación de la vulnerabilidad.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en el marco de la Plataforma de Colaboración entre la República de Corea y México, junto con los diferentes países de esa región, han buscado fortalecer sus capacidades a partir del intercambio de conocimientos y de experiencias sobre el tema de cambio climático, en este libro se cristaliza ese esfuerzo.

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
INECC
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO
KOICA
Korea International Cooperation Agency
AMEXCID
AGENCIA MEXICANA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO