



El Colegio de la Frontera Sur

Cambio Climático y Políticas Públicas sobre la
Producción de Maíz en la Península de
Yucatán

TESIS

Presentada como requisito parcial para optar por el grado de
Doctora en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable

por:

M.C. Silvia Sofía Márdero Jiménez

2018



El Colegio de la Frontera Sur

Chetumal Quintana Roo, a 31 de Octubre de 2018.

Las personas abajo firmantes, miembros del jurado examinador

de: **Silvia Sofía Márdero Jiménez**

hacemos constar que hemos aprobado la tesis titulada:

**Cambio Climático y Políticas Públicas sobre la Producción de Maíz
en la Península de Yucatán**

Para obtener el grado de Doctor (a) en Ciencias en Ecología y Desarrollo
Sustentable

	Nombre	Firma
Director (a)	<u>Birgit Schmook</u>	_____
Asesor (a)	<u>Claudia Radel</u>	_____
Asesor (a)	<u>Ramón Mariaca</u>	_____
Asesor (a)	<u>Zachary Christman</u>	_____
Sinodal adicional	<u>Pedro Macario Mendoza</u>	_____
Sinodal adicional	<u>Santana Navarro Olmedo</u>	_____
Sinodal adicional	<u>Jorge Omar López Martínez</u>	_____

Agradecimientos y dedicatoria

Agradezco a Dios, por darme salud, paciencia y perseverancia.

A CONACYT por la beca otorgada.

A mi Tutora Birgit Schmook por el apoyo, el tiempo dedicado, y las enseñanzas.

A mi consejo tutelar: Claudia Radel, Zachary Christman y Ramón Mariaca.

A mi familia, por el apoyo incondicional, la paciencia, el impulso y el sacrificio.

A la banda chetumaleña, que me ha acompañado estos años y me ha dado ánimos cuando los necesito.

A mis perros, porque son los seres que más me han ayudado a mantener la cordura.

A Bacalar y A&B por la inspiración.

I. INTRODUCCIÓN

- I.I Cambio Climático
- I.II Cambio Climático y Agricultura
- I.V Doble exposición
- V. Políticas Públicas de acción al CC
- VI. Marco Teórico Metodológico
- VII. Objetivos
- VIII. Hipótesis

II. CAPITULO I

El Maíz en México: La Milpa y las Políticas Agrícolas

III. CAPITULO II

Artículo: The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico

IV. CAPITULO III

Distribución e intensidad de la precipitación.

Artículo: Recent disruptions in the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Mexico

V. DISCUSIÓN

VI. CONCLUSIONES GENERALES

VII. LISTA DE REFERENCIAS

RESUMEN

El maíz es la base de la alimentación en México, y la reciente intensificación de la variabilidad climática, en combinación con otras fuerzas no climáticas, ha dificultado la producción, especialmente para los pequeños agricultores. Las temperaturas y la precipitación han sido modificadas por los cambios climáticos recientes, exacerbando las dificultades ya impuestas a la agricultura tradicional mexicana por la política agrícola neoliberal. Esta investigación muestra la influencia de dichos factores en las tendencias de producción de maíz en los tres estados de la Península de Yucatán utilizando un enfoque de métodos mixtos: análisis climáticos y entrevistas semiestructuradas.

Análisis de tendencias climáticas y modelos aditivos generalizados (GAM) demuestran las relaciones entre la producción y la variabilidad climática, de 1980–2010 a nivel estatal; además otros seis métodos fueron utilizados (prueba de Mann-Kendall, enfoque fuzzy-logic, índice GINI, Índice de Concentración de Precipitación (PCI), Índice de intensidad de Precipitación Simple (SDII) e Índice de Anomalía de Precipitación (RAI)) para analizar más profundamente los patrones de distribución e intensidad de la precipitación, utilizando el municipio de Calakmul como área piloto.

Los datos de cuarenta entrevistas con funcionarios gubernamentales y representantes de asociaciones de agricultores resaltan la influencia de la política agrícola en la producción de maíz en la región.

El análisis de tendencias climáticas mostró una disminución de precipitación solo para Quintana Roo y una variabilidad en las temperaturas máximas en la región, aumentando en el estado de Yucatán y Quintana Roo, disminuyendo en Campeche. Los GAM indican una fuerte relación entre las tendencias de producción y las tendencias climáticas para Campeche (79%) y Quintana Roo

(72%), y una relación más débil para el estado de Yucatán (31%). Las tendencias de precipitación en Calakmul indican un ligero aumento, sin embargo, los resultados de los índices (GINI, SDII, PCI) muestran que la distribución de las lluvias se ha concentrado más, y se han vuelto más intensas, con mayor variabilidad interanual, que sugiere que la región de Calakmul está experimentando patrones de precipitación más extremos que antes.

Derivado de las entrevistas, los informantes identificaron la variabilidad de la precipitación y las políticas públicas ineficaces como principales obstáculos para la producción de maíz y para el desarrollo agrícola de los pequeños agricultores, incluido el diseño inadecuado de los programas agrícolas, apoyos inconsistentes y mala organización de los agricultores. Al caracterizar cómo el cambio climático y las políticas agrícolas concurrentes se combinan para influir en la producción de maíz, esta investigación puede proporcionar información a los tomadores de decisiones, para un diseño e implementación de políticas más apropiadas.

Palabras clave: Variabilidad climática, precipitación, maíz, milpa, Península de Yucatán, Políticas Agrícolas.

I. INTRODUCCIÓN

Cambio Climático

El clima de la Tierra ha cambiado a lo largo de la historia. Sólo en los últimos 650,000 años, ha habido siete ciclos de avance y retroceso glacial, con el final abrupto de la última era de hielo, hace unos 7,000 años, marcando el comienzo de la era climática moderna y de la civilización humana (NASA 2017; Ramaswamy et al. 2016). La mayoría de estos cambios climáticos se atribuyen a variaciones muy pequeñas en la órbita de la Tierra que cambian la cantidad de energía solar que nuestro planeta recibe (NRC 2006).

Sin embargo, en décadas recientes los cambios en el clima se han convertido en un tema de gran importancia porque la mayoría de las causas (95%) son resultado de la actividad humana desde mediados del siglo XX (Quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) 2014; Leggett 2012; Skoufias y Vinha 2012).

La definición más general de *Cambio Climático* es un cambio en las propiedades estadísticas -principalmente el promedio y dispersión- del sistema climático durante periodos largos de tiempo, independiente de si son causas naturales o antropogénicas (IPCC 2007). Sin embargo, debido a la incidencia de las actividades humanas en estos cambios climáticos durante las últimas décadas, el término es ya usado para referirse específicamente al cambio climático causado por la actividad humana, en lugar de cambios en el clima que pueden haber sido resultado de los procesos naturales de la Tierra.

En este sentido, *Cambio Climático* se ha convertido en sinónimo de *Calentamiento Global Antropogénico*, que se refiere a la tendencia ascendente de la temperatura en todo el planeta desde principios del siglo XX, y más recientemente en la década de 1970, debido al aumento de las emisiones de combustibles fósiles desde la revolución industrial (NASA 2017).

Manifestaciones del Cambio Climático

De acuerdo con información del Cuarto y Quinto Informe del IPCC (2007; 2014), el portal del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), y de la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL), evidencia observada en todos los continentes y la mayoría de los océanos muestra que muchos sistemas naturales se han visto afectados por los cambios climáticos globales y regionales, particularmente por los aumentos de temperatura.

Estos aumentos de temperatura son responsables de cambios en la cobertura de nieve y hielo, lo que provoca cambios en algunos ecosistemas árticos y antárticos y produce modificaciones en el tamaño de los glaciares, y aumenta paulatinamente el nivel del mar.

Las temperaturas más cálidas también son asociadas a cambios en los rangos y en la abundancia de algas, plancton y peces, así como cambios en la salinidad, niveles de oxígeno y corrientes.

En cuanto a los ecosistemas terrestres, las temperaturas más cálidas han provocado entre otras cosas, desplazamientos de plantas y animales hacia mayores latitudes, pérdida de biodiversidad y cambio en la composición de los ecosistemas, alteración de los ciclos biológicos, así como alteración de los vectores de enfermedades infecciosas en ciertas áreas y aumento de la mortalidad a causa de las temperaturas extremas, mayor propensión a incendios forestales, desertificación, estrés agrícola.

Sin duda uno de los efectos más preocupantes del aumento de las temperaturas a nivel mundial son las alteraciones al ciclo hidrológico. El aumento del calentamiento conduce a una mayor evaporación y, por lo tanto, a un secado superficial, lo que aumenta la intensidad y la duración de la sequía. Sin embargo, la capacidad de retención de agua del aire aumenta en aproximadamente un 7% por calentamiento de 1 ° C, lo que conduce a un aumento del vapor de agua en la atmósfera. Por lo tanto, las tormentas, ya sean tormentas individuales, lluvia

extratropical o tormentas de nieve, ciclones tropicales, suministrados con mayor humedad, producen eventos de precipitación más intensos (Trenberth 2011).

Se observa que estos eventos son muy frecuentes, incluso cuando la precipitación total está disminuyendo, esto aumenta los riesgos de inundaciones. En los trópicos y subtropicos, los patrones de precipitación están dominados por cambios a medida que cambia la temperatura de la superficie del mar, con El Niño como un buen ejemplo.

Aumento global de las temperaturas

La temperatura promedio de la superficie del planeta ha subido cerca de 1.62 grados Fahrenheit (0.9 grados Celsius) desde fines del siglo XIX (NOAA¹). Cada una de las últimas tres décadas ha sido sucesivamente más cálida en la superficie de la Tierra que cualquier década anterior desde 1850, un cambio impulsado en gran parte por el aumento del dióxido de carbono y otras emisiones producidas por el hombre a la atmósfera (Kurukulasuriya y Rosenthal 2003). El período de 1983 a 2012 fue probablemente el período de 30 años más cálido de los últimos 1400 años en el hemisferio norte. A nivel mundial, no solo fue el 2016 el año más cálido registrado, sino ocho de los 12 meses que componen el año (de enero a septiembre, con la excepción de junio) fueron los más cálidos en registro para esos meses respectivos². Los datos de temperatura promedio de la superficie terrestre y oceánica combinados mundialmente y calculados por una tendencia lineal muestran un calentamiento de 0.85° en promedio durante el período 1880 a 2012³.

México no es ajeno a estas afectaciones: de hecho, es uno de los países más vulnerables ante el cambio climático. Los impactos de este fenómeno en nuestro país son tales, que han sido considerados un tema de “seguridad estratégica” (Estrategia Nacional de Cambio Climático ENACC, 2007). Desde la

¹ <https://www.ncdc.noaa.gov/indicators/>

² <https://www.ncdc.noaa.gov/indicators/>

³ <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/>

década de 1960, las temperaturas promedio a nivel nacional aumentaron en 0.85° C promedio, y las temperaturas invernales en 1.3°C, reduciendo también la cantidad de días más frescos, y presentándose más noches cálidas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; Verhulst et al. 2011). Para el año 2100, diversos modelos matemáticos coinciden que la temperatura en México aumentará 4°C en la zona fronteriza con Estados Unidos de América, y se estima que en el resto del país aumentarán entre 2.5 y 3.5 °C.

Cambios en los patrones de precipitación

Los patrones globales de precipitación se están moviendo en nuevas direcciones debido al cambio climático. Los modelos climáticos predicen que el aumento de gases de efecto invernadero desplazará las precipitaciones de dos formas principales: el primer cambio está en el "fortalecimiento" de los patrones de precipitación existentes. Esto se conoce comúnmente como "húmedo, más húmedo, seco, más seco"; y el segundo, es un cambio en las vías de las tormentas que se alejarán del ecuador y hacia los polos a medida que cambia la circulación atmosférica (Ogburn 2013).

Los registros de precipitación se extienden a lo largo el siglo XX, y presentan grandes variaciones de un año a otro y en escalas de tiempo decenales. Sin embargo, algunos patrones a gran escala de cambio sistemático son evidentes (Trenberth et al. 2007a). En general, ha disminuido la precipitación en los subtrópicos y trópicos fuera de la depresión monzónica, y ha aumentado en latitudes más altas, especialmente en América del Norte, Eurasia y Argentina. Las disminuciones son especialmente evidentes en el Mediterráneo, sur de Asia y en toda África. En regiones del norte, más precipitación caen como lluvia en lugar de nieve (Knowles et al. 2006; Mote 2003).

Numerosos estudios globales basados en Modelos de Circulación General (MCG) han indicado el potencial de impactos desiguales en las precipitaciones con aumentos en muchas partes del globo y disminuciones en otras (IPCC 2014; Kharin y Zwiers 2000, 2005; Semenov y Bengtsson 2002; Walt et al. 2002). Estos

cambios en la cantidad pueden ir acompañados de un aumento en los eventos de precipitación extrema, un aumento en el número de días secos y una pronunciada variabilidad regional como efecto del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Paeth et al. 2011; Stephens y Hu 2010; Trenberth 2011; Zhang et al. 2007).

Debido a que el mantenimiento de los recursos hídricos y la disponibilidad del agua dependen no solo de cambios en el total de precipitación, sino también de la frecuencia, intensidad y distribución de la misma, los cambios en estas características podrían representar importantes amenazas económicas, ecológicas y sociales (Leung y Qian 2003; Li et al. 2011; Zhang et al. 2009).

Los países en desarrollo como México, probablemente, serán los más expuestos a los efectos del Cambio Climático, ya que con regularidad son los menos preparados para enfrentar los impactos de este fenómeno, debido a restricciones financieras y tecnológicas que limitan sus capacidades para crear tecnología o infraestructura (Adger et al. 2003; Agrawala et al. 2008; Smit y Wandel 2001).

Cambio climático y agricultura

Numerosos factores dan forma e impulsan el sector agrícola. Fluctuaciones del mercado, cambios en las políticas agrícolas nacionales e internacionales, prácticas de gestión, términos de comercio, tipo y disponibilidad de tecnología, extensionismo, regulaciones de uso de la tierra y características biofísicas se encuentran entre los principales factores de influencia. Dado su vínculo inherente con los recursos naturales, la producción agrícola también se encuentra a merced de las incertidumbres impulsadas por las variaciones en el clima, incluidos eventos extremos como inundaciones y sequías (Eitzinger et al. 2010; Kurukulasuriya y Rosenthal 2013).

Las precipitaciones, la evaporación y la temperatura son factores determinantes para la productividad agrícola (Adams et al. 1998; Gornall et al.

2010; Rosenberg 1992), así como un factor fundamental en el desafío de satisfacer las crecientes necesidades alimentarias del mundo (Risbey et al. 1999).

Dado que el cambio climático ya está provocando una mayor escasez de agua, cambios en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura (Hendrix et al. 2007; Lobell et al. 2008), los modelos climáticos muestran una alta probabilidad (> 90%) de que al final del siglo XXI, las temperaturas de la temporada de crecimiento de muchos cultivos superarán las temperaturas estacionales más extremas registradas en el siglo pasado (Battisti y Naylor 2009). Si bien es probable que un aumento de la temperatura de algunos grados mejore el rendimiento de los cultivos en las zonas templadas, en muchas zonas tropicales, incluso los aumentos mínimos de temperatura pueden ser perjudiciales para la producción de alimentos (Lobell y Burke 2008; Skoufias 2013). Las altas temperaturas reducen los rendimientos de los cultivos al afectar una variedad de procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares. También se espera una escasez de agua y de otros recursos a largo plazo; empeoramiento de las condiciones del suelo, aumento en la intensidad y frecuencia de sequías, aumento de inundaciones y daños por tormentas, desertificación, brotes de enfermedades y plagas en cultivos y ganado, aumento del nivel del mar, entre otros (Rosenzweig et al. 2002).

Es innegable que los agricultores tienen un largo historial de adaptación a los impactos de la variabilidad del clima, sin embargo, el reciente cambio climático antropogénico representa un enorme desafío que pondrá a prueba la capacidad de los agricultores para adaptarse y mejorar sus medios de vida y la velocidad a la que lo harán (Adger et al. 2007). Investigaciones recientes apuntan a diversos impactos negativos del cambio climático en los pequeños agricultores (ver por ejemplo Harvey et al. 2014; Hertel y Rosch 2010). El caso de los países en desarrollo (Fischer et al. 2005; Jones y Thornton 2003; Morton 2007) es significativo porque muchas zonas agrícolas en las latitudes bajas ya experimentan climas demasiado calurosos y los agricultores pobres están menos preparados para adaptarse a los cambios climáticos (Mendelsohn 2008). Esta

situación los coloca en una posición altamente vulnerable (Maharjan & Joshi 2013).

Se espera que México esté entre los países más afectados en esta relación cambio climático/agricultura. Por ejemplo, en el noroeste del país las zonas afectadas por sequías son cada vez más acentuadas, mientras que en el sureste son más constantes las inundaciones; además de los fenómenos meteorológicos extremos y una endeble estructura socioeconómica (Ruíz-Corral et al. 2011). Los modelos de cambio climático sugieren una tendencia de sequía y calentamiento en muchas partes de México durante el ciclo principal del maíz primavera/verano (mayo a octubre), y se prevé que esta tendencia se fortalezca con el tiempo. Un gran porcentaje de las comunidades rurales pobres se encuentran en regiones que pueden experimentar las tendencias de disminución de precipitación y aumento de su variabilidad (Bellon et al. 2005), lo cual tendría efectos negativos ya que muchas de estas comunidades dependen del maíz para su sustento. En México, el 72% de la superficie total sembrada es de temporal o secano (SIAP 2016), por lo que la producción agrícola en México podría disminuir en un 25.7% en 2080 como resultado del cambio climático (Cline 2007).

El cambio climático será especialmente perjudicial para la producción de cultivos en sitios donde los suelos se han degradado -debido a la erosión, el agotamiento de los nutrientes, la pérdida de carbono orgánico, el sellado del suelo entre otras causas- hasta tal punto que ya no proporcionan una capacidad adecuada de retención de agua para amortiguar los cultivos contra la sequía y el estrés por calor. Estos efectos serán más severos si el riego no está disponible para compensar la disminución de la lluvia o para mitigar los efectos de temperaturas elevadas (Hellin et al. 2014).

Doble exposición

Otros estudios como los de O'Brien y Leichenko (2000); Eakin (2005); y Silva et al. (2010), demuestran la vulnerabilidad extrema en los países en desarrollo debido a la *doble exposición*, que se refiere a casos donde una región,

sector, ecosistema o grupo social es confrontado tanto por los efectos del cambio climático, como por los efectos de la globalización económica .

A partir de los 1980's, el gobierno mexicano modificó las políticas económicas hacia una mayor liberalización del comercio con reformas estructurales (ver capítulo I) (Schmook et al. 2013). Como consecuencia, el apoyo a la pequeña agricultura disminuyó (Appendini et al. 2003; Echánove y Steffen 2005; Gravel 2007), volviéndola poco rentable y económicamente más arriesgada. La incorporación del maíz al Tratado de Libre Comercio fue el preámbulo de un nuevo giro en las políticas agrícolas (Fritscher 2015). De acuerdo a De Grammont (1995) la política gubernamental del nuevo modelo económico aperturista y desregulador, ha consolidado la polarización del campo mexicano con un 15% de los productores con capacidad productiva que pueden competir en el actual marco económico; el 35% con potencial productivo depende del respaldo de los programas gubernamentales, y el 50% de los productores sin potencial productivo, quedaron aislados del modelo económico . Desde entonces, numerosos autores han confirmado las predicciones de De Grammont (Barkin 2002; Fox y Haight 2010; Morton 2010; Otero 2018) indicando que la actual política agrícola mexicana -que busca impulsar la agricultura comercial intensiva, con una mayor producción en un área menor mediante paquetes tecnológicos prediseñados y sistemas de riego- solo sirve para acentuar la polarización entre los productores del campo.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2001) los principales factores que están afectando negativamente la viabilidad de los pequeños agricultores son: el libre comercio y la competencia desleal de los países del Norte que hacen que los precios de los productos agrícolas domésticos bajen. El control de los principales mercados por algunas corporaciones multinacionales que se benefician con políticas a favor de los agronegocios y dejan fuera a los productores de pequeña escala de la producción. También el robo de patentes de semillas y la dependencia de subsidios económicos para plaguicidas y fertilizantes han perpetuado la dependencia agroquímica de los productores, entre otros (Appendini 2014).

Cambio Climático Y Políticas Públicas: la adaptación y la mitigación.

El potencial para desarrollar sinergias entre el cambio climático, la mitigación y la adaptación se ha convertido en un foco reciente tanto para la investigación como para la política climática. También hay cada vez más énfasis en desarrollar investigaciones para definir la combinación óptima de mitigación y adaptación (Raman et al. 2012). La representación diagramática del cambio climático, la adaptación y la mitigación es importante para conceptualizar el problema, identificar retroalimentaciones importantes y lograr más comunicación entre disciplinas, con una distinción más precisa entre adaptación y mitigación (Barker 2003).

De acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la adaptación es un ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación: preventiva y reactiva, pública y privada, autónoma y planificada.

Por su parte la mitigación, es definida como la intervención antropogénica para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC 2001c). De acuerdo con Klein y colegas (2005) hay tres diferencias principales entre la mitigación y la adaptación: la primera diferencia está relacionada con las escalas espaciales y temporales sobre las cuales son efectivas. Si bien pueden implementarse en la misma escala local o regional, la mitigación tiene beneficios globales, mientras que la adaptación generalmente funciona en la escala del sistema impactado, que es regional en el mejor de los casos, pero principalmente local.

La segunda diferencia entre mitigación y adaptación es la medida en que sus costos y, en particular, sus beneficios pueden ser determinados, comparados

y agregados. A diferencia de la mitigación, los beneficios de la adaptación son difíciles de expresar en una sola medida, lo que dificulta las comparaciones entre las opciones de adaptación (Klein et al. 2005).

La tercera diferencia entre mitigación y adaptación se refiere a los actores y tipos de políticas involucradas en su implementación. Comparado con la adaptación, el número de actores sectoriales involucrados en la mitigación es limitado. En contraste, los actores involucrados en la adaptación representan un gran variedad de intereses sectoriales, incluida la agricultura, turismo y recreación, salud humana, suministro de agua, la gestión costera, planificación urbana y conservación de la naturaleza (Klein et al. 2005).

En 1992, México se unió a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) comprometiéndose a trabajar, junto con otros países, para disminuir los Gases de Efecto Invernadero. Sin embargo, durante la década de los 1990, la mitigación y adaptación no fueron prioridad de la agenda de gobierno. Fue hasta principios del siglo XXI cuando el Gobierno Federal Mexicano definió como uno de sus objetivos más importantes la reducción de emisiones de GEI para el 2050. Para cumplirlo, en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 se definió por primera vez como prioridad el combate al Cambio Climático y se estableció la sostenibilidad ambiental como uno de los ejes transversales de las políticas públicas (Sosa - Rodríguez 2015).

En 2005, se crea la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC) con el objetivo de coordinar las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la prevención y mitigación de emisiones de GEI; la adaptación a los efectos del CC, y en general para promover el desarrollo de programas y estrategias de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en la CMNUCC..

En 2007 se elabora la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC), la cual contiene ejes para que se elabore un Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2009-2012, cuyo objetivo es guiar la mitigación y la adaptación a niveles sectorial y regional.

El PECC se encarga de concretar y desarrollar las orientaciones contenidas en la ENACC, para demostrar que es posible mitigar el Cambio Climático y adaptarse sin comprometer el proceso de desarrollo a través de 294 metas : 86 para mitigación, 142 para adaptación y 66 para otros ejes de política pública transversal., Además el programa tiene equivalencias a nivel estatal.

Específicamente para la Península de Yucatán, la Décimo Sexta Conferencia de las Partes de Cambio Climático de la Convención Marco de las Naciones Unidas que se realizó en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México en 2010, sirvió como marco para la firma del Acuerdo General de Coordinación entre los Estados de la Península de Yucatán (Acuerdo General de Coordinación entre los Estados de la Península de Yucatán) para unir esfuerzos y recursos en el campo de Cambio Climático.

Con este acuerdo se estableció el marco de cooperación institucional para implementar políticas públicas sobre cambio climático con la Comisión Regional de Cambio Climático como principio rector. Las Estrategias Regionales se basaron al principio en tres Proyectos de Gran Visión: REDD +, Adaptación, y Fondo Regional de Cambio Climático.

A nivel estatal, la Ley General de Cambio Climático y la ENACC son los dos instrumentos clave que constituyen el marco normativo nacional e incluyen los Programas Estatales de Acción al Cambio Climático (PEACC).

Los PEACC para los estados de la Península, se publicaron en 2013 (Quintana Roo), 2014 (Yucatán) y 2015 (Campeche). Estos programas tienen tres componentes principales: el inventario de gases de efecto invernadero, escenarios de cambio climático y estrategias de mitigación y adaptación.

Para el sector agrícola, el PEACC de cada estado propone diferentes estrategias y acciones destinadas a la adaptación y mitigación al cambio climático. Específicamente , las líneas de acción definidas para el sector agrícola se inscriben en dos áreas principales: innovación y desarrollo tecnológico y reconversión productiva.

Marco Teórico Metodológico

La presente investigación interdisciplinaria está basada en un enfoque de “métodos mixtos”, que combina métodos cuantitativos y cualitativos (Johnson et al. 2007) para analizar las relaciones entre clima, producción de maíz y políticas públicas, y cómo los diferentes actores experimentan y entienden los resultados de estas interacciones. Lo que implica al menos la integración de discusiones y conclusiones extraídas de varios enfoques diferentes en la investigación (Creswell y Plano Clark 2007; Jones y Bugge 2006).

Aunque la investigación de métodos mixtos no es completamente nueva, es una nueva tendencia en la investigación interdisciplinaria (con un número creciente de miembros) que ha surgido en respuesta a las necesidades actuales para abordar temas que deben estudiarse desde perspectivas diferentes, pero complementarias, utilizando ambos métodos de investigación, cuantitativos y cualitativos y que ofrecen la oportunidad de aprovechar los puntos fuertes de ambos enfoques de investigación (Johnson y Onwuegbuzie 2004; 2007).

En este estudio, el análisis cuantitativo muestra las tendencias y patrones de las variables climáticas y de la producción de maíz, mientras que el enfoque cualitativo revela las dimensiones y los procesos sociales y políticos que influyen en la producción.

Para los estudios del clima y/o del Cambio Climático es necesario tener claras las diferencias entre la variabilidad natural del clima y los cambios por causas antropogénicas. De acuerdo a la definición oficial de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, o UNFCCC por sus siglas en inglés), el Cambio Climático es la alteración del clima mundial que es atribuida directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad del clima natural observada durante períodos de tiempo comparables (ONU/EIRD 2008).

Para el Panel Intergubernamental de CC (IPCC) una definición breve del *clima* se refiere a la descripción estadística en términos de medias y variabilidades de temperatura, precipitación y viento a través de un periodo de tiempo que va

desde meses a miles de años. La norma mínima para que estos cálculos sean válidos es de 30 años, según la Organización Meteorológica Mundial (WMO).

De acuerdo al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2017)⁴, en la península de Yucatán, el cambio climático ha empezado a tener repercusiones en el sistema *milpa*, ya que cada año la temporada de lluvias llega más tarde y es más breve, con lo cual se reducen los rendimientos de maíz.

La *milpa* es un sistema de cultivo tradicional que solía ser la base de la alimentación de millones de Mexicanos (García et al. 2003), agrupando a una compleja combinación de prácticas agrícolas, asociación de cultivos y secuencias de rotación que varían de acuerdo al contexto cultural y agroambiental. El cultivo de la milpa tradicional implica el proceso de roza, tumba y quema, y la siembra de maíz mezclado con otros cultivos como son la calabaza y el frijol (Schmook et al. 2013).

La milpa no solo está estrechamente relacionada con las características climáticas, sino también por presiones económicas y políticas sobre la producción, lo que demuestra la vulnerabilidad de este sistema de roza –tumba – quema. .

Además de los efectos climáticos y de la globalización económica, existe un tercer elemento que impacta la producción agrícola: la relación Estado – productor, es decir, la influencia de las políticas públicas sobre la producción.

La exposición a los cambios en el clima ha llevado a países, grupos sociales e individuos a implementar acciones de respuesta para hacer frente a los retos que los fenómenos climáticos extremos representan, estas respuestas pueden estar enfocadas en la adaptación o la mitigación (Adger 2005)

Tanto la adaptación como la mitigación pueden reducir los riesgos del cambio climático para la naturaleza y la sociedad, sin embargo, sus efectos varían dependiendo del tiempo y el lugar (Benegas et al. 2009).

Las decisiones de adaptación y mitigación al Cambio Climático se dan a diferentes escalas, involucrando diferentes actores (Urwin y Jordan 2008). Las

⁴ <http://www.cimmyt.org/es/ayudamos-a-las-familias-campesinas-a-mitigar-los-efectos-del-cambio-climatico-en-mexico/>

políticas públicas hacen referencia a las decisiones adoptadas por organismos del estado, formalizadas a través de normas jurídicas (ya sean leyes, decretos, regulaciones administrativas u otro tipo de norma legal), que establecen objetivos y/o acciones que tiendan a la mitigación de emisiones de efecto invernadero y/o a contribuir a la adaptación a los impactos del Cambio Climático (Ryan 2012)

Justificación e importancia

Desde la época prehispánica, el maíz ha sido un pilar para la población de México y de la Península de Yucatán, así como el cultivo central del sistema de producción: milpa (Hernández 1995; García et al. 2003). El sistema de cultivo migratorio "milpa" está bien adaptado a los suelos pedregosos y poco profundos, así como a la vegetación de la Península. (Valderrama 2004). Junto con el buen manejo de los recursos forestales y los cenotes que suministran agua a la población, el sistema permitió la supervivencia y el florecimiento de la civilización maya (Méndez 2015).

Sin embargo, desde la década de 1980, el sistema milpa de la Península de Yucatán ha experimentado cambios sustanciales: las milpas tradicionales se han transformado en gran medida en monocultivos de maíz o se han reemplazado por sistemas de producción más intensivos o comerciales (Klepeis et al. 2004; Keys 2005). Las razones detrás de estos cambios incluyen los impactos del cambio climático como el aumento de la actividad de los huracanes y las sequías (Hernández et al. 2000; Orellana et al. 2009), el aumento de las anomalías negativas de precipitación (Mardero et al. 2012); políticas públicas orientadas a la agricultura industrial -generalmente acompañadas de degradación del suelo mediante el acortamiento de los períodos de barbecho-; cambios en la organización familiar, patrones de consumo, crecimiento de la población, apertura a nuevos mercados); y cambios político-culturales que incluyen la falta de interés de las nuevas generaciones para trabajar en el campo (Schmook et al. 2013; Hernández et al. 1995).

La importancia de realizar esta investigación sobre el cambio climático, políticas públicas y agricultura en la Península de Yucatán reside en que es una

de las áreas de México más expuestas a los efectos del cambio climático, expresada principalmente por la ocurrencia de sequías y huracanes (Orellana et al. 2009; Estrada-Medina et al. 2016; INECC 2017). También porque la Península ocupa los primeros lugares en población indígena del país (INEGI 2010), la cual depende en gran medida de la agricultura para su sustento.

La mayoría de las investigaciones en México sobre el cambio climático y su relación con la producción agrícola no han abordado el impacto simultáneo de la política agrícola neoliberal, que es crucial especialmente para los pequeños productores. A nivel nacional hay una vasta literatura que aborda los impactos de la política agrícola neoliberal (De Janvry et al. 1995; Keleman et al. 2009; Nadal 2005; Wise 2009), y del Cambio Climático en la agricultura en distintas partes de México (Conde et al. 1998; 2006; Ruiz – Corral et al. 2011; Tinoco – Rueda et al. 2011), pero solo algunos abordan los impactos conjuntos en la Península de Yucatán (Appendini y Liverman 1994; Eakin 2000; 2005). De ahí que nuestro objetivo es llenar este vacío.

Es importante investigar el impacto paralelo de los cambios en los patrones de precipitación y las políticas agrícolas neoliberales ya que la Península de Yucatán tiene sus propias particularidades, por ejemplo, muchas investigaciones relacionan la baja productividad de la Península, con las condiciones de los suelos. Sin embargo, nuestro estudio sugiere que la relación entre el clima y producción de maíz es alta, al menos en dos de los tres estados de la Península, lo cual no ha sido cuantificado esta influencia del clima anteriormente (Márdero et al. 2018).

Adicionalmente, la mayoría de las investigaciones que se han realizado en México, y la totalidad de las hechas en la Península de Yucatán sobre el comportamiento de la precipitación, han analizado las tendencias (ya sea anuales o estacionales) en la precipitación total. Sin embargo, se han realizado pocas investigaciones para analizar los cambios en su distribución e intensidad.

Por ejemplo, Cavazos y Rivas (2004) analizaron la variabilidad de las precipitaciones extremas en Tijuana de 1950 a 2000, encontrando que la mayor

variabilidad en las precipitaciones extremas se produjo a partir de 1970 en adelante.

En la Península de Yucatán, solo pocos estudios han analizado las últimas tendencias de precipitación y los escenarios de futuro. Por ejemplo, Mardero et al. (2012) calcularon las tendencias de precipitación de 1980 a 2010 en la parte sur de la Península, mostrando que la precipitación anual disminuyó en 16% mientras que la frecuencia de sequía aumentó en los últimos 50 años. Martínez y Galindo-Leal (2002), Orellana et al. (2009) produjeron una serie de proyecciones climáticas regionales para toda la Península, y de acuerdo con los modelos climáticos regionales, el IPCC (2007, 2013) predicen que la Península de Yucatán sufrirá cada vez más sequías extremas en los años futuros, además de eventos más extremos tales como huracanes, que ocurren comúnmente en el área. Uno de los más recientes y severos fue Dean en 2007 (Gurri y Vallejo 2007; Rogan et al. 2011). Aun así hasta la fecha, no se han realizado estudios sobre cambios en la distribución e intensidad de las precipitaciones en la Península de Yucatán.

Para los tomadores de decisiones, abordar cómo la combinación de los cambios climáticos y los programas inadecuados (o mal implementados) afectan a los productores de maíz, podría proporcionar una base para diseñar programas agrícolas más apropiados enmarcados en un entorno climático cambiante.

Objetivos

Objetivo General

Analizar y exponer la relación del Cambio Climático y las políticas agrícolas sobre las tendencias de producción de maíz en la Península de Yucatán, México durante el periodo 1980 – 2010.

Objetivos específicos

- Calcular y analizar la relación existente entre las tendencias de precipitación total anual, temperatura máxima y temperatura mínima, con la

tendencia de producción total de maíz (toneladas por año) durante el periodo 1981 – 2010 para los tres estados de la Península.

- Conocer y analizar cómo la política agrícola neoliberal, ha afectado la producción de maíz en la zona de estudio, así como los efectos conjuntos de la interacción de dichas políticas agrícolas en un entorno climático cambiante.
- Tomando la Reserva de Calakmul, al Sur de la Península, como zona “piloto” para aplicar nuevas técnicas de análisis de la precipitación, otro objetivo es calcular y analizar la distribución e intensidad de la precipitación durante el periodo 1980 – 2016.

Hipótesis

Suponemos que la precipitación y la temperatura en la Península han experimentado fuertes cambios en las últimas décadas (temperaturas más cálidas, disminución de la precipitación, cambios en su distribución e intensidad, modificaciones en la temporalidad de la estación lluviosa), lo que ha provocado dificultades en la producción de maíz. Sin embargo, el entorno climático cambiante, no es el único responsable de la baja producción en la zona. El clima aunado a políticas agrícolas inadecuadas (i.e. mala distribución y concentración de los apoyos, políticas orientadas a la agricultura comercial entre otros) es lo que ha propiciado un estancamiento en la agricultura principalmente de temporal.

CAPÍTULO I: El Maíz en México: La Milpa y las Políticas Agrícolas

El maíz en México

El maíz es una de las plantas más flexibles que conocemos y esto le ha permitido adaptarse a una gran variedad de condiciones ambientales. En México podemos encontrar parcelas con maíz desde el nivel del mar en climas cálidos, hasta más de 2 500 metros de altitud en climas templados (Brush y Perales 2007). Inicialmente originario de un ambiente semi-cálido y subhúmedo, el maíz fue llevado a nuevos ambientes en donde se produjeron adaptaciones a las condiciones particulares. Por ejemplo, en ambientes templados se generaron maíces que germinan a temperaturas bajas, con maduración muy tardía para aprovechar tantos días de crecimiento como fuese posible, y con pigmentación morada para protegerlos de la luz ultravioleta, más intensa en regiones de altura. En ambientes secos y cálidos fueron maíces con ciclos muy cortos para escapar a las sequías. Los ambientes húmedos exigieron maíces capaces de tolerar enfermedades propias de los mismos (Perales 2009).

Con 50% (más de 7.5 millones ha) de la superficie total sembrada (SIAP 2016), es el principal cultivo en México, contribuye con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) (SHCP 2014), y su consumo per cápita en el país es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos de América (Serna-Saldívar et al. 2008). La mayor parte del maíz en el país es de subsistencia, cultivado en 1232 de los 2417 municipios de México y está a cargo de más de 2 millones de productores a pequeña escala que en su mayoría cultivan menos de cinco hectáreas (INEGI 2012; Mera-Ovando y Mapes-Sánchez 2009).

En México, lugar de origen, domesticación y diversificación del maíz, se han descrito 59 semillas (morfológicamente y genéticamente) (Sánchez et al. 2000; Ureta et al. 2012) que representan un importante porcentaje de las 220 a 300 semillas de maíz existentes en el continente americano (Kato et al. 2009), y existen innumerables variedades al nivel de los agricultores (Fernández-Suárez et al. 2013). Esta diversidad es producto de milenarias prácticas agrícolas

vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez 2009; Turrent et al. 2010; Toledo y Barrera-Bassols 2008). Ligado directamente a la diversidad del maíz está su enorme potencial como cultivo de usos múltiples. No sólo existen maíces para casi cualquier tipo de ambiente, también los usos que se hacen del maíz van más allá de lo que suponemos cuando lo vemos sólo como parte de nuestra dieta (Perales 2009). De acuerdo con la FAO, cerca del 40% del maíz producido en los países tropicales es usado para la alimentación animal, además de ser usado (tras ser procesado) para la producción de aceite comestible, pegamento, Whisky, penicilina, etanol y gasohol, entre otros usos.

En México, la gran mayoría de los pequeños agricultores operan bajo condiciones de temporal, y el clima es uno de los factores de riesgo más importantes en sus sistemas agrícolas (Fitting 2011). Ruiz Corral y colegas encontraron un nivel de variación muy alto entre muchas de las razas mexicanas de maíz para la adaptación climática y demás características ambientales. Los rangos ambientales generales para el maíz oscilan de 0 a 2900 m de altitud, de 11.3 ° a 26.6 °C de temperatura media anual, 12.0 ° a 29.1 °C de temperatura media de la temporada de crecimiento y 426 a 4245 mm de precipitación anual (Ruiz Corral et al., 2008).

La preservación de las variedades locales de maíz por parte de los agricultores desempeñan un papel muy importante en la adaptación al cambio climático en México (Bellon et al. 2011). Los agricultores de maíz en pequeña escala almacenan y re-siembran las semillas, ya sea salvando sus semillas de la cosecha anterior y/u obteniéndolas de otros agricultores (Badstue et al. 2007; Dyer y Taylor 2008).

El maíz de subsistencia contribuye significativamente a la seguridad alimentaria de los pobres rurales (Turrent et al. 2012). Es aquí en donde los maíces nativos se seleccionan, producen, conservan, diversifican y domestican de acuerdo con las necesidades de las poblaciones locales (Turrent et al. 2010; Turrent et al. 2012). Mientras que los maíces mejorados (híbridos) satisfacen en buena medida las necesidades de la agroindustria mexicana, y ocupan tan solo 20

% de la superficie total sembrada con maíz (SIAP, 2011). Se producen principalmente bajo sistemas de riego en el noroeste de México, en donde se registra un uso notable de agroquímicos.

El maíz en la Península de Yucatán

En la Península de Yucatán, de acuerdo a Terán y Rasmussen (1994), en función del ciclo de maduración existen tres razas principales de maíz, aunque dentro de ellas hay otras variaciones en color, grosor, y tamaño de los granos. Pérez y colegas (1981) por su parte agruparon las dos principales razas en solo dos categorías, dependiendo del tamaño de su mazorca y su ciclo biológico: *Xnuc-nal* o maíz de mazorca grande y ciclo largo (6 a 7 meses) y *Xmejen-nal* o maíz de mazorca pequeña y ciclo corto (aproximadamente 3 meses). Las variaciones en cada grupo son: Kan-nal (amarillo y cristalino), Sac-nal (blanco y harinoso), Chachob (rojo) y Xhe-ub (azul), y también fenotípicamente se aprecian infiltraciones genéticas de dos razas: Nal-tel y Tuxpeño, y una subraza de Olotillo, conocida localmente como Tsiit-bacal (Arias et al. 1999).

Las razas de maíz cultivadas dependen de varios factores como la variación del terreno (suelo), lo apropiado de los diferentes maíces para obtener reserva de semilla, la incertidumbre climática, la necesidad de variar la dieta, las preferencias alimenticias (Hernández 1995) y en los últimos años, también depende de las semillas que son entregadas por el gobierno, a través de distintos programas de apoyo, como por ejemplo el PIMAF, por medio del cual se entregan insumos – incluidas semillas- a productores de maíz y frijol de varios estados de la república

Para los Mayas, el maíz está presente en su cosmología y en sus creencias, en su manera de entender el mundo, forma parte inherente de su vida: en sus ceremonias, en su alimento diario, en la milpa, en sus paisajes, en sus medicinas. Según las creencias Mayas, la humanidad fue creada y ha evolucionado a partir del maíz; además el maíz es trasmisor de vida y esa vida deberá de ser devuelta por la persona a su entorno y éste de nuevo a la persona, hasta formar un proceso dialéctico, infinito y eterno (Nesci et al. 2006). En las

milpas se plantan los diferentes tipos de color de maíz: blanco, amarillo, rojo y negro, encarados en la dirección que relaciona cada color con cada uno de los puntos cardinales, según el Popol Vuh, libro que recoge la creación del mundo maya (Salvadó 2012).

La Milpa Maya

La milpa maya (también llamado *kool*) es un sistema agrícola basado en el policultivo, que consiste en la asociación de maíz como eje principal, con camote, calabaza y varios tipos de leguminosas (Moya García et al. 2003). Este sistema fue considerado hacia mediados del siglo XX como un modelo productivo eficaz en el que lograban aprovecharse el precario recurso que representa el suelo cárstico de la Península de Yucatán, así como las características climáticas y de vegetación propias de la zona (Valderrama 2004).

La milpa se caracteriza por ser de tipo itinerante o migratorio (Brady 1996), que en México es conocido como Roza-Tumba y Quema (R-T-Q)⁵. Este método consiste en la limpieza de parcelas de relativamente pequeña superficie, la quema de residuos vegetales secos para posteriormente cultivar aprovechando los nutrientes de las cenizas (Aguilar-Jiménez et al. 2011; Brady 1996) y al cabo de dos o tres años, cuando los nutrientes se agotan y aumenta la maleza, el terreno se abandona por un tiempo de entre diez y 20 años, llamado periodo de barbecho (Hernández 1995; Reyes 2001; Sánchez 1976; Terán y Rasmussen 1994).

Las ventajas de la RTQ son: la alta adaptabilidad a los suelos cársticos de la Península, mayor “certeza” en la cosecha por la siembra de distintas variedades de maíz y la combinación de distintos tipos de plantas comestibles, que a su vez fomenta la seguridad alimentaria y una mayor variabilidad en la dieta, la preservación de los elementos ecológicos y socioculturales de la agricultura migratoria prehispánica, mayor combate de plagas e insectos (Aguilar-Jiménez et al. 2011; Altieri y Nicholls 2010; Valderrama y Morales 2004).

⁵ El concepto de tumba se aplica únicamente a los sistemas que implican la incorporación de vegetación de altura (>10 m), caso contrario se conoce como roza-quema (R-Q).

En la actualidad, los productos obtenidos de la milpa siguen siendo parte fundamental de la dieta de familias campesinas en la Península de Yucatán (Cuanalo y Uicab-Covoh 2005). Si bien es cierto que los rendimientos de los sistemas agrícolas tradicionales pueden ser más bajos que los rendimientos de sistemas de producción más intensivos, la agricultura tradicional ofrece ventajas como poca inversión económica, incluyendo el uso mínimo de agroquímicos (Schmook et al. 2013).

Así mismo, al ser un policultivo permite enfrentar con un mayor margen de seguridad, la aleatoriedad climática y los ataques de plagas y enfermedades, ya que la diversidad favorece la supervivencia de al menos algunas variedades. Esto genera una cosecha más confiable, facilitando la seguridad alimentaria de los hogares en agroambientes cada vez más impredecibles, (Tuxill et al. 2010).

En el sentido original de la milpa, esta provee a las familias campesinas de maíz, algunas verduras y leguminosas, y mantiene los animales de traspatio que se alimentan también con maíz o residuos de este, y ellos constituyen a su vez la fuente principal de proteína para las familias, por lo que este conjunto de acciones derivadas de la milpa constituye la estrategia de alimentación familiar (Ek Dzib et al. 2012) y el punto medular para garantizar la seguridad alimentaria de los hogares campesinos (Appendini y Torres 2008).

En las últimas décadas la productividad de este sistema tradicional RTQ se ha visto afectada debido a diferentes factores como la variabilidad climática, la baja fertilidad del suelo (agravada por la disminución en el período de descanso de la tierra) y las políticas agrícolas nacionales (Carte et al. 2010) orientadas hacia prácticas agrícolas más intensivas (Aguilar – Jiménez et al. 2011; Moya García et al. 2003; Valderrama y Morales 2004), generando la hipótesis de que dicho sistema está desapareciendo. Evidencias sugieren que la milpa en la Península de Yucatán está siendo ampliamente transformada o reemplazada por sistemas de producción más intensivos y comerciales, como la siembra de pasto y el cultivo de chile (Klepeis et al. 2004; Keys 2005).

Toulmin y Guéye (2005) y Harwood (1996) reconocen que la RTQ aplicada bajo las condiciones ambientales y socioeconómicas adecuadas puede ser

sostenible. Sin embargo, bajo las condiciones y características actuales, los sistemas tradicionales que anteriormente eran estables, son cada vez menos productivos.

Existe un gran número de factores que inciden en las transformaciones de los sistemas agrícolas tradicionales (Bellon et al. 2011; Eakin 2005).

Como ya se ha explicado, un factor fundamental es la variabilidad climática (Galindo 2007; FAO 2013); y otro elemento clave en la disminución de la superficie bajo RTQ es la reducción de los periodos de barbecho así como de la diversidad de cultivos integrados al sistema (Moya García et al. 2003; Reyes 2001).

La disposición de las tierras se ha visto limitada por diversos motivos como el incremento de la población, los desmontes por el cultivo henequenero y la actividad ganadera. En adición, las políticas de apoyo al campo han promovido la intensificación del uso de la tierra con pagos condicionados a que los campesinos mantengan la misma parcela bajo el mismo cultivo (PROCAMPO) (Schmook 2013; Moya García et al. 2003; Reyes 2001). Esto ha derivado en una reducción en la fertilidad del suelo y de la productividad de la milpa, con rendimientos de maíz cercanos a los 750 kg/ha (Arias 1992; Dzib 1997)

Desde el punto de vista socioeconómico, la consolidación de un sistema agroalimentario mundial bajo el amparo de grandes corporaciones transnacionales, conjuntamente con las políticas de liberalización y de ajuste estructural aplicables al medio rural, han sido un factor determinante en los cambios de los sistemas agrícolas tradicionales (Barkin 2001; Sweeney 2013).

Desde la Revolución Verde que promovió impulsar a México como una economía agrícola de exportación mediante la agricultura intensiva y a mayor escala (Wright 2005), hasta la entrada de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT) en 1986 y la posterior firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) en 1994, la política agrícola Mexicana ha sufrido una serie de transformaciones durante las últimas décadas que han dado paso a la llamada “nueva ruralidad” (Barkin 2004; Kay 2008).

La vida rural, tradicionalmente asociada con la actividad agropecuaria, contiene una diversidad de actividades y relaciones sociales que vinculan

estrechamente las comunidades campesinas con los centros urbanos y la actividad industrial. La "nueva ruralidad" es la nueva relación "campo - ciudad" que implica la existencia de cambios importantes en el campo y parecen marcar una nueva etapa en su relación con la ciudad y la sociedad en general, tanto en el nivel económico como en el social, cultural y político (De Grammont 2004).

Diversos autores (Schmook et al. 2013; Pat-Fernández et al. 2011; Losch 2004) resaltan la creciente diversificación de las actividades rurales y la importancia de los empleos no agrícolas y del ingreso no agrícola como estrategias de subsistencia de los campesinos.

Política pública agrícola

La política agrícola en México ha sido fuertemente influenciada por la redistribución de tierras iniciada con la Reforma Agraria (Wiggins et al. 2004). La reforma agraria se divide en dos etapas: la primera de ellas comprende los años de 1912 a 1934, y se caracteriza por la falta de reformas estructurales en la tenencia de la tierra. El segundo periodo se enmarca dentro de la presidencia de Cárdenas, de 1934 a 1940, cuando se distribuyeron 18 millones de hectáreas, con una verdadera transformación en la estructura rural (Cárcar 2013). Estos cambios agrarios resquebrajaron el viejo sistema de haciendas dando lugar a un nuevo y complejo sistema de comunidades y ejidos⁶ que formaron pequeñas unidades productivas con capacidad de autosuficiencia alimentaria (Hernández 2008). Sin embargo, se ha cuestionado que ésta reforma agraria dio lugar a una estructura de la comunidad agraria que solamente distribuyó la extensión de la tierra necesaria para satisfacer las necesidades de subsistencia de la familia. La mayoría de las críticas son acerca de la ineficacia y baja productividad del sistema (Almazán 1997).

La Reforma Agraria fue seguida de diversas políticas agrícolas que fueron moldeando el campo mexicano. La estrategia de desarrollo mediante la sustitución de importaciones (ISI) a partir de la década de 1940, privilegió la

⁶ Para consultar las definiciones de *ejido*, consultar a Robert James Knowlton(1998). "El Ejido Mexicano en el Siglo XXI": <https://historiamexicana.colmex.mx/index.php/RHM/article/viewFile/2402/1928>

fabricación de las mercancías para el consumo urbano por sobre el desarrollo y la producción agrícola, mientras que la Revolución Verde -que se dio en México a partir del 1943- promovió la siembra de variedades mejoradas de maíz, trigo y otros granos, así como el uso intensivo de fertilizantes, sistemas de riego y distintos químicos para control de plagas y mejorar el rendimiento de la producción (Wiggins et al. 2004).

Entre los años 1960 y 1970, el estado tomó el reto de mejorar la pequeña agricultura ejidal, a través de los subsidios, y proporcionando créditos con bajos intereses para los ejidatarios, e impulso el extensionismo agrícola para capacitar y fomentar en los campesinos el uso de los paquetes agrícolas de la Revolución Verde para cultivos como el maíz, trigo, etc. (Hernández 2008). El auge de este modelo se alcanzó entre 1979 y 1981 bajo el Sistema Alimentario Mexicano, cuando los precios garantizados de las cosechas y los subsidios para insumos fueron incrementados usando las ganancias del petróleo en un intento por impulsar la producción de alimentos y asegurar el autoconsumo nacional (Eakin et al. 2014).

Durante los 1980's, el Estado mexicano inició un proceso de adelgazamiento del sector público con la intención de preparar a la economía y el sector agropecuario a la apertura comercial (Yúnez & Paredes 2006). Los viejos esquemas caracterizados por una fuerte intervención estatal en la agricultura a través de subsidios, apoyo a los precios y comercialización estatal de los productos cesaron (Hellin et al. 2012; Saldaña et al. 2003; Sweeney 2013).

Las presiones combinadas de globalización y liberalización comenzaron cuando México se unió al Acuerdo General de Comercio y Aranceles (GATT) en 1986 para fomentar las exportaciones mexicanas y así revertir las décadas previas de políticas tradicionales proteccionistas (Gates 1988; Aguilar-Soto 2010). En la década de 1990 la administración de Salinas de Gortari comenzó el Programa Nacional de Modernización para el Campo que separó a los productores más competitivos para brindarles apoyos, promoviendo los cultivos de los que se pensaba, México tenía ventaja comparativa en los mercados internacionales, el maíz no fue uno de ellos (Eakin 2006).

El objetivo era reducir la participación del gobierno en los mercados agrícolas, el gobierno federal eliminó las garantías a los precios de la mayoría de los cultivos, reestructuró los subsidios para los insumos, redujo los créditos subsidiados a los pequeños productores y disminuyó la inversión en investigación y extensionismo en favor de facilitar al sector privado la tarea de brindar servicios agrícolas para los productores competitivos (Cornelius y Myhre 1998).

Las presiones en el sector agrícola mexicano se intensificaron con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 (Vilas-Ghiso y Liverman 2007) que ha estimulado una reestructuración de las leyes, regulaciones e instituciones agrícolas mexicanas (OCDE 2003, PNUMA 2000).

Durante las negociaciones del TLCAN, el maíz era motivo de especial preocupación entre México y los Estados Unidos. Se creía que una apertura repentina del mercado mexicano de maíz a las exportaciones estadounidenses sería extremadamente perjudicial, desplazando a muchos pequeños productores de maíz en México y obligándolos a migrar ya sea dentro del país o hacia los Estados Unidos en busca de oportunidades de trabajo. Por esta razón, los negociadores ampliaron la transición del TLCAN al libre comercio para las exportaciones estadounidenses de maíz (amarillo y blanco) a México durante un período de 14 años (1 de enero de 1994 al 1 de enero de 2008) (Vilas-Ghiso y Liverman 2007; Zahniser y Coyle 2004). Sin embargo, el período de transición de 14 años planeado se comprimió en 30 meses. Entre enero de 1994 y agosto de 1996, los precios del maíz mexicano habían caído un 48% (Fitting 2006).

Aunque se esperaba un descenso en los precios de los cultivos básicos consistente con los precios internacionales desde el inicio del TLCAN, la disminución fue exacerbada por el gobierno mexicano permitiendo que las importaciones de granos de los EEUU -particularmente maíz- excedieran sistemáticamente las cuotas fijas establecidas como parte del acuerdo (Nadal 2000; Patel y Henriques 2003). Entre 1994 y 2000, las importaciones de EEUU crecieron del 14% al 24% del consumo total de maíz en México (Fitting 2006). En 2000, México fue el segundo importador de los EEUU, especialmente el maíz blanco. De 1998 a 2002, el maíz blanco representó aproximadamente el 15 por

ciento de las exportaciones de maíz de Estados Unidos a México, en comparación con aproximadamente el 2 por ciento durante 1991-1993 (Zahniser y Coyle 2004).

Como resultado, el valor de producción de maíz por unidad de producción disminuyó en un 56% y 27% para los agricultores comerciales y tradicionales respectivamente (SIACON 2005) y la pobreza entre los hogares rurales aumentó del 57% en 1992 al 61% en 2000 en solo los primeros seis años después del TLCAN (Cáceres 2002).

A principios de la década de 1990, los defensores del TLCAN reconocieron que la apertura de las importaciones de granos estadounidenses subsidiados desplazaría a cientos de miles de pequeños propietarios, que se esperaba encontrarían empleos en la industria o en el sector de servicios urbanos (Fox y Haight 2011). Sin embargo, las ciudades de México generaron mucho menos empleo de lo esperado (Uchitelle 2007). En cambio, gran parte de la población rural terminó trabajando en los Estados Unidos.

La migración desde México hacia EEUU aumentó notablemente entre 1991-2000, de un estimado de 337,000 a 530,000 personas anualmente (Passell y Suro 2005), y el número total de empleos agrícolas en México disminuyó en un 20% entre 1991 y 2007 (Scott 2011).

Mientras muchos subsidios directos y el apoyo a los precios eran eliminados, un nuevo conjunto de programas agrícolas inició también en la década de 1990, redefiniendo el papel del sector público en la agricultura y el desarrollo rural (Eakin et al. 2014).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA) estableció dos programas principales: PROCAMPO (1994) y Alianza para el Campo (1995). Estos programas tenían como objetivo ayudar a los productores agrícolas, especialmente a los de bajos ingresos durante el período de transición a una economía abierta (Yunez-Naude 2002).

El programa Alianza por el Campo fue presentado por el Secretario de Agricultura el 31 de octubre de 1995 con la intención de mejorar la productividad agrícola y el cambio a cultivos más rentables económicamente para aumentar la competitividad de los mexicanos en el sector agrícola (SAGARPA 2001b; Yunez-

Naude y Paredes 2003), lo cual incluye la compra de maquinaria agrícola , financiamiento de instalaciones para procesar productos o para almacenar, la adquisición de insumos y bienes como semillas, químicos o sementales, y la contratación de expertos que, sin ser empleados de gobierno, pero con un pago mensual, formaban parte de una estructura que permitía obtener los apoyos de Alianza para el Campo. En ese esquema era muy importante tener personal que ayudara a repartir los beneficios de los programas; sin embargo, no había orientación hacia la formación de proyectos productivos⁷.

Alianza por el Campo era un programa de subsidios parciales, basado en proyectos. Esto es, entrega fondos equiparables a un monto que el productor debe aportar, los cuales debe solicitar y destinar para invertirlos en el proceso productivo (Palmer-Rubin 2010).

En 1994, el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) fue creado con el objetivo de ayudar a los productores en la transición de ser campesinos de maíz y frijol de semisubsistencia a competir en el mercado internacional con cultivos y productos de más alto valor (Gómez-Cruz y Ridermann 1993), a través de pagos directos a los productores por hectárea sembrada con cualquiera de los nueve granos básicos.

A partir de 2014 PROCAMPO, que se había mantenido con pocas modificaciones, se convirtió en Proagro Productivo, con la principal diferencia de que ahora la entrega de apoyos es diferencial y vinculada a la productividad. En ese marco, el principal cambio es que antes se transfería el subsidio (en pesos por hectárea sembrada) sin condiciones, mientras que ahora el productor tendrá que “comprobar” su destino para la adquisición de insumos, pago de capacitación/asistencia técnica, gastos en mejores prácticas agrícolas o como complemento de otros programas de apoyo.

De acuerdo con SAGARPA, otras modificaciones incluyen el establecimiento de un máximo de 100 hectáreas, en tanto que antes se establecía un monto máximo en pesos por predio (100 mil). Así mismo, se determinan apoyos diferenciados para la producción de autoconsumo (en y fuera de las zonas

⁷ <https://extensionismo.sagarpa.gob.mx/web2/extensionismo/antecedentes.php>

de la cruzada contra el hambre⁸) y para la producción de transición y comercial, y no sólo por ciclo agrícola o régimen hídrico.

Los incentivos se otorgarán en forma diferenciada considerando las tipologías de los productores clasificados en tres estratos, con base en el tamaño de su unidad de producción: autoconsumo (hasta cinco hectáreas de temporal y hasta 0.2 hectáreas de riego); transición (mayor de cinco hectáreas y hasta 20 de temporal y mayor de 0.2 y hasta cinco hectáreas de riego), y comerciales (mayor de 20 hectáreas de temporal y mayor de cinco hectáreas de riego).

Varios estudios indican que los dos programas fallaron en proporcionar el apoyo requerido a los pequeños productores durante el período de transición (Eakin 2005; Fox y Haight 2011; Nadal 2000; Patel y Henriques 2003; SAGARPA 2001), debido principalmente al financiamiento inadecuado -parcialmente como resultado de la crisis económica de 1995- y un sesgo hacia la asignación de los fondos hacia los agricultores comercialmente más viables han limitado el impacto de los planes de desarrollo rural durante el período de transición (Martínez 2003, Nadal 2000, Patel y Henriques 2003; SAGARPA 2001).

La reorientación de la política agrícola hacia una política de corte neoliberal, ha tenido implicaciones distributivas: algunos productores han encontrado nuevas oportunidades para prosperar, mientras a otros se les ha dificultado mantenerse y competir con los mercados internacionales (Liverman & Vilas 2006; Spoor 2000). El legado de las reformas institucionales en la década de los 1990s todavía continúa moldeando el proceso de desarrollo.

Actualmente, las condiciones bajo las cuales opera el sector agrícola en México se pueden resumir como una producción estancada, una polarización de la propiedad (con la existencia de algunos grandes "latifundios" por un lado, y un minifundismo pronunciado, o sea no solamente poca superficie por productor sino dividido en múltiples pequeñas parcelas, por el otro lado) y de la producción, la falta de dinamismo, la creación insuficiente de empleos, la gran desigualdad entre productores, la falta de financiamiento para los pequeños productores y un

⁸ La Cruzada Nacional Contra el Hambre es una estrategia de política social, integral y participativa que pretende una solución estructural y permanente a un grave problema que existe en México: el hambre. Ver mas: <https://www.gob.mx/sedesol/acciones-y-programas/cruzada-nacional-contra-el-hambre-18938>

aumento gradual en el consumo de alimentos importados (Hernandez et al. 2014; Hes et al. 2016).

El resultado de la concentración de recursos productivos en unos cuantos grandes productores, y la existencia de un gran número de pequeños productores ha causado la proletarización de los campesinos y el abandono de la agricultura por grandes segmentos de la población, principalmente las nuevas generaciones (Macias 2013) .

En 2010, el 61% de la población rural total vivía por debajo del umbral de la pobreza, lo que representaba 15 de 25 millones de personas (FIDA 2014) y 13 millones de personas que vivían en zonas rurales en asentamientos inferiores a 2.500 habitantes vivían por debajo de la línea de pobreza alimentaria. Para estos habitantes, el ingreso derivado de la agricultura representa en promedio el 42% de sus ingresos totales. Las cifras y la proporción de pobreza extrema rural en ingresos se mantienen prácticamente iguales desde hace 20 años, a pesar de avances importantes en acceso a servicios que han reducido significativamente la pobreza medida en forma “multidimensional”⁹.

Actualmente, en las recientes renegociaciones del TLCAN, ya bajo la administración del presidente Donald Trump, diversos especialistas aseguran que el sector agrícola es una de los pilares del tratado¹⁰. A pesar de que se cree que el país más afectado con estos cambios podría ser México, existen diversas evidencias de que los productores estadounidenses también tendrían repercusiones negativas con la cancelación del tratado, pues productos como el maíz, la soya y el trigo son cartas fuertes con las que se tiene un intercambio comercial muy dinámico. México ha obtenido grandes beneficios en la exportación de frutas y hortalizas, y bajo esta sinergia, Estados Unidos también ha obtenido ventajas significativas en lo relacionado a las exportaciones de granos y oleaginosas a nuestro país, de los cuáles tenemos una gran dependencia.

Aun considerando el peor de los escenarios, si el TLCAN se cancelara, todos los países involucrados verían graves afectaciones, sobretodo en materia de

⁹ <http://www.jornada.com.mx/2018/04/12/sociedad/035n1soc>

¹⁰ <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=21484>

impuestos arancelarios, pues la Organización Mundial de Comercio ha indicado que México pagaría un impuesto de 6.4% para entrar a Estados Unidos, mientras que los productos de la unión americana pagarían 38.4% , y en este escenario, el incrementar el precio de los productos de consumo básico violentaría la estabilidad de la soberanía alimentaria de ambos países¹¹.

Expertos también aseguran que esta podría ser una oportunidad para modificar nuestro sistema de sustitución de importaciones por una estrategia de consumo local, para disminuir la dependencia alimentaria que el país padece. Sugieren por ejemplo que sacar del Tratado a los granos básicos ya que estos están relacionados con un tema de seguridad nacional: la alimentación¹².

¹¹ <https://lasillarota.com/opinion/columnas/la-renegociacion-del-tlcan-y-el-sector-agropecuario/175100>

¹² <http://www.elfinanciero.com.mx/opinion/roberto-escalante-semerena/la-renegociacion-del-tlcan-agropecuario-conviene>

Lista de referencias

- Aguilar Soto, C. (2010). *Empresarios y desarrollo agrocomercial en Sinaloa* (No. 338.1097232).
- Aguilar-Jiménez, C. E., Tolón-Becerra, A., Lastra-Bravo, X. (2011). Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 43(1), 155-174.
- Arias R. L. M., Cob L., Burgos L., Canul J., Chavez J.L., Williams D. Jarvis D. (1999) Conservación in situ de la biodiversidad de los cultivos de la milpa: características morfológicas de 15 poblaciones de maíz de Yaxcabá, Yucatán. Pp. 81 – 85. In: Memorias del Seminario Internacional sobre Agrodiversidad Campesina. 12 – 14 de mayo de 1999. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- Almazán, M. A. (1997). Nafta and the mesoamerican States System. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 550(1), 42-50.
- Altieri, M., Nicholls, C. (2010). Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista de Economía Crítica*, 10(2), 62-74.
- Appendini, K., Cortés, L., Díaz, V. (2008). Estrategias de seguridad alimentaria en los hogares campesinos: la importancia de la calidad del maíz y la tortilla. *Ruralidad sin agricultura*, 103-127.
- Badstue, L. B., Bellon, M. R., Berthaud, J., Ramirez, A., Flores, D., Juarez, X. (2007). The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *World Development*, 35(9), 1579-1593.
- Barkin, D. (2000). Overcoming the neoliberal paradigm: sustainable popular development. *Journal of Developing Societies*, 16(1), 163-180.
- Barkin, D. (2001). La nueva ruralidad y la globalización. *La nueva ruralidad en América Latina*, 2, 21-40.
- Barkin, D. (2004). Who are the peasants? *Latin American Research Review*, 39(3).
- Bellon, M. R., Hodson, D., Hellin, J. (2011). Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(33), 13432-13437.
- Brady, N. C. (1996). Alternatives to slash-and-burn: a global imperative. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58(1), 3-11. doi: 10.1016/0167-8809(96)00650-0
- Brush, S. B., Perales, H. R. (2007). A maize landscape: Ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 211-221.
- Cáceres, F. C. (2002). *Evolución y características de la pobreza en México en la última década del siglo XX* (Vol. 2). Secretaría de Desarrollo Social.
- Cárcar Irujo, A. I. (2013). Las reformas agrarias en México y los proyectos de desarrollo rural en un municipio del Estado de Veracruz. *Nómadas*, (38).
- Carte, L., McWatters, M., Daley, E., Torres, R. (2010). Experiencing agricultural failure: Internal migration, tourism and local perceptions of regional change in the Yucatan. *Geoforum*, 41(5), 700-710.
- Cornelius, W. A., Myhre, D. (1998). The transformation of rural Mexico: reforming the ejido sector.
- Cuanalo, H. E., Uicab-Covoh, R. A. (2005). Investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 587-597.
- De Grammont, H. C. (2004). La nueva ruralidad en América Latina. *Revista mexicana de sociología*, 279-300.

- Dyer, G. A., Taylor, J. E. (2008). A crop population perspective on maize seed systems in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(2), 470-475.
- Dzib Aguilar, L. A. (1997). Diversity of the traditional 'milpa' (maize cropping) in the South and Central part of Yucatan State.
- Eakin, H. (2005). Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development*, 33(11), 1923-1938.
- Eakin, H., Lemos, M.C. (2006). Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity-building under globalization. *Global Environmental Change*, 16(1)7-18.
- Eakin, H., Perales, H., Appendini, K., Sweeney, S. (2014). Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change* 45(1), 133-155.
- Ek, D. (2012). La milpa en Yucatán, desde una perspectiva del buen vivir. *Revista Veredas UAM-Xochimilco*, n. spec, 193-210.
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A., Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 275-283.
- Fox, J., Haight, L. (2010). Mexican agricultural policy. Multiple Goals and Conflicting Interests. Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy since NAFTA. Santa Cruz, CA: Woodrow Wilson International Center.
- Fitting, E. (2011). *The struggle for maize: campesinos, workers, and transgenic corn in the Mexican countryside*. Duke University Press.
- Galindo, L.M. La economía del cambio climático en México: Síntesis. SEMARNAT, 2009. http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/2009_semarnat_ecc_mex.pdf
- Gates, M. (1998). Eco-Imperialism? Environmental Policy versus Everyday Practice in Mexico. *The Third Wave of Modernization in Latin America: Cultural Perspectives on Neoliberalism*, (16), 155.
- Gómez Cruz, M. A., Rindermann, I., Schwentesius, R. (1993). *El sistema hortofrutícola en México frente al TLC* (No. Folleto 219.).
- Harwood, R. R. 1987. "Agroforestry and Mixed Farming Systems". En: Lugo, A.E., J.R., Clark, y R. D., Child. (eds). *Ecological development in the humid tropics, guidelines for planners*. Winrock International, Institute for Agricultural Development, Morrilton, Arkansas, USA.
- Hellin, J., Shiferaw, B., Cairns, J. E., Matthew Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, I., Banziger, M., La Rovere, R. et al. (2012). Climate change and food security in the developing world: Potential of maize and wheat research to expand options for adaptation and mitigation.
- Hernández Xolocotzi, E., Bello Baltazar, E. (1995). *La milpa en Yucatán: un sistema de producción agrícola tradicional* (No. 633.15 H48).
- Hernández, J. G. V. (2008). El desarrollo de las instituciones y las políticas agrícolas y rurales en México en los primeros años de implementación del tratado de libre comercio de América del Norte. In *IDeAS* (Vol. 2, No. 2, pp. 1-34). Programa de Pós-Graduação de Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Hernández, G. (2014). Una revisión de los efectos del Tratado de Libre Comercio entre Colombia y Estados Unidos. *Lecturas de economía*, (80), 49-77.
- Hes, T., Manzano, M., Damian, M.A., Saldaña, T., Montiel, M. (2016). Nexus between agriculture and reduction of poverty studied on impact of production of corn, chili pepper, beans and tomato in 32 states of Mexico. *International Journal of Economic Research*, 1(12).

- Kato-Yamakake, T. Á., Sánchez, M., Ovando, M., Hernández, S., Antoniocoaut, J. (2009). *Origen y diversificación del maíz una revisión analítica* (No. 633.150972 O7).
- Kay, C. (2008). Reflections on Latin American rural studies in the neoliberal globalization period: a new rurality?. *Development and Change*, 39(6), 915-943.
- Keys, E., McConnell, W. J. (2005). Global change and the intensification of agriculture in the tropics. *Global Environmental Change*, 15(4), 320-337.
- Klepeis, P., Chowdhury, R. R. (2004). Institutions, organizations, and policy affecting land change: Complexity within and beyond the ejido. Integrated land-change science and tropical deforestation in the southern Yucatán: Final frontiers, 145-169.
- Knowlton, R. J., Orensanz, L. (1998). El ejido mexicano en el siglo XIX. *Historia mexicana*, 71-96.
- Nadal, A. (2000). Corn and NAFTA: an unhappy alliance. *Seedling*, 17(2), 10-17.
- Palmer-Rubin, B. (2010). Small Producer Access to Decentralized Agricultural Subsidies in Mexico: Alianza para el Campo.
- Passell, J. S., Suro, R. (2005). Rise, Peak, and Decline in US Immigration 1992–2004. *Pew Hispanic Center*.
- Pat-Fernández, M., Gómez-Alvarez, R. (2011). Influencia del humus de lombriz y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de maíz. *Gayana Botánica*, 15.
- Patel, R., Henriques, G. (2003). Agricultural trade liberalization and Mexico. *Food First Policy Brief*, (7).
- Perales, R., Hugo, R. (2009). Maíz, riqueza de México Ciencias, Núm. 92-93, octubre-marzo, 2009, pp. 46-55 Universidad Nacional Autónoma de México México. *Ciencias*, (92-93), 46-55.
- "Popol Vuh". Ancient History Encyclopedia.
- Liverman, D. M., Vilas, S. (2006). Neoliberalism and the environment in Latin America. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 31, 327-363.
- Losch, B. (2004). Debating the multifunctionality of agriculture: from trade negotiations to development policies by the South. *Journal of agrarian change*, 4(3), 336-360.
- Macías Macías, A. (2013). Pequeños agricultores y nueva ruralidad en el occidente de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(71).
- Méndez, R. M. (2015). La milpa maya yucateca en el siglo XVI: evidencias etnohistóricas y conjeturas. *Etnobiología*, 13(1), 1-25.
- Mera-Ovando, L. M., Mapes-Sánchez, C. (2009). El maíz. Aspectos biológicos. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. TA Kato, C Mapes, LM Mera, JA Serratos, RA Bye (eds). Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, SA de CVDF, México. pp, 19-32.
- Nadal, A. (2001). Contradicciones del modelo de economía abierta. Documento de Trabajo Programa sobre ciencia, tecnología y desarrollo (PROCIENTEC) El Colegio de Mexico.
- Nesci, A., Barros, G., Castillo, C., Etcheverry, M. (2006). Soil fungal population in preharvest maize ecosystem in different tillage practices in Argentina. *Soil and Tillage Research*, 91(1-2), 143-149.
- Reyes Hernández, G. (2001). Evaluación del programa de capacitación y extensión 1999, en la delegación de Milpa Alta Distrito Federal.
- Ruiz-Corral, J. A., Durán-Puga, N., Sanchez-Gonzalez, J. D. J., Ron-Parra, J., Gonzalez-Eguiarte, D. R., Holland, J. B., Medina-García, G. (2008). Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science*, 48(4), 1502-1512.
- Saldaña, T., Nuturinda, B. (2003). Agricultural development in Mexico since 1975–2000. 2nd versión. versión. *Colegio de Posgraduados*.

- Sánchez, D. G. R., Mascorro, A. G., Amaya, J. S. C. (2000). Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1), 37-47.
- Serna-Saldivar, S. O., Guerra, C. A. A., Macias, P. H., Cuellar, J. L. M., Ortiz, R. E. P., Ibarra, A. D. T., Carrillo, G. V. (2008). Evaluation of the lime-cooking and tortilla making properties of quality protein maize hybrids grown in Mexico. *Plant foods for human nutrition*, 63(3), 119.
- Schmook, B., van Vliet, N., Radel, C., de Jesús Manzón-Che, M., McCandless, S. (2013). Persistence of swidden cultivation in the face of globalization: a case study from communities in Calakmul, Mexico. *Human Ecology*, 41(1), 93-107.
- Scott, D. (2011). The technological fix criticisms and the agricultural biotechnology debate. *Journal of agricultural and environmental ethics*, 24(3), 207-226.
- Spoor, M. (2000). Two decades of adjustment and agricultural development in Latin America and the Caribbean. ECLAC.
- Sweeney, S., Steigerwald, D.G., Davenport, F., Eakin, H. (2013). Mexican maize production: Evolving organizational and spatial structures since 1980. *Applied Geography* (39):78-92.
- Terán, S., Rasmussen, C. (1994). La milpa de los mayas. *Ministerio de Relaciones Exteriores del Gobierno de Dinamarca. Yucatán, México*.
- Toledo, V.M., Barrera-Bassols, N. (2008). La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Ciencias*, 96, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Toulmin, C., Guèye, B. (2005). Is there a future for family farming in West Africa? *IDS Bulletin*, 36(2), 23-29.
- Turrent Fernández, A., Cortés Flores, J. I., Espinosa Calderón, A., Mejía Andrade, H., Serratos Hernández, J. A. (2010). ¿ Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico?. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(4), 631-646.
- Turrent Fernández, A., Wise, T. A., Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Washington, DC: Wilson Center, Report, 24*.
- Tuxill, J., Reyes, L. A., Moreno, L. L., Uicab, V. C., Jarvis, D. I. (2010). All maize is not equal: maize variety choices and Mayan foodways in rural Yucatan, Mexico. In *Pre-Columbian Foodways*(pp. 467-486). Springer, New York, NY.
- Uchitelle, L. (2007). NAFTA should have stopped illegal immigration, right?. *Nafta*, 1, 12.
- Ureta, C., Martínez-Meyer, E., Perales, H. R., Álvarez-Buylla, E. R. (2012). Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology*, 18(3), 1073-1082.
- Valderrama, C. M. (2004). Identidad y modernización agrícola en los Chenes, Campeche, México. *Perspectivas latinoamericanas*, 1, 123-143.
- Vilas-Ghiso, S. J., Liverman, D. M. (2007). Scale, technique and composition effects in the Mexican agricultural sector: the influence of NAFTA and the institutional environment. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 7(2), 137-169.
- Wiggins, S., Pandian, N. (2004). Rethinking Tropical Agricultural Commodities. Paper towards the Development of New Guidelines for Agricultural Policy in DFID. London: DFID.
- Wright, A. (2005). The death of Ramón González: The modern agricultural dilemma. University of Texas Press.
- Yúnez-Naude, A. Liberalización y reformas al agro: lecciones de México. (2006). *Economía agraria y recursos naturales*,6(12), 47-68. ISSN: 1578-0732.
- Zahniser, S., Coyle, W. T. (2004). US-Mexico corn trade during the NAFTA era: new twists to an old story. US Department of Agriculture, Economic Research Service.

CAPÍTULO II

Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J. O., Cicero, L., Radel, C., & Christman, Z. (2018). The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 1-20.

Land (ISSN 2073-445X) es una revista internacional y multidisciplinaria de acceso abierto revisada por pares sobre uso de suelo / cambio de suelo, gestión de suelos, ciencias de sistemas de la tierra, paisaje, etc., publicada trimestralmente en línea por MDPI. “Land” está indexada en el Índice de citas de fuentes emergentes (ESCI - Web of Science) y Scopus (comienzo del Vol. 5 2016).

Article

The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico

Sofia Mardero¹, Birgit Schmook^{2,*}, Jorge Omar López-Martínez³, Lizette Cicero⁴, Claudia Radel⁵, Zachary Christman⁶

¹ PhD candidate in Sciences in Ecology and Sustainable Development, El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Chetumal, México. ssmardero@ecosur.edu.mx

² Department of Biodiversity Conservation, El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Chetumal, México. bschmook@ecosur.mx

³ CONACYT – El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Chetumal, México. jmartinez.omar@gmail.com

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, Mérida, México. cicero.lizette@inifap.gob.mx

⁵ Department of Environment and Society, Quinney College of Natural Resources, Utah State University. claudia.radel@usu.edu

⁶ Department of Geography, Planning, and Sustainability, School of Earth and Environment, Rowan University, New Jersey, USA. christmanz@rowan.edu

* Correspondence: Birgit Schmook. Phone number: +(983)83350440 ext. 4407. bschmook@ecosur.mx and birgit_schmook@yahoo.com

Received: 4 May 2018; Accepted: 23 June 2018; Published: 26 June 2018

Abstract: Maize is the important staple crop in Mexico, and the recent intensification of climate variability, in combination with non-climatic forces, has hindered production increases, especially for smallholder farmers. This article demonstrates the influence of these drivers on maize production trends in the three states of the Yucatan Peninsula using a mixed methods approach of climatic analysis and semi-structured interviews. Climate trend analysis and generalized additive models (GAMs) demonstrate relationships between production and climatic variability, using 1980-2010 precipitation and temperature data. Data from forty interviews with government officials and representatives of farmers' associations (gathered in 2015 and 2016) highlight the influence of agricultural policy on maize production in the region. The climate trend analysis yielded mixed results, with a statistically significant negative rainfall trend for Quintana Roo and variability in maximum temperature changes across the region, with an increase in Yucatan State and Quintana Roo and a decrease in Campeche. Climate and production GAMs indicate a strong significant relationship between production and climate fluctuations for Campeche (79%) and Quintana Roo (72%) and a weaker significant relationship for Yucatan State (31%). Informants identified precipitation variability and ineffective public policies for smallholder agricultural development as primary obstacles for maize production, including inadequate design of agricultural programs, inconsistent agricultural support, and ineffective farmers' organizations. Quantifying the influence of climate change on maize production, and the amplifying influence of national and regional agricultural policy for smallholder farmers, will inform more appropriate policy design and implementation.

Keywords: Climate Variability; Smallholder Agriculture; Subsidies; Precipitation; Mixed Methods; Double Exposure

1. Introduction

The agricultural sector is inherently sensitive to weather conditions and vulnerable to the impacts of globalization [1,2]. Recent discussions regarding impacts of climate change on agriculture acknowledge that a changing climate not only implies long-term changes in average conditions, but also changes in the yearly seasonal variations, including the frequency and magnitude of extreme weather events [3,4]. Non-climate drivers, such as public policy and social, economic, and technological factors, also impact production [5]. Smallholder farmers, hereafter "smallholders," (for a definition of smallholders see [6]) in developing countries are exposed to high levels of environmental, political, and economic stress, [7] affecting their production [8–10]. In Mexico's Yucatan Peninsula, the agricultural sector faces numerous challenges. Increased precipitation variability and frequency of drought events [11], increasing periods of extreme temperatures [12, 13], and land degradation [14] together constrain smallholders' efforts to improve crop productivity and food security [15]. Inadequate policy design and implementation further exacerbate these challenges [16].

Several studies have estimated the likely impacts of future climate changes on crop production [17-21], but few studies have considered the joint impacts of climate and non-climate drivers such as policy (e.g., "double exposure" [22]). This article addresses maize production trends in Mexico's Yucatan Peninsula and their temporal relationship with climatic variability, incorporating non-climate drivers, such as agricultural policies. Researchers compared climate variability with maize production yields, trends, and characteristics in the three states of the Yucatan Peninsula over the last 30 years. These results are contextualized by the implications of national and regional agricultural policy and current agricultural programs, via both official reports and semi-structured interviews with representatives from farmers' associations and government agencies.

Results of this study demonstrate how the combined effects of climate variability and agricultural policy have constrained maize production, further exacerbating challenges faced by smallholders. This study provides a basis for new policy interventions that could support more appropriate agricultural programs in the context of changing climatic conditions.

1.1. Maize: National context

Maize is the predominant crop of Mexico, valued as a commodity and for its cultural, political, and social symbolism throughout history [23]. Maize comprises 33% (7.5 million ha) of the cultivated area throughout the country and contributes 18% of the agricultural sector's production value (more than 4 billion USD in 2013) [24]. As a subsistence crop, maize ensures the food security of millions of families across the country. Subsistence and semi-subsistence maize cultivation is found in half of all Mexican municipalities [25], and nearly 2.8 million farmers cultivate maize, mostly as smallholders on less than 5 ha [26,27]. Cultivation of maize in Mexico is primarily rain-fed (80% by area), although irrigated production has increased substantially from 1980 to 2015, especially in northern Mexico [28].

1.2. Climate change context

Climate change models for Mexico [29,30] indicate that the country is likely to experience higher temperatures and higher evaporation rates, with a doubling of Carbon dioxide (CO₂) emissions and greater oscillation in precipitation patterns. Likewise, Méndez-González and colleagues [31] have shown that rainfall regimes in several parts of Mexico have been substantially modified, demonstrating increased rainfall in arid and semi-arid regions and decreased rainfall in dry and wet regions. Further, frequent droughts and hurricanes have threatened Mexico, especially in the Yucatan Peninsula [32,11,33]. Overall, climate models are pessimistic for producers of maize and other grains [34-36].

1.3. Mexican agricultural policy, 1980-present

Over the last three decades, Mexico's countryside has faced an economic, environmental, and social crisis as agricultural policies have explicitly prioritized industrial agriculture, relegating smallholders to social welfare programs and to a marginal role in the national and global economy [37,38]. Economic liberalization of the agricultural sector began in the late 1980s and accelerated during the 1990s [39,40], with the negotiation of international trade agreements like the General Agreement of Tariffs and Trade (GATT) in 1986 and the North American Free Trade Agreement (NAFTA) in 1994. One of the many consequences of GATT and NAFTA for smallholders was the gradual dismantling of CONASUPO (The Mexican National Company of Popular Subsistence), created in 1962 to ensure the supply of affordable staples and to guarantee prices for producers, and closed in 1998 [41]. The federal government also eliminated guaranteed prices for most crops, restructured input subsidies, reduced subsidized credit for smallholders, and drastically decreased financing of agricultural research and extension [42,43,38].

While most direct subsidies and price supports were eliminated, a new generation of agricultural programs started in the 1990s, redefining the public sector's role in agriculture and rural development. The most important of these newly implemented programs were the Program of Direct Support for the Countryside (Programa de Apoyos Directos al Campo, or PROCAMPO), a cash transfer program, and the Alliance for the Countryside (Alianza para el Campo), a matching grant program for investments in agriculture [44,45]. Although the Mexican government has invested considerably in agricultural subsidies (including at least 20 billion USD in direct payments to farmers since 1994), a 2009 World Bank review of Mexican agricultural spending concluded that more than half the funds were directed to the richest 10% of producers. For PROCAMPO, 44% of the total spending for the period 1994-2008 was concentrated among the wealthiest 5% of farmers, whose economic success may not depend on these subsidies [46]. By contrast, the poorest 80% of beneficiaries received just under 27% of spending. Funds dispersed from 1995 to 2003 were substantially less than funds dispersed from 1989 to 1994, indicating that trade liberalization after 1994 was paired with decreased agricultural subsidies [47].

2. Materials and Methods

2.1. Study area

The study was conducted in the Yucatan Peninsula of southeastern Mexico (Figure 1), an area of about 145,000 km², including the states of Campeche, Yucatan State and Quintana Roo. The Yucatan Peninsula is a physiographic region consisting of a karstic platform with marked carbonate rock layers [48]. Karstic landscapes result in considerable spatial heterogeneity in soil groups. Leptosols comprise 75% of the landscape [49-51], and their variability, stoniness, and shallowness complicate mechanized agriculture [50-53]. Other dominant soils are Vertisols, rich in organic matter, but susceptible to erosion and poor drainage [54]. Phaeozem soils are also found in the three states (17% of Campeche, 8% of Yucatan State, and 10% of Quintana Roo). Soils in this group are more fertile, deeper, and less stony than Leptosols, facilitating mechanized agriculture. *The estimated potential for mechanized agriculture (as a proportion of all the land suitable for agriculture in each state) is as follows: Campeche, 61%; Quintana Roo, 43%; Yucatan State, 20% [55].*

Drainage in this karst landscape is primarily underground, with a network of sinkholes or *cenotes* [56], with little surface water. The annual rainfall varies from less than 125 mm year⁻¹ at the western end of the Peninsula, to more than 1500 mm year⁻¹ on the eastern coast, with most regions experiencing 800-1200 mm year⁻¹ [55]. Climate in the Peninsula [55] is tropical wet and dry (Aw) across most of the area, and semi-arid (BS1) in a small portion of the Northwest of Yucatan State.

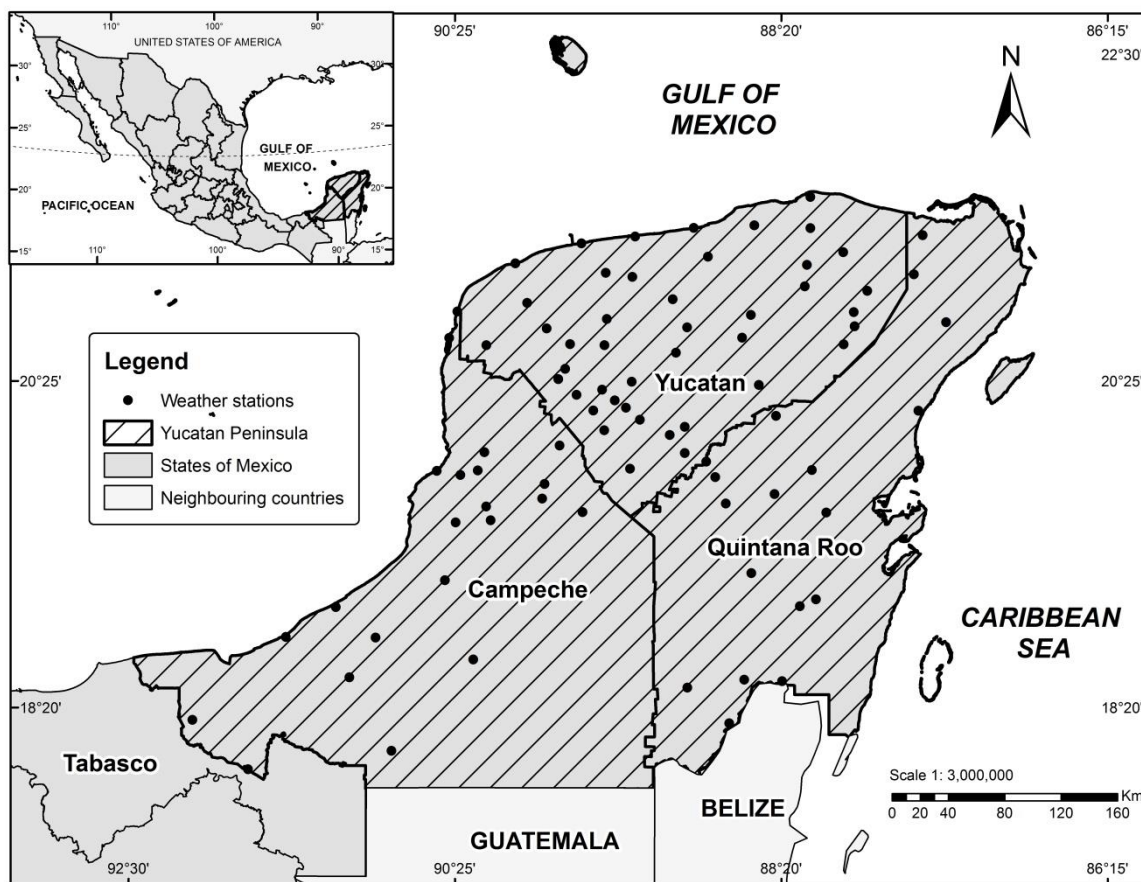


Figure 1. Study area, including the weather stations used for the analysis.

Maize production varies across the three states of the Yucatan Peninsula, in both area and yields (Table 1). Campeche has the highest maize production in the Yucatan Peninsula, for both yield and area cultivated. Campeche also experienced the largest percentage increases in area cultivated, average yield, and total annual production from 1980 to 2015.

Table 1. Extent of maize, per hectare yield, and total production per state for 2015, both rain-fed and irrigated. Source of data: National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP).

State	% total land cultivated	Yield (ton/ha)			Total production (ton/year)	Area planted (ha)			% increase (1980 – 2015)		
		Rain-fed	Irrig.	Average		Rain-fed	Irrig.	Total	Area	Prod.	Yield
Campeche	71	2.3	5.2	3.8	407,201	183,173	2568	185,742	241	790	90
Q. Roo	83	0.6	2.4	1.5	38,700	78,364	1985	80,349	55	44	46
Yucatan State	93	0.6	4.5	2.5	75,324	107,868	8600	116,469	-21	-17	44

Mexico's Agricultural and Fisheries Information Service (SIAP) collects maize production data, which allows assessment of changes in maize yield and area under cultivation [28]. Rain-fed maize area showed no overall increase or decrease for the studied period, 1980-2015, for Quintana Roo and Yucatan State, but Yucatan State exhibited a decrease in cultivated area for the last ten years of the period, 2005-2015, while the cultivated areas of Campeche steadily increased, especially after 1993 (Figure 2). Total annual production and average maize yields were similar for each state, with an increase in irrigated cultivation, resulting in higher average yields and total production since 2008. During this period, Campeche rose in maize production ranking among Mexican states, from the 23rd to the 10th place.

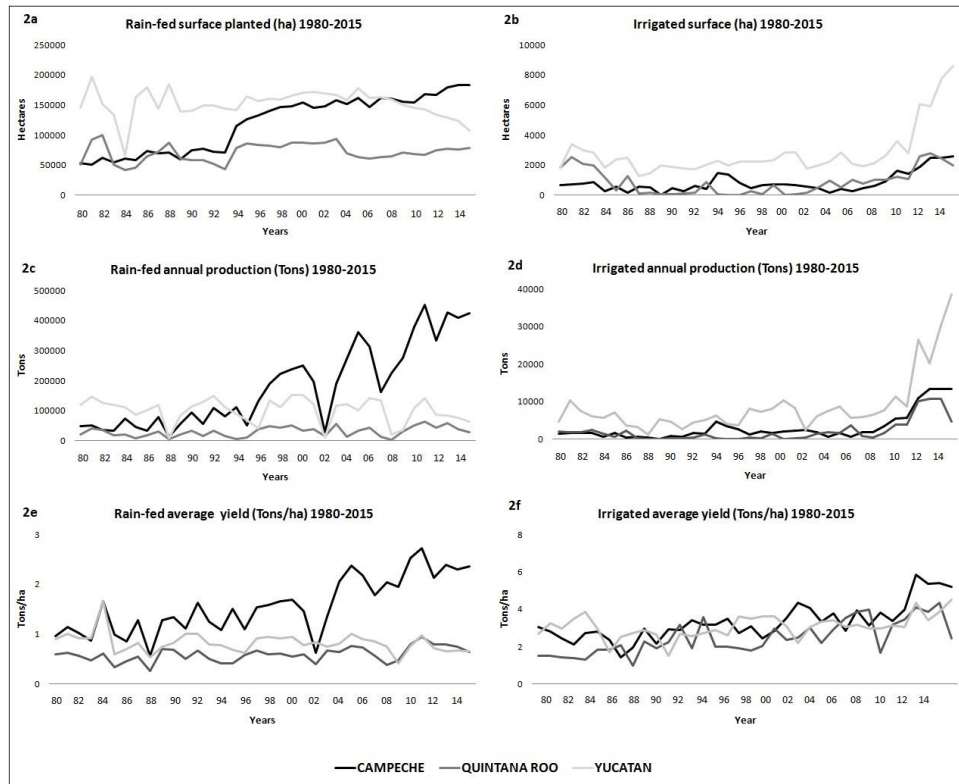


Figure 2. Surface area planted in maize, annual maize production, and average maize yield in Campeche, Quintana Roo, and Yucatan State, 1980 – 2015, by type of production (rain-fed or irrigated).

In Campeche, in addition to soils better suited for mechanized agriculture [58], large Mennonite colonies in the municipalities of Hopelchen and Hecelchakán contributed to the state's greater maize production. In addition, Campeche's public policy expenditures prioritized agricultural production, while Quintana Roo emphasized tourism and Yucatan State prioritized both livestock production and tourism.

2.2. Mixed methods approach

A mixed methods approach [59] was used for this research, offering an opportunity to draw from the strengths of both quantitative and qualitative research approaches [60]. Although mixed methods research is not entirely new, it is a new trend in interdisciplinary research that has arisen in response to the current need to address topics requiring study from different but complementary

perspectives, using both general research approaches, quantitative and qualitative [59]. Quantitative data for climatic variables and maize production trends and GAM models were collected from official governmental sources (<https://www.gob.mx/sagarpa>, subsidiocalcampo.org.mx). Qualitative data were gathered through 40 in-depth, semi-structured interviews with key informants, with interviews ranging from 1 to 3 hours. Further evidence of agricultural and climatic trends was collected from a review of previous scientific and agricultural program reports. When appropriate, direct quotations from interviewees are used with attribution and locations, following [61].

Mixed methods research enables the integration and contextualization of conclusions that are drawn from each strand of the research [62,63]. In this study, analyses of quantitative and qualitative data were undertaken independently, and are integrated in the discussion. Approaches taken for data analysis are detailed in the following two sections.

2.3. Quantitative data and analysis: Maize production and climatic variability

Official yearly maize production data from SIAP (the administrative body in charge of generating statistics and geographic information on agrifood matters, and the only data source available for annual crop production in Mexico) were related to temperature and precipitation data from the monthly records of the weather station network of the National Meteorological Service (SMN). The variables used were minimum temperature (Tmin), maximum temperature (Tmax), and accumulated precipitation (Precip), summarized into monthly averages. The selected study period for this analysis was 1981 to 2010, because only for this period are complete data sets available for all variables. For this reason, the period for this climate-production analysis is five years short of the study's longer period of assessment from 1980 to 2015.

Data from 80 weather stations (Figure 1) in the region were gathered. Missing data from all stations were interpolated using Generalized Additive Models (GAMs), nonlinear models comprised of the sum of smoothed functions (consisting of a series of local regression-type models), rather than linear functions [64,65]. These models are widely used in analysis of time series, enabling non-parametric adjustments and nonlinear effects of seasonality and trends [66].

To address the temporal variation of climate data, the time series was decomposed into three components: trend, seasonality, and randomness, based on an analysis of moving averages, using the software R 3.4 [67]. Linear models were conducted to determine the presence of trends for each climate variable over the time-period. To determine the relationship between climate variability and maize production, GAMs were generated using the variances of climate data (Tmax, Tmin, and Precip) as independent variables, by year. Annual maize production (tons) served as the dependent variable. Four models were built: one for each of the three states and one for the entire Peninsula. Because the dependent variable is discrete, the GAMs used a Poisson distribution. All models were generated with the “gam” function from the “mgcv” package of R 3.4 [68].

Precipitation anomalies were calculated to address years with a deficit or surplus of precipitation. Anomalies are calculated as the percentage difference observed in a year, month or specified time, “*i*” (P_i), compared to the average of a specified period (P):

$$\text{Anomaly} = (P_i - P)/(P \times 100).$$

2.4. Qualitative data and analysis: Perceived causes and influences

Forty in-depth, semi-structured interviews were conducted between October 2015 and February 2016, following the practices of a grounded theory framework, based on the collection and systematic analysis of empirical data, without specific theory or initial hypothesis [69]. The type of sampling that is done based on the Grounded Theory is called Theoretical Sampling. In it, the size

of the sample is not known a priori. The structuring of this is done gradually throughout the research process and is not done according to criteria of representativeness but according to the relevance of the cases [69,70]. The sampling ends then, when reaching the Theoretical Saturation, which means that no new data are found through which more questions can be developed. The incorporation of new material or new data ends, according to this concept, when nothing new emerges [71].

Interviews were conducted with members of farmers' grain-production associations and government officials. Federal agencies included SAGARPA (Secretary of Agriculture, Livestock Production, Rural Development, Fishery and Food, six interviews), CONAGUA (National Water Commission, three interviews), INIFAP (National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research, three interviews). State agency interviews included six interviews with staff from the Ministry of Rural Development, Campeche (SDR); the Ministry of Agricultural and Rural Development, Quintana Roo (SEDARU); and the Ministry of Rural Development, Yucatan State (SEDER). Further interviews included the directors of the Maize Commodity System (Sistema Producto Maíz) of each state and representatives from various *farmers' associations, ranging from subsistence to commercial producers, with memberships of 20 to 10,000. Interviewees included not only farmers, but also federal government officials related to the agricultural sector, in order to achieve a more complete and broad set of perspectives on the situation of maize production.*

The survey instrument consisted of a list of topics related to climate change and variability, issues faced by maize producers, agricultural programs and subsidies, and how these elements were perceived to interact and influence maize production. Most of the interviews were audio recorded (with consent) and transcribed. Using the Atlas.ti software, transcripts were analyzed for dominant themes and language use [72]. Transcript analysis was conducted in three stages: a) organization of information (field notes, written interviews), the transcription of recorded interviews, collection and organization of information to be analyzed; b) analysis to decompose the information in analytical units, to identify the drivers for maize production, and to assign codes to these drivers. These first steps of analysis helped us to build first level categories and subcategories and then identify the different parts of the testimonies, which fall into each category. For example, the category for the influence of climate change on production was refined into sub-categories for droughts, rainfall variability and hurricanes. This process enabled the identification of similarities or differences among testimonies and the creation of networks between them. With the information of each interview falling in the created categories, was it possible to address, which are the main drivers of maize production; c) analytic interpretation, including description of the findings and their theoretical interpretation.

This study did not quantify the relationship between the non-climate drivers and maize production (as with the climate drivers and production), and a structured list of questions was not used, unlike as has been used by Adger [73], Eakin [7], and O'Brien & Leichenko [74] to analyze the influence of multi-stressors (climate change and globalization) on smallholders in Mexico and other parts of the world.

3. Results

3.1. Climate trends, precipitation anomalies, and climate–production analysis

Historical precipitation data from the 80 weather stations show significant negative trends for total precipitation from 1981 to 2010 in Quintana Roo ($R^2 = -0.1393$, $p < 0.0001$); however, total precipitation in Yucatan State and Campeche did not exhibit any directional trend ($R^2 = 0.04637$, $p < 0.0001$; $R^2 = 0.00176$, $p = 0.428$, respectively). Maximum temperatures in Quintana Roo and Yucatan State experienced a slight increase ($R^2 = 0.03396$, $p < 0.0001$; $R^2 = 0.03119$, $p = 0.0005$;

respectively), and in Campeche maximum temperature followed a negative trend ($R^2 = -0.40771$, $p < 0.001$). The minimum temperature exhibited a positive trend in all three states (Figure 3).

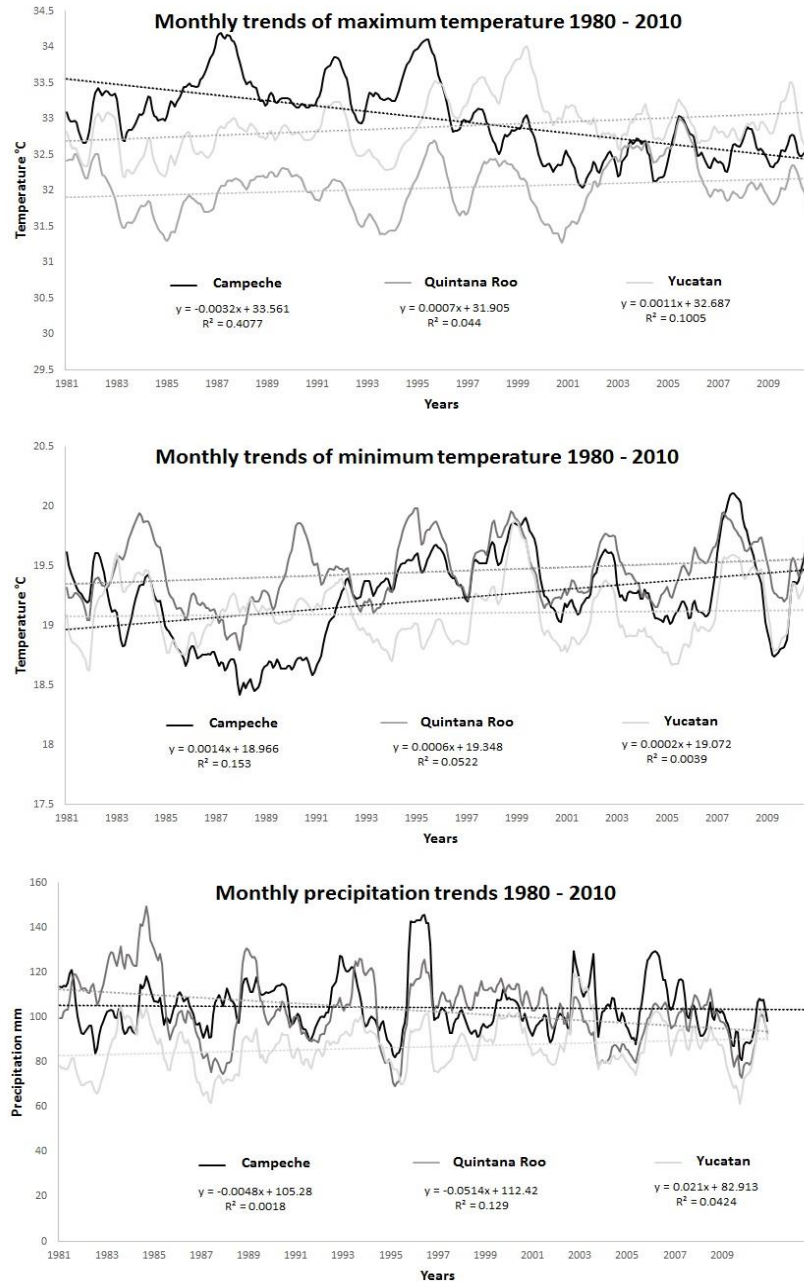


Figure 3. Trends for maximum temperature, minimum temperature, and precipitation for each state, from 1981 to 2010.

Precipitation anomaly results (Figure 4) show that most of the years with the highest negative anomalies coincided for the three states, in 1986, 1994, and 2009, matching occurrences of El Niño events. Anomaly analysis also indicates that Quintana Roo experienced the highest negative

anomalies, and from 2000 onwards, Quintana Roo had a precipitation deficit in almost every year (Figure 4).

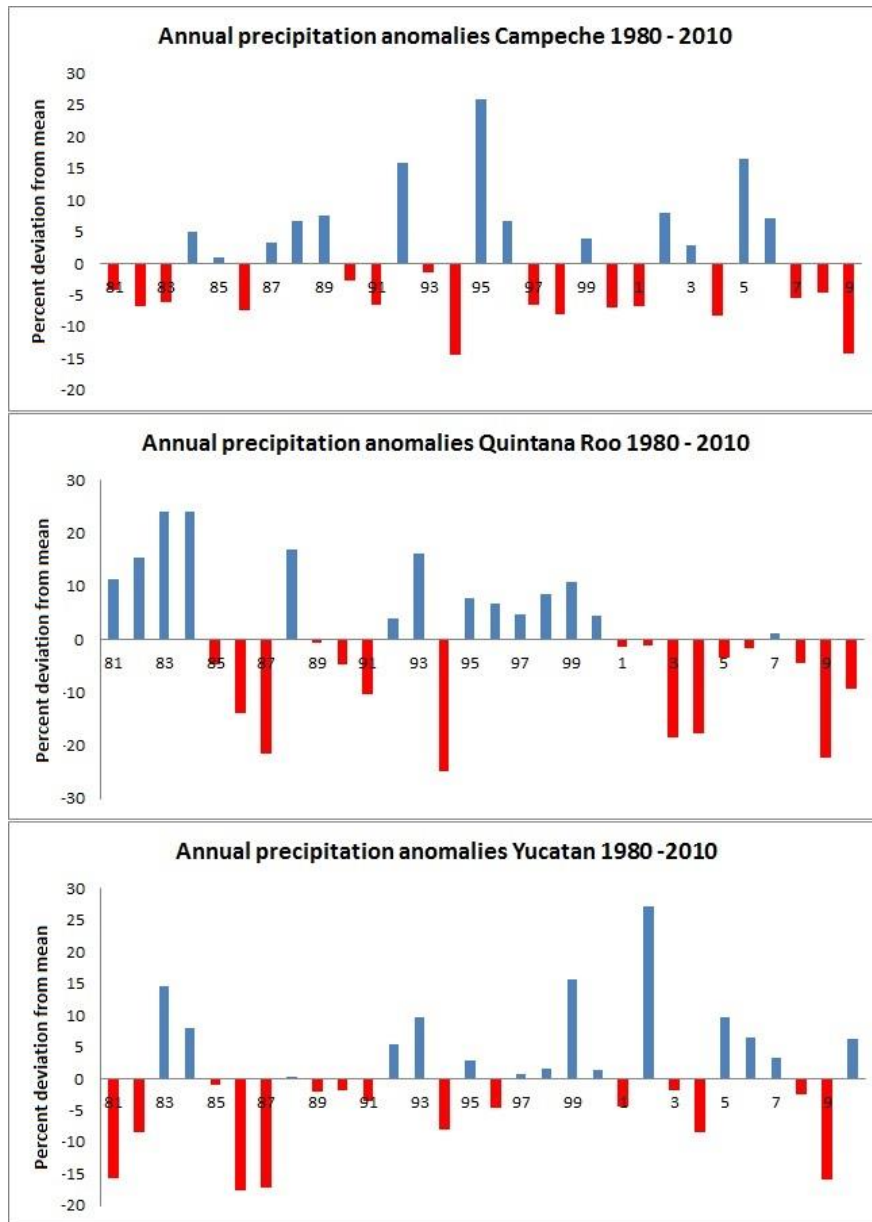


Figure 4. Annual precipitation anomalies for the three states, 1981 – 2010.

The relationship between climate variability and maize production for the 1981-2010 period was modeled for each of the three states and for the Yucatan Peninsula as a whole. The more robust models are for the states of Campeche and Quintana Roo, with an adjusted R^2 of 0.79 and 0.72 respectively, indicating that 79% of the variability of Campeche's maize production and 72% of Quintana Roo's are explained by concurrent variability in precipitation and temperature. In both Yucatan State and in the Peninsula as a whole, the relationship between climate variation and production for the 1980-2010 period is somewhat weaker. The climate variables explain only 31%

of the production variation for Yucatan State model, and only 28% for the Peninsula model. The independent variables (Year, Tmax, Tmin and Precip) are each significant in all models.

Precipitation variability follows a very similar pattern in the four models: maize production is greater when there is less variability in precipitation. In the case of maximum and minimum temperatures, the models show no clear pattern. However, in general, the largest maize production occurred in those years in which the variability in maximum temperatures was low.

3.2. Perceptions of climate change and of its effects on production

All interviewees indicated that climate change is a major challenge facing maize producers. Rainfall variability, which could mean several days without rain, followed by concentrated rainfall in a short time period, causes flooding in farm plots and detrimental water saturation in the soils, risking crop failure. Strong hurricane winds or tropical storms devastate plots, and droughts, which producers perceived as increasingly frequent and intense, directly result in large production losses and enable the proliferation of pests.

Testimonials do not reflect perception of an overall decrease in precipitation over the last 3 decades. Respondents instead focused on describing changes in precipitation patterns, as rainfall has become extremely unpredictable and scattered both spatially and temporally:

"The main problem of agriculture itself is the weather. Everything was based on rain-fed [agriculture]: It used to be a regular and predictable weather but now is totally erratic". Santiago Arjona, Secretariat of Rural Development, Campeche.

According to interviewees, without predictable rainfall, farmers must modify their agricultural calendar according to each year's or season's characteristics. Consequently, the spring-summer crop cycle may overlap with the winter crop cycle, or water-intensive stages of plant development may coincide with the *canicula*, or mid-summer drought. Crops can also be more affected by heat waves, by the "strong winds" of October, and by the presence of pests. There is also an increase in labor and production costs: In many cases, producers prepare the land according to the usual sowing calendar, but with delayed rains, they must repeat this labor.

With respect to temperatures, interviewee perceptions align with results of the climate trend analysis, emphasizing that maximum temperatures have increased with time. Interviewees reported a negative effect on maize production due to the direct effect of temperatures on yield:

"...it has been considered that we should measure per hectare productivity, especially of those crops that are rain-fed. High temperature periods have increased and this stresses the crop for a longer time, making the yield go down, and maybe this is not considered as 'agricultural losses,' but these areas will have a lower productivity". Raul Diaz Plaza, INIFAP.

3.3. Agricultural programs and the effects on maize production

Interviews and a review of official materials on agricultural programs inform the study's findings on the role of agricultural policy in production, for rural and indigenous Mayan smallholders in Quintana Roo, Campeche, and Yucatan State. The restructuring of the agricultural sector in the Yucatan Peninsula, as well as the intensification of tourism since the 1980s, has created new livelihoods and new socioeconomic dynamics [75]. Agricultural policies have primarily benefitted the largest producers by basing subsidies on the area under cultivation (as with PROCAMPO), with limited support for inputs (like under PIMAF, the Incentive Program for Maize and Bean Producers) and some support from social welfare programs (like Prospera, Mexico's primary anti-poverty cash transfer program). Pressure to modernize agricultural production and to cope with a changing climate has resulted in soil degradation and loss of fertility, coercing maize producers to employ a

number of strategies to access monetary supports and agricultural inputs in order to maintain or increase yields.

The most common programs accessed by interviewed farmers were PROCAMPO and PIMAF, which provide small monetary supports, seeds and other inputs, and some technical assistance. Producers trying to market their crops can also get support (assistance for commercializing, advice on national and international markets and on promoting their products, and so on) from ASERCA (Agency for Services of the Marketing and Development of Agricultural Markets). Producers often receive insurance for their crops for cases of catastrophic loss. For smallholders, the insurance is usually provided (without cost) by government agencies (about 1500 pesos to each producer per hectare affected by climatic events), while commercial farmers contract commercial insurance companies. Producers with the financial means often install irrigation systems, which may be partially subsidized with governmental funds. See Appendix Table 1 for more details on support programs used by maize producers in the Peninsula.

To apply new production techniques, agricultural producers use various combinations of monetary support and agricultural inputs offered by government programs, payments for environmental services, insurance against climatic disasters, and credit (usually through *Financiera Rural*). However, the application procedures, eligibility, and delivery of these support programs can be difficult to navigate, especially for smallholders. Farmers may be ignorant of the rules of operation, they may lack the necessary guarantors to obtain financing, or they may face difficulties in meeting program requirements or payments to service providers. According to representatives of maize producer organizations, service providers, and the Director of the Maize Commodity System, the primary problem producers face is the substantial delay in the delivery of monetary support and supplies, even after successfully demonstrating eligibility.

Farmers also noted gaps in the continuity and distribution of agricultural programs, with few and scattered allocations to many producers rather than focused disbursements in strategic areas. Farmers attributed these challenges to the federal structure of these programs, which they claimed was misaligned with the environmental, economic and social characteristics of the Peninsula. Interviewees perceived that most programs are not oriented towards subsistence producers at all, but focus on commercial agriculture, with no agricultural development plan that is working for the needs of subsistence smallholders.

4. Discussion

4.1. Production trends, climate trends, and the climate-production relationship

While rain-fed production in Mexico and the Peninsula remains stagnant [76,77,39], irrigated production has increased substantially, especially since 2010. Previous research has offered various explanations for this stagnation in rain-fed maize production, including neoliberalization at multiple economic scales [78,79]; agricultural policy focused on increasing technical inputs for producers with commercial potential [38]; declining and greater variability in precipitation [80,29]; and the expansion of a "modern" sector (especially in northern Mexico) that has rapidly adopted new production technologies and increased the area under irrigation [39].

Each state of the Peninsula has its own characteristics that influence maize production (Table 2 in the appendix summarizes the drivers for maize production trends in the Yucatan Peninsula). Among the three states, maize production has the greatest correlation with climate variability in Campeche. This is notable, because Campeche has had a relatively stable climate over the last 30 years and is the state with the highest and still-increasing maize production. Campeche also has more suitable soils for agriculture and the highest budget devoted to the agricultural sector, the highest funding from PROCAMPO, the greatest percentage of mechanized surface, and the greatest use of improved seeds.

Quintana Roo also demonstrates a strong relationship between climate variability and production, as well as the greatest climate variability, resulting in lower total maize production and yields. Quintana Roo also has the lowest budget for SAGARPA, the lowest expenditure of PROCAMPO funds, the lowest number of beneficiaries of the program (22,000), and, compared to Campeche, a lower percentage of the federal expenditure budget devoted to agriculture and less surface planted with improved seeds. Soils are not as good as in Campeche, but not as poor as in Yucatan State. Yucatan State presents the weakest relationship between climate variability and production, suggesting that a primary limitation for agriculture in Yucatan State may not be climate, but rather soils. In addition, in Yucatan State, economic policy focuses on livestock and tourism, devoting the lowest percentage of the state budget to agriculture, among all the other sectors.

Precipitation and temperature in the Yucatan Peninsula do not show very marked trends of change throughout the study period; however, some changes in precipitation and temperature in Quintana Roo are evident, which, although small, are statistically significant. This difference among the states could be explained by Quintana Roo's exposure to the trade winds, making it more susceptible to variations in the intensity and amount of humidity and heat they carry [11]. The inability to identify marked trends in these variables does not imply there have been no changes in climate. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report [81], the effects of climate change on precipitation, for example, rather than decreasing or increasing annual or seasonal averages over time, occur mainly in the intensity and distribution of rains; however, these data are not sufficiently available for analysis.

The amount and distribution of precipitation is widely recognized as among the most important determinants of yields in agriculture, followed closely by temperature [82,83]. INIFAP researchers interviewed cite as important to production in the Yucatan both temperature increases over time (especially maximums) and increases in the frequency and duration of high temperatures. In addition, cyclic events such as El Niño are known to have a strong influence on maize production in the study area [77,39]. In this study's analysis, climatic factors bore a strong influence on production in each of the states; although, as other studies of agricultural and rural vulnerability have shown [84,85,7, among others), climate conditions and climate risk are not the only, and sometimes not even the most important, determinants of production.

4.2. Agricultural policy

Support for agricultural production is highly concentrated in a few Mexican states, primarily in the north, and targeted towards few producers, which deepens social and economic inequalities. According to SAGARPA, in Quintana Roo producers with less than 5 ha represented 90% of the PROCAMPO beneficiaries in 2016, receiving 84% of the program's funds. In Yucatan State, the comparable group represented 96% of beneficiaries and got 90% of funds. In Campeche, by contrast, producers with less than 5 ha represented 80% of beneficiaries but received only 55% of transfers. In short, Campeche allocated more support to large commercial producers, potentially increasing overall production. This may also indicate that, in Campeche, more farmers have achieved the transition from small, semi subsistence producer to commercial producer. In the Yucatan Peninsula as a whole, 87% of the agricultural producers who benefited from PROAGRO cultivate 5 hectares or less. According to government officials, agricultural policies in the Peninsula, as in Mexico overall, intend to foster and stimulate capital- and input-intensive agriculture. Greater production, on less area, with pre-designed technology packages and irrigation systems, serves to accentuate the polarization between farmers who are able to make the transition and those who cannot. In a review of more than 300 studies on the Green Revolution from 1970-1989, Freebairn [86] demonstrated that about 80% of studies on the distributional effects of the new technologies found that inequality increased, both inter-farm and inter-region. The benefits of subsidies vary from producer to producer. Agricultural policymakers in Mexico are quite explicit about giving large

growers priority [87,38], and policymakers decide which producers have the necessary productive potential to receive irrigation facilities, subsidies for water use [38], and other technology supplements. Smallholders are relegated to poverty relief and non-productive programs such as PROSPERA, which provides cash transfers conditional on health and education behaviors. In more than half of the country's municipalities (1570/2240), especially in the southern states, the primary social spending comes from the Ministry of Social Development (SEDESOL); in only 358 municipalities is SAGARPA the predominant program. Hence, in the rural smallholder sector, the aim is to combat poverty through welfare programs, rather than through increasing income and employment through a stimulated agricultural sector [88].

4.3. Interaction between climate variability and agricultural programs

The "new" climate characteristics further exacerbate the polarization in Mexican agriculture, according to respondents. The changing climate has led to a search for new ways to produce, accompanied by a reliance on different types of inputs and mechanization, which most producers can only afford with government support. Yet this support largely is not oriented to smallholders. Climate variability coupled with delays in the delivery of monetary support and inputs increase vulnerability to production losses by interrupting the timing of agricultural activities. While these factors may restrict traditional rain-fed agriculture, they may also affect the capacity of smallholders to transition into commercial agriculture. For small producers seeking financial support, climate uncertainty and the unreliability of agricultural programs are important obstacles. Interviewees expressed fear that, if they were able to invest money or credit, production failure would result in personal financial debt.

As already discussed, climate and soil conditions influence the agricultural policy and budget of each state, with decisions based on identified agricultural potential. As such, Yucatan State and Quintana Roo have prioritized their tourism sector, which may be more profitable than agriculture, given the limitations of soil and climate. Rather than abandoning the smallholder sector altogether, there has been re-focused investment in social services for rural areas considered less competitive in national maize markets [89,90]. Smallholders themselves have not widely abandoned maize farming; instead, they sustain their practices through different agricultural supports, social assistance programs, labor diversification, and investment of money earned through temporary migration [32,77,16]. One recent study in Campeche demonstrates how the anti-poverty program Oportunidades (now PROSPERA) enabled semi-subsistence maize production to persist during part of the time-period in question [91]; while another Campeche study related poverty alleviation programs with a shift away from production for self-consumption and towards the purchase of industrial foods [92]. These studies suggest that the relationship between smallholder production and social support programs is complex. Smallholders lack alternatives and may persist in maize production because of its critical role in rural culture and livelihoods. Despite the difficulties caused by the climate and market, many smallholder households have maintained their maize cultivation for subsistence and cultural reproduction, subsidized by off-farm employment and governmental transfers [16]. Nevertheless, this production remains marginal and without prospects for improving smallholder wellbeing.

5. Conclusions

Yields of rain-fed maize in the Yucatan Peninsula remained stagnant for the period 1980-2015, while areas planted diminished. Irrigated production, on the other hand, steadily increased, in an effort to meet Mexico's growing demand for maize and reduce dependency on maize imports. Nevertheless, irrigation systems and other agricultural inputs polarize Mexican farmers by their ability to access and afford these resources. Measurable and statistically significant climatic

changes have affected the entire Peninsula, especially in Quintana Roo, and current climate characteristics make traditional maize cultivation economically marginal. This situation has led to new modes of production, with different types of inputs and mechanization, and has made many smallholders dependent on funding programs and supports.

In addition to a changing climate, limited access to new technologies, high dependence on government support, and the shallow, stony soils across much of the Yucatan Peninsula together influence the low overall maize production. With these interacting influences, the small-scale agricultural sector has experienced a crisis dating back to the 1980s. Results of this study demonstrate that an integrated combination of the biophysical conditions shaping production and the economic, policy, and program-implementation conditions shaping access to markets and incentives have created this crisis in smallholder agriculture, experienced as low yields for rain-fed maize production. Nevertheless, smallholders have not widely abandoned maize farming and are combining this ancestral activity with a diversification of income-generating activities and government assistance [16].

Other studies in Central Mexico [7] found that agricultural policy changes play a far more prominent role in farmers' livelihood and production strategies than does climatic risk. In contrast, even though we found that agricultural subsidies do play an important role in agricultural production, we also found a strong relationship between maize production trends and climatic trends in two of the three states of the Peninsula. Appendinni and Liverman [32] documented the influence of climate risk and agricultural policy on smallholders for the period since 1994, arguing that agricultural policy might influence the way smallholders respond and adapt to climate change, but that the impact would be differentiated according to region, crop and type of farmer.

Arce et al. (2018) [93] stated that it is necessary that small-scale producers be included in Mexico's Special Climate Change Program (Programa Especial de Cambio Climático PECC 2014 - 2018), in order to have a positive impact on these producers' crop production, food security and livelihoods, all of which are already highly affected by climate change. This program is one of the planning instruments of Mexico's General Law on Climate Change, and it contains a diagnosis of the country's situation with respect to climate change. The program has 26 strategies and 199 lines of action, of which 77 correspond to adaptation to climate change, 81 to its mitigation, and 41 to the construction of a state policy on the subject, but the program does not contemplate a single line of action that takes into account the impact of climate change on small-scale rural producers.

Vergara and colleagues [94] have suggested that current agricultural policies, developed over time and without regard to the climate challenge, should be revised to channel public resources in new ways which are consistent with low-carbon, climate-resilient agriculture, as well as to promote investment in public goods such as agricultural research and extension services. By characterizing how observed climatic change and concurrent agricultural policies combine to influence maize production, this research can provide insight to decision makers, for more appropriate policy design and implementation. This study further advances this insight by integrating analysis of the climate-production relationship with the perceptions of the many different actors engaged in support programs, to better understand ways to increase smallholder wellbeing in the face of increasing climate variability.

The analysis of the joint impacts of climate change and agricultural policy, through a mixed method approach, is the main strength of this research, as this kind of study has never been undertaken for the Yucatan Peninsula and is uncommon elsewhere. An analysis of maize production trends, related only to climatic characteristics, would be incomplete and would not provide the full context under which maize producers operate. By the same token, it is not possible to examine the influence of public policy on maize production, without considering the influence of a changing climate. The main weakness of this study is the inability to address the differentiated impacts (of climate change and agricultural policy) on small- versus large-holders because of the unavailability of maize production data that distinguish agricultural holdings by size. Available data

allow distinguishing only between rain-fed agriculture and irrigated agriculture. Another study weakness relates to scale. Based on the available agricultural data, the production and climate analyses were conducted for each state, resulting in the loss of detail on important climatic and production variations across states. A final weakness is the study's inability to integrate the influences of climate and policy into unified analyses. The analysis of the influence of policy and its programmatic implementation relies on the perceptions of key actors, both state employees and farmers and their representatives.

Results from this study could be used by policy makers to elaborate agricultural policies targeted to increase maize production in the context of future climate impacts. With more appropriate policies that enhance smallholder resilience and production capacity rather than provide only social assistance, small-scale producers can be supported to develop greater flexibility to adjust to changing environmental stress.

Author Contributions: Conceptualization, Mardero, López-Martínez and Schmook; Methodology, Mardero, López-Martínez, Schmook and Cisero; Formal Analysis, Mardero, López-Martínez and Cicero; Investigation, Mardero; Project Administration, Mardero and Schmook; Writing – original draft, Mardero, Schmook, López-Martínez and Cisero; Writing – Review and Editing, Mardero, Schmook, Radel and Christman.

Appendix 1

Programs, supports and strategies used by maize producers in Mexico's Yucatan Peninsula.

<i>Program, support or strategy</i>	<i>Type of support</i>	<i>Institution in charge</i>
Program of Direct Support to the Countryside (PROCAMPO, PROAGRO)	Monetary support on a per hectare basis	Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA)
Agency for Services of the Marketing and Development of Agricultural Markets (ASERCA)	Promotes marketing through incentives to producers and buyers of agricultural products; granted on a selective basis by region and crop type	SAGARPA
Incentive Program for Maize and Bean Producers (PIMAF)	Provides maize and bean producers with free improved seeds; agrochemicals and implements for planting, harvesting and storage; and technical support ¹³	SAGARPA and the Secretaries of Rural Development of each state
Technological packages	Suggests all inputs needed for one hectare cultivated with maize (in this case), to be able to achieve target yields, according to state's environmental characteristics; cost of packages varies depending on state ¹⁴	<i>Designed by</i> National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP), implemented by SAGARPA and the Secretaries of Rural Development of each state through different programs.
Irrigation systems	Pays 50% of the total costs of the irrigation system and recovers abandoned hydro-agricultural drainage	National Water Commission (CONAGUA) and SAGARPA
Agricultural insurance for catastrophic events	Federal and state governments pay about 1500 pesos to each producer per hectare affected by climatic events; provided at no cost to subsistence farmers and paid if there is a loss of 30% of the insured area	SAGARPA
Climate forecasts	Trimestral meeting to present weather forecasts for the next four months. With this information, representatives of the secretariats of rural development promote incentives or propose agricultural activities.	INIFAP and the Secretaries of Rural Development of each state

¹³Amounts to between 2200 and 2400 pesos per hectare annually, not exceeding 6600 pesos per producer.

¹⁴Between 7000 and 10,000 pesos in the Peninsula, compared to 40,000 pesos in Sinaloa.

Maize Product System	In Campeche and Quintana Roo, committee created under the Law of Sustainable Rural Development, to establish the rules for maize production process; includes subsidies for technical equipment, supplies and services for production, gathering, processing, distribution and marketing.	National Product System Committee
----------------------	---	-----------------------------------

*In addition, a variety of funding possibilities, for financing agricultural infrastructure and inputs, are offered by several governmental agencies such as the Ministry of Economy (SE), Rural Finance (FR), Trusts Established in Relation to Agriculture (FIRA), and the National Fund for Support to Companies in Solidarity (FONAES). Source: Government institutions' websites and interviews.

Appendix 2

Summary of drivers for maize production trends in Mexico's Yucatan Peninsula.

	Campeche	Quintana Roo	Yucatan
Soils			
Leptosol soils as percent of all soils (limit agricultural potential by their shallow depth and high stoniness)	29%	30%	56%
Percent of lands classified by National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI) as not suitable for agriculture (from all lands)	2%	2%	20%
Percent of mechanized agricultural soils (2015)	60%	37%	3%
Climate trends, 1981-2010			
Monthly maximum temperature	Negative trend	Positive trend	Positive trend
Monthly minimum temperature	Positive trend	Positive trend	Positive trend
Total precipitation	No change	Negative trend	No change
Percent of correlation between maize production and climate variability	79 %	72 %	31 %
Agricultural policy			
SAGARPA's budget, 2007 – 2010 (Mexican pesos)	\$2,523,454,658	\$1,223,942,219	\$1,966,909,819
Money provided by PROCAMPO, 2006 - 2012 (Mexican pesos)	\$1,150,989,062	\$685,460,264	\$938,348,210
Percent of Federal Expending (PEF) devoted to agricultural sector	10%	7.6%	7.2%
Percent of maize surface planted with improved	56%	28%	22%

(hybrid) seeds			
Percent of maize surface planted under technical assistance	5.5%	6.5%	14%

References

1. Parry, M.L., Carter, T.R. An assessment of the effects of climatic change on agriculture. *Climatic Change* **1989**, 15(1-2), 95-116. Doi:10.1007/BF00138848. Available online: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00138848.pdf> (accessed on 22 August 2016)
2. Reilly, J.M., Baethgen, W., Chege, F., Van de Geijn, F.E., Lin, S.C., Iglesias, E., Kenny A., Patterson D., Rogasik, J., Roetter, R., Rosenzweig, C., Sombroek, W., Westbrook, J. Agriculture in a changing climate: Impacts and adaptation. In: *Climate change 1995: intergovernmental panel on climate change impacts, adaptations and mitigation of climate change. Scientific-Technical Analyses*. Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss H.R., Eds.; Cambridge University Press. 1996; pp. 427-467.
3. Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsidig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, J.C. Minx, Eds.; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. Available online: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf
4. Smit, B., Burton, I., Klein, R.J., Wandel, J. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* **2000**, 45(1), 223-251. Doi:10.1023/A:1005661622966. Available online: http://www.sterr.geographie.uni-kiel.de/downloads/diss_rklein/part2-4.pdf (accessed on 03 January 2017)
5. Bryant, C.R., Smit, B., Brklacich, M., Johnston, T.R., Smithers, J., Chjotti, Q., Singh, B. Adaptation in Canadian agriculture to climatic variability and Change. *Climatic change* **2000**, 45(1), 181-201. Doi: 10.1023/A:100565332024. Available online: https://www.researchgate.net/profile/Christopher_Bryant3/publication/226292792_Adaptation_in_Canadian_Agriculture_to_Climatic_Variability_and_Change/links/541d59220cf2218008cf7f3a.pdf (accessed on 05 January 2017)
6. Vadjunec, J.M., Radel, C., Turner B.L.II. Introduction: The continued importance of smallholders today. *Land* **2016**, 5(4),34. Available online: <https://doi.org/10.3390/land5040034>
7. Eakin, H. Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development* **2005**, 33(11),1923-1938. Doi:10.1016/j.worlddev.2005.06.005. Available online: <https://federated.kb.wisc.edu/images/group235/48430/Eakin.pdf> (accessed on 13 September 2016)
8. Leichenko, R.M., O'Brien, K.L. The dynamics of rural vulnerability to global change: the case of Southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **2002**, 7(1),1-18. Doi:10.1023/A:1015860421954. Available online: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1015860421954.pdf> (accessed on 17 September 2016)
9. Scoones, I., Chibudu, C., Chikura, S., Jeranyama, P., Machaka, D., Machanja, W., Mavedzenge, B., Mombeshra, B., Mudhara, M., Mudziwo, C., Murimbarimba, F., Zirereza B. *Hazards and opportunities: farming livelihoods in dryland Africa. Lessons from Zimbabwe*. Zed Books London, 1996; 283 pp. ISBN: 1 85649 354 7
10. Silva, J.A., Eriksen, S., Ombe, Z.A. Double exposure in Mozambique's Limpopo River basin. *The Geographical Journal* **2010**, 176(1),6-24. Doi:10.1111/j.1475-4959.2009.00343.x. Available online: <http://www.jstor.org/stable/pdf/25621859.pdf> (accessed on 03 December 2016)
11. Mardero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., Lawrence, D. Sequías en el sur de la península de Yucatan: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones Geográficas* **2012**, (78),19-33. ISSN 2448-7279. Available online: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000200003 (accessed on 07 December 2016)
12. Hernández Cerda, M.E., Torres Tapia, L.A., Valdez Madero, G. Sequía meteorológica. In *México: una visión hacia el siglo XXI*. Gay García C. Ed.; Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2000; 220 pp.

- 13.** Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., Gay, C. Atlas: Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatan. Centro de Investigación Científica de Yucatan, A.C. Yucatan, 2009.; ISBN 978-607-7823-01-8
- 14.** Alcantara, E.A. *Soil fertility in calcareous tropical soils from Yucatan, Mexico and Villa Clara, Cuba, affected by land use and soil moisture effects*. Cu villier Verlag, Göttingen, Germany, 2007; 147 pp. Available online: https://cu villier.de/uploads/preview/public_file/4030/9783867271431.pdf
- 15.** Sutton, W.R., Block, R.I., Srivastana, J. Adaptation to Climate Change in Europe and Central Asia Agriculture. World Bank, Washington, DC. 2009. Available online: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25983>
- 16.** Schmook, B., Van Vliet, N., Radel, C., Manzón-Che, M.J., McCandless, S. Persistence of swidden cultivation in the face of globalization: a case study from communities in Calakmul, Mexico. *Human Ecology* **2013**, 41(1),93-107. Doi: 10.1007/s10745-012-9557-5. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10745-012-9557-5> (accessed on 03 January 2017)
- 17.** Babel, M.S., Agarwal, A., Swain, D.K., Herath, S. Evaluation of climate change impacts and adaptation measures for rice cultivation in Northeast Thailand. *Climate Research* **2011**, 46(2),137-146. Doi: 10.3354/cr00978. Available online: <http://www.int-res.com/articles/cr2011/46/c046p137.pdf> (accessed on 16 January 2017) 701
- 18.** Berg, A., De Noblet-Ducoudré, N., Sultan, B., Lengaigne, M., Guimberteau, M. Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology* **2013**, (170):89-102. Doi:10.1016/j.agrformet.2011.12.003. Available online: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46123177/Projections_of_climate_change_impacts_on20160601-12440_1nsgct1.pdf (accessed on 17 January 2017)
- 19.** Bhatt, D., Maskey, S., Babel, M.S., Uhlenbrook, S., Prasad, K.C. Climate trends and impacts on crop production in the Koshi River basin of Nepal. *Regional Environmental Change* **2014**, 14(4), 1291-1301. Doi:10.1007/s10113-013-0576-6. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10113-013-0576-6> (accessed on 19 January 2017)
- 20.** Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Wang, E. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: analysis of management and breeding strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **2009**, 129(1-3):261-267. Doi:10.1016/j.agee.2008.09.010. Available online: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/13225/1/2009005442.pdf> (accessed on 19 January 2017)
- 21.** Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., Fischer, G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change* **2004**, 14(1), 53-67. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2003.10.008. Available online: http://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_2078_0.pdf (accessed on 21 January 2017)
- 22.** O'Brien, K.L., Leichenko, R.M. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* **2000**, 10(3),221-232. Doi:10.1016/S0959-3780(00)00021-2. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378000000212> (accessed on 21 January 2017)
- 23.** Warman, A. *El campo mexicano en el siglo XX*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, 2002. ISBN 0-12-710003-2
- 24.** "Panorama Agroalimentario Maíz 2016". Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, FIRA. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf
- 25.** SIAP Informa. <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/014-e.html>
- 26.** Appendini, K. Reconstructing the maize market in rural Mexico. *Journal of Agrarian Change* **2014**, 14(1),1-25. Doi: 10.1111/joac.12013. Available online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/joac.12013> (accessed on 10 February 2017)
- 27.** Robles H.M., Ruíz A.J. *Presupuesto para la agricultura familiar y campesina de México*. OXFAM México, 2012. http://www.ccmss.org.mx/descargas/Presupuestos_para_la_agricultura_familiar_campesina_en_Mexico.pdf

28. SIAP (Agricultural and Fisheries Information Service) Statistical Yearbook of Agricultural Production, Government of Mexico, 2015. <https://www.gob.mx/siap>
29. Galindo, L.M. La economía del cambio climático en México: Síntesis. SEMARNAT, 2009. Available online: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/2009_semarnat_ecc_mex.pdf
30. Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H. Impactos potenciales del Cambio Climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México). *El Clima, entre el Mar y la Montaña*, **2004**, (4), 651-660. Available online: http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0064_PU-SA-IV-2004-C_GAY.pdf
31. Méndez-González, J., Návar-Cháidez, J. D., González-Ontiveros, V. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones geográficas* **2008**, (65), 38-55. ISSN 2448-7279. Available online: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112008000100004&script=sci_arttext (accessed on 03 March 2017)
32. Appendini, K., Liverman, D. Agricultural policy, climate change and food security in Mexico. *Food Policy* **1994**, 19(2), 149-164. Doi: 10.1016/0306-9192(94)90067-1. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0306919294900671> (accessed on 22 January 2017)
33. Rogan, J., Schneider, L., Christman, Z., Millones, M., Lawrence, D., Schmook, B. Hurricane disturbance mapping using MODIS EVI data in the southeastern Yucatán, Mexico. *Remote Sensing Letters* **2011**, 2(3), 259-267. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.520344> (accessed 26 February 2017)
34. Conde, C., Ferrer, R., Orozco, S. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmósfera* **2006**, 19(3), 181-194. Available online: http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S0187-62362006000300003&script=sci_arttext (accessed on 05 March 2017)
35. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. <http://www.escenarios.inecc.gob.mx/>
36. Eakin, H., Lerner A.M., Murtinho F. Adaptive capacity in evolving peri-urban spaces: Responses to flood risk in the Upper Lerma River Valley, Mexico. *Global Environmental Change* **2010**, 20(1), 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.08.005> (accessed on 05 March 2017)
37. Burstein, J. Comercio agrícola México-Estados Unidos y la pobreza rural en México. Woodrow Wilson Center for Scholars, Washington DC, 2007. 17 pp. Available online: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IscScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=032185>
38. Fox, J., Haight, L. *Subsidizing inequality: Mexican corn policy since NAFTA*. Woodrow Wilson International, University of California, Santa Cruz, EEUU. 2010. Available online: https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Subsidizing_Inequality.pdf
39. Sweeney, S., Steigerwald, D.G., Davenport, F., Eakin, H. Mexican maize production: Evolving organizational and spatial structures since 1980. *Applied Geography* **2013**, (39):78-92. Doi:10.1016/j.apgeog.2012.12.005. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622812001701> (accessed 07 February 2017)
40. Yúnez-Naude, A. Liberalización y reformas al agro: lecciones de México. *Economía agraria y recursos naturales* **2006**, 6(12), 47-68. ISSN: 1578-0732. Available online: <http://ageconsearch.umn.edu/record/7990> (accessed on 07 March 2017)
41. Yúnez-Naude, A. The dismantling of CONASUPO, a Mexican state trader in agriculture. *The World Economy* **2003**, 26(1), 97-122. Doi: 10.1111/1467-9701.00512. Available online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-9701.00512> (accessed on 02 March 2017)
42. Cornelius, W.A., Myhre, D. The Transformation of Rural Mexico: Reforming the Ejido Sector. Center for US Mexican Studies, University of California, San Diego/La Jolla. 1998. Available online: <http://www.jstor.org/stable/2518305> ISBN-13: 978-1878367310
43. De Ita Rubio, A. Los impactos socioeconómicos y ambientales de la liberalización comercial de los granos básicos en el contexto del TLCAN: El caso de Sinaloa. Centro Mexicano de Derecho Ambiental, Ciudad de México, 2003. Available online: <http://www3.cec.org/islandora/fr/item/1911-socio-economic-and-environmental-impacts-trade-liberalization-basic-grains-in-es.pdf>
44. Eakin, H., Perales, H., Appendini, K., Sweeney, S. Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change* **2014**, 45(1), 133-155. Doi:

- 10.1111/dech.12074. Available online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/dech.12074> (accessed 29 January 017)
- 45.** Gómez-Cruz, M.A., Rindermann S.R. El sistema hortofrutícola en México frente al TLC. In *Alternativas para el Campo Mexicano*, J.L. Calva Ed.; Fontamara-UNAM-PUAL, Ciudad de México, 1993, 135 pp.
- 46.** FUNDAR Centro de Análisis e Investigación, 2010. <http://subsidiosalcampo.org.mx/>
- 47.** González-Estrada, A., Orrantia-Bustos, M. A. Los subsidios agrícolas de México. *Agricultura técnica en México* **2006**, 32(3), 323-331. Available online: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300008 (accessed on 23 February 2017)
- 48.** Raisz, E. Landforms of México. Prepared for the Geography Branch of the Office of Naval Research. Cambridge, Mass. 1964. Serie 18, Scale 1:3 000 000
- 49.** Bautista, F. El Suelo. In Biodiversidad y Desarrollo Urbano en Yucatán, SEDUMA. Available online: http://www.seduma.yucatan.gob.mx/biodiversidad-yucatan/02Parte1_El_Estado/Capitulo1/05Suelo.pdf
- 50.** Bautista, F., Frausto, O., Ihl, T., Aguilar, Y. Actualización del mapa de suelos del Estado de Yucatán México: Enfoque geomorfológico y WRB. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* **2015**. 303-315.
- 51.** Duch, G.J. *La conformación territorial del estado de Yucatan-los componentes del medio físico*-Centro Regional de la Península de Yucatan (CRUPY), Universidad Autónoma de Chapingo, México. 1988. Available online: <http://www.crupy-uach.org.mx/img/biblioteca/doc/3445efc85ac1fe7adff1317b156f9aed.pdf>
- 52.** Cowgill, U.M. An agricultural study of the southern Maya lowlands. *American Anthropologist* **1962**, 64(2), 273-286. <https://doi.org/10.1525/aa.1962.64.2.02a00030> (accessed on 13 April 2017)
- 53.** Magier, J., Rabina, I. Rock fragments and soil depth as factors in land evaluation of terra rossa. *Special Publication Soil Science Society of America* **1984**, (1), 13-30.
- 54.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifap.gob.mx/SitePages/Inicio.aspx>
- 55.** INEGI (National Institute of Statistics, Geography and Informatics). Statistical and Geographical Yearbooks of the National Institute of Statistics, Geography and Informatics, 2017. Available online: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/CAM_ANUARIO_PDF.pdf
- 56.** Lugo-Hubp, J., Aceves-Quesada, J.F., Espinaza-Pereño, R. Rasgos geomorfológicos mayores de la península de Yucatan. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* **1992**, 10(2):143-150. Available online: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2231919> (accessed on 25 March 2017)
- 57.** Vidal-Zepeda, R. *Las regiones climáticas de México*. Instituto de Geografía, UNAM, México, 2005; 137-138.
- 58.** Reyes-Hernández, H., Cortina-Villa, S., Perales-Rivera H., Kauffer-Michel, E., Pat-Fernández, J.M. Efecto de los subsidios agropecuarios y apoyos gubernamentales sobre la deforestación durante el período 1990-2000 en la región de Calakmul, Campeche, México. *Investigaciones Geográficas* **2003**, (51):88-106. ISSN 2448-7279. Available online: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112003000200007&script=sci_arttext
- 59.** Johnson, R.B., Onwuegbuzie, A.J., Turner, L. A. Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research* **2007**, 1(2):112-133. Doi: 10.1177/1558689806298224. Available online: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1558689806298224>
- 60.** Johnson, R.B., Anthony J.O. Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational researcher* **2004**, 33(7):14-26. <https://doi.org/10.3102/0013189X033007014>
- 61.** Berg, B.L. *Qualitative Research Methods for the Social Sciences*. Boston: Pearson Education . 2004.
- 62.** Creswell, J.W., Plano-Clark, V.L. *Designing and conducting mixed methods research*. Second Edition Thousand Oaks, CA. 2007. Available online: <http://doc1.lbfli.li/aca/FLMF022364.pdf>
- 63.** Jones, A., Bugge, C. Improving understanding and rigour through triangulation: An exemplar based on patient participation in interaction. *Journal of Advanced Nursing* **2006**, 55(5), 612-621.

- Doi:10.1111/j.1365-2648.2006.03953.x. Available online:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2648.2006.03953.x>
- 64.** Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York, NY: Springer Science and Business Media. 2009.
- 65.** Hastie, T., Tibshirani, R. Generalized additive models. *Statistical Science* **1986**, *1*(3),297-318. Doi:10.1214/ss/1177013609.
- 66.** Dominici, F., McDermott, A., Zeger, S.L., Samet, J.M. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *American Journal of Epidemiology* **2002**, *156*(3):193-203. Available online: <https://academic.oup.com/aje/article/156/3/193/71628>
- 67.** R Core Team. R: A Language and environment for statistical Computing. Vienna, Austria. 2016. URL <http://www.R-project.org/>
- 68.** Wood, S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society* **2001**, *73*(1), 3-36.
- 69.** Glaser, B.G, Strauss A. *The discovery of grounded theory*. Chicago, Adeline, USA.1967.
- 70.** Flick, U. *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata. 2004.
- 71.** Hernández-Carrera, R.M. La investigación cualitativa a través de entrevistas: su análisis mediante la teoría fundamentada. *Cuestiones Pedagógicas* **2014**, *23*, 187-210.
- 72.** Friese, S. *Qualitative data analysis with ATLAS.ti*. London: SAGE. 2009.
- 73.** Adger, W.N. Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam. *World Development* **1999**, *27*(2), 249-269. Doi: 10.1016/S0305-750X(98)00136-3. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X98001363>
- 74.** O'Brien, K.L., Leichenko, R.M. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* **2000**, *10*(3),221-232. Doi:10.1016/S0959-3780(00)00021-2. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378000000212> (accessed on 21 January 2017)
- 75.** Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. <http://www.inifap.gob.mx/SitePages/Inicio.aspx>
- 76.** Hixon, A., Triomphe, B., Pereira, L., Saad Alvarado, L. Rainfed maize production in Mexico: Trends, constraints, and technological and institutional challenges for researchers. México DF, 1992, CIMMYT. Series: CIMMYT Economics Working Paper. Available online: <http://repository.cimmyt.org:8080/xmlui/bitstream/handle/10883/884/38481.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
- 77.** Mardero, S., Schmook, B., Radel, C., Christman, Z., Lawrence, D., Millones, M., Nickl E., Rogan, J., Schneider, L. Smallholders' adaptations to droughts and climatic variability in southeastern Mexico. *Environmental Hazards* **2015**, *14*(4), 271-288. Doi:10.1080/17477891.2015.1058741.
- 78.** Appendini, K. *From Crisis to Restructuring: The Debate on the Mexican Economy During the 1980s*. Copenhagen, Center for Development Research, 1992.
- 79.** Echánove, F., Steffen, C. Agribusiness and farmers in Mexico: the importance of contractual relations. *The Geographical Journal* **2005**, *171*(2),166-176.
- 80.** Drought facts, FAO Land & Water, 2013. Available online: <http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf>
- 81.** Fourth Assessment Report IPCC, 2007. Available online: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf
- 82.** Gourdjji, S., Läderach, P., Martínez Valle, A., Zelaya Martínez, C., Lobell, D. B. Historical climate trends, deforestation, and maize and bean yields in Nicaragua. *Agricultural and Forest Meteorology* **2015**, *200*(15),270-281. Doi: 10.1016/j.agrformet.2014.10.002. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192314002536>
- 83.** Thornton, P.K., Jones, P.G., Ericksen, P.J., Challinor A.J. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4°C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, **2011**, *369*(1934).117-136. Doi: 10.1098/rsta.2010.0246. Available online: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/369/1934/117.short>
- 84.** Chiotti, Q., Johnston, T., Smit, B., Ebel, B. Agricultural response to climate change: a preliminary investigation of farm-level adaptation in Southern Alberta. In *Agricultural restructuring*

and sustainability: A geographical perspective. B., Libery, Q., Chiotti, T., Richard., Eds.; 1997. pp. 167-183.

85. Silva, J.A., Eriksen, S., Ombe, Z.A. Double exposure in Mozambique's Limpopo River basin. *The Geographical Journal* **2010**, *176*(1), 6-24. Available online:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-4959.2009.00343.x>

86. Freebairn, D.K. Did the Green Revolution concentrate incomes? A quantitative study of research reports. *World Development* **1995**, *23*(2), 265-279. Doi: 0305-750x(94)00116-2. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305750X9400116G>

87. Burstein, J. Comercio agrícola México-Estados Unidos y la pobreza rural en México. Washington. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2007. Available online:

[http://www.sidalc.net/cgi-](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=032185939)

[bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=032185939](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=032185939)

88. Valor al Campesino: <http://valoralcampesino.org/>. Accessed on 21 May 2017.

89. Bartra, A. A Persistent Rural Leviathan. In *Reforming Mexico's Agrarian Reform*. Laura Randall Ed.; New York: M.E. Sharpe. Columbia University, 1996, 173-184.

90. Eakin, H., Lemos, M.C. Adaptation and the state: Latin America and the challenge of capacity-building under globalization. *Global Environmental Change* **2006**, *16*(1)7-18.

Doi:10.1016/j.gloenvcha.2005.10.004. Available online:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378005000713>

91. Radel, C., Schmook, B., Haenn, N., Green, L. The gender dynamics of conditional cash transfers and smallholder farming in Calakmul, Mexico. *Women's Studies International Forum* **2016**, Vol 18. Doi:10.1016/j.wsif.2016.06.004. Available online:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277539516301728949>

92. Olvera, B., Schmook, B., Radel, C., Nazar, A. Efectos adversos de los programas de apoyo alimenticio en los hogares rurales de Calakmul, Campeche. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* **2017**, *27*(49), 11-46. Available online:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-45572017000100011&script=sci_arttext

93. Arce M., Carrillo L., Infante K. Inclusión de los sistemas productivos rurales de pequeña escala en la agenda pública de mitigación y vulnerabilidad al cambio climático. Recomendaciones de Política, El Colegio de la Frontera Sur, México, 2018.

94. Vergara, W., Rios, A. R., Trapido, P., Malarín, H. R. Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: impactos sistémicos y posibles respuestas. Banco Interamericano de Desarrollo, No.IDB-DP-329. 2014, pp 1-9. Available online:

http://latinclima.org/sites/default/files/documentos/agricultura_y_cambio_climatico_bid.pdf

© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the



terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

CAPITULO III:

**Recent disruptions in the temporal patterns and intensity of
precipitation in Calakmul, Mexico**

Sofia Mardero¹, Birgit Schmook², Zachary Christman³, Sarah E. Metcalfe⁴,
Betsabe de la Barreda-Bautista^{5*}.

Enviado a **Applied Geography**. Applied Geography es una revista científica revisada por pares publicada trimestralmente por Elsevier. La revista cubre investigaciones que aplican métodos geográficos para resolver problemas humanos, incluida la geografía humana, la geografía física y la ciencia del sistema de información geográfica. <https://www.journals.elsevier.com/applied-geography>

Manuscript Details

Manuscript number	JAPG_2018_922
Title	Recent disruptions in the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Mexico
Article type	Full Length Article

Abstract

The hydrological cycle has been modified by recent climatic changes, in both the overall magnitude of rainfall, and also the patterns of seasonal distribution, interannual variability, intensity, frequency, and duration. This study addresses changes in the timing and intensity of precipitation from 1982 to 2016 in Calakmul, Mexico, a region that balances the dual goals of biodiversity conservation and smallholder agricultural production. Five methods of precipitation analysis were included: Mann-Kendall test of annual and wet season trends; fuzzy-logic approach to determine the onset of the rainy season; GINI Index and Precipitation Concentration Index (PCI) to evaluate the temporal distribution of precipitation; Simple Precipitation Intensity Index (SDII) to evaluate precipitation intensity; and Rainfall Anomaly Index (RAI) to identify the deficit or surplus of rainfall. Overall, rainfall trends in Calakmul over this period indicate a slight increase; however, the region has not necessarily benefited from more precipitation. The results of the indices (GINI, SDII, PCI), using data from three meteorological stations in Calakmul, consistently show that rainfall has become more intense and more unevenly distributed throughout the year. There was no significant trend in the onset of rainfall or the RAI, though there were more pronounced crests and troughs from 2004 to 2016. Higher interannual variability and more pronounced rainfall anomalies, both positive and negative, suggest that the Calakmul region has experienced more extreme precipitation patterns than previously. This research contributes to local reserve and agricultural management and offers insights for analyses of regional patterns of seasonal precipitation events worldwide.

Keywords Climate Change; precipitation variability; trend analysis; Mexico.

Corresponding Author Betsabe De la Barreda-Bautista

Order of authors **Silvia Sofía Márdero**, Birgit Schmook, Zachary Christman, Sarah Metcalfe, Betsabe de la Barreda Bautista

Recent disruptions in the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Mexico

Sofia Mardero¹, Birgit Schmook², Zachary Christman³, Sarah E. Metcalfe⁴, Betsabe de la Barrera-Bautista^{5*}.

¹ PhD candidate in Sciences in Ecology and Sustainable Development, El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Chetumal, México. ssmardero@ecosur.edu.mx

² Department of Biodiversity Conservation, El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, Chetumal, México. bschmook@ecosur.mx

³ Department of Geography, Planning, and Sustainability, School of Earth and Environment, Rowan University, New Jersey, USA. christmanz@rowan.edu

⁴ School of Geograpy, University of Nottingham, United Kingdom.

Sarah.Metcalfe@nottingham.ac.uk

^{5*} Correspondence: School of Geograpy, University of Nottingham, United Kingdom.

bdlbb1@leicester.ac.uk.

Abstract

The hydrological cycle has been modified by recent climatic changes, in both the overall magnitude of rainfall, and also the patterns of seasonal distribution, interannual variability, intensity, frequency, and duration. This study addresses changes in the timing and intensity of precipitation from 1982 to 2016 in Calakmul, Mexico, a region that balances the dual goals of biodiversity conservation and smallholder agricultural production. Five methods of precipitation analysis were included: Mann-Kendall test of annual and wet season trends; fuzzy-logic approach to determine the onset of the rainy season; GINI Index and Precipitation Concentration Index (PCI) to evaluate the temporal distribution of precipitation; Simple Precipitation Intensity Index (SDII) to evaluate precipitation intensity; and Rainfall Anomaly Index (RAI) to identify the deficit or surplus of rainfall. Overall, rainfall trends in Calakmul over this period indicate a slight increase; however, the region has not necessarily benefited from more precipitation. The results of the indices (GINI, SDII, PCI), using data from three meteorological stations in Calakmul, consistently show that rainfall has become more intense and more unevenly distributed throughout the year. There was no significant trend in the onset of rainfall or the RAI, though there were more pronounced crests and troughs from 2004 to 2016. Higher interannual variability and more pronounced rainfall anomalies, both positive and negative, suggest that the Calakmul region has experienced more extreme precipitation patterns than previously. This research contributes to local reserve and agricultural management and offers insights for analyses of regional patterns of seasonal precipitation events worldwide.

Key words

Climate Change, precipitation variability, trend analysis, Mexico

1. Introduction

This study addresses changes to the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Campeche, Mexico, a region that balances the dual goals of conservation of a Biosphere Reserve and smallholder agricultural production.

Recent climate change, induced by anthropogenic activity, has accelerated the global hydrological cycle, altering not only the overall magnitude of rainfall but also its seasonal distribution, interannual variability, intensity, frequency, and duration worldwide (Allan & Soden 2008; Easterling 2000; Karl & Trenberth et al. 2003; Trenberth et al. 2007; Zeng et al. 1999)

Numerous Global CGCM-based studies (Coupled General Circulation Models) have indicated the potential for uneven impacts of future change on precipitation, with increases in many parts of the world and decreases in others (IPCC 2013; Kharin & Zwiers 2000, 2005; Semenov & Bengtsson 2002; Voss et al. 2002). As local water resources depend not only on the quantity, but also on the frequency, intensity, and timing of precipitation, changes in these characteristics could pose significant economic, ecological, and societal threats (Li et al. 2011; Qian et al. 2003; Zhang et al. 2009).

Agriculture is one of the most vulnerable sectors to changes in precipitation (Morton 2007; Parry & Carter 1989). Predictable timing and uniform distribution of rain plays a crucial role in agricultural productivity (Adams et al. 1998; Kurukulasuriya & Rosenthal 2013; Rosenberg 1992), strongly influencing society's ability to accommodate the world's growing food needs (Lal 2013; Risbey et al. 1999; Ziervogel & Ericksen 2010). With no major surface rivers and limited irrigation, agricultural activities in the Yucatan Peninsula Mexico, are heavily dependent on the timing of the onset of the rainy season and the reliable prediction of the intensity and distribution of precipitation (García et al. 2002). In Calakmul, Campeche, the predominately small-scale, rain-fed agriculture is highly vulnerable to and has already been affected by climatic stresses, including droughts and hurricanes, and further irregularity poses considerable stress on local farmers

(Alayón-Gamboa & Ku-Vera 2011; Gurri & Vallejo 2007; Radel et al. 2012; Schmook et al. 2013; SIAP 2016).

Mardero and colleagues (2014) addressed how farmers in Calakmul have modified their agricultural calendar, diminishing the area under *milpa* cultivation and diversified economic activities due to the effects of precipitation variability and droughts. The schedule of agricultural activities, beginning with land preparation (including crop selection and planting) and culminating with harvest events, is largely dependent on rainfall (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla 2007; FAO 2009). Yields may suffer with either a late onset or early cessation of the growing season, or due to frequent dry spells during the growing season (Mugalavai et al. 2008).

In contrast to the relative abundance of research on total annual and seasonal precipitation trends, little research has addressed changes in the frequency, intensity and timing of precipitation (Karl & Trenberth et al. 2003; O'Gorman 2015; Pal et al. 2013; Sarhadi & Soulis 2017). Konalapa and Mishra (2016) analyzed changes in the temporal variability of precipitation (from 1950 to 2005) due to anthropogenic activities, finding a decrease in rainfall uniformity as well as changes in quantity and intensity of annual precipitation at both continental and global scales. Valli and colleagues (2013) explored the Precipitation Concentration Index (1981 to 2010) across various Agro-Climatic Zones of Andhra Pradesh, India concluding that there have been significant changes in rainfall patterns especially during the 2000s.

Using the Gini Index to measure the temporal distribution of daily precipitation worldwide from 1976 to 2000, Rajah and colleagues (2014) showed that East Asia, Central America, and Brazil exhibited a decrease in the number of both wet and light precipitation days, in contrast to the U.S.A., southern South America, western Europe, and Australia, which all exhibited an increase in the number of both wet and light precipitation days.

Li and colleagues (2011) used daily data to calculate the precipitation concentration index (CI), precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) in Xinjiang, China, showing that

precipitation concentration is noticeably larger in places where both annual total precipitation and number of rainy days are lower, but also that most areas of Xinjiang are characterized by no significant trends of precipitation CI.

In México, one of the few studies addressing changes in the distribution and intensity of precipitation is by Cavazos and Rivas (2004) on the variability of precipitation extremes in Tijuana, North Mexico from 1950 to 2000, finding that the biggest variability in precipitation extremes occurred from the mid 1970s onwards. In the Yucatan Peninsula, few studies have analyzed recent precipitation trends and future scenarios. Mardero and colleagues (2012) calculated precipitation trends from 1980 to 2010 in the southern peninsula, showing that annual precipitation had decreased by 16%, while drought frequency had increased over the last 50 years across the Greater Calakmul Region. According to Martinez and Galindo-Leal (2002), mean precipitation declined from 1,300 mm in the 1950s to 790 mm in the Yucatan Peninsula during the 1990s. Orellana and colleagues (2009) produced regional climate projections for the entire Peninsula, complementing the IPCC (2007, 2013) projections that this area will increasingly suffer from both extreme droughts and more extreme events, such as hurricanes—one of the most recent and severe was Dean in 2007 (Gurri & Vallejo 2007; Rogan et al. 2011). Further, the integration of farmers' empirical knowledge and quantitative assessments of impacts on subsistence agriculture suggest that patterns of rainfall are changing in timing and distribution (Mardero et al. 2018).

This study addresses this question through three hypotheses:

1) Rainfall intensity and distribution is changing, irrespective of concurrent changes to the total precipitation amount during the period 1982-2016 (annual and wet season).

2) The onset and duration of the wet season has changed during the period 1982-2016.

3) There is an increased frequency of anomalous rainfall events during the period 1982-2016.

By evaluating changes in the temporal distribution and intensity of rainfall from 1982 to 2016 in the municipality of Calakmul, in the southern Yucatan

Peninsula, Mexico, this study addresses not only if the overall precipitation in the area is decreasing (as indicated by previous research), but also whether changes in the onset of the wet season, the distribution and intensity of rainfall, and negative rainfall anomalies have become more frequent.

Understanding precipitation distribution and patterns in Calakmul is critical due to the importance of water as a vital resource for both society and ecosystems. The municipality of Calakmul is home to the Calakmul Biosphere Reserve, the largest protected tropical forest in Mexico, covering 7,231 km² (Figure 1). Water availability determines the survival of animal and plant species living in the Reserve, and the few, largely seasonal, surface water bodies in the region (García et al. 2002) constrain the nomadic movements of several species, such as white-lipped peccaries (Reyna-Hurtado et al. 2009), Baird's tapir, and jaguar (O'Farril et al. 2014).

As several studies have demonstrated (Carrillo-Reyna et al. 2015, Garza-López et al. 2018, Martínez et al. 2016, Pérez-Cortéz et al. 2012), the presence, abundance, distribution of many species are closely related with the availability of water stored during the rainy season in the few semi-permanent surface water bodies called *aguadas*.

Aguadas are the main source of water supply for the native fauna of the Calakmul region during the dry season (Aranda 1990; Hernández-Huerta et al. 2000; Vaughan & Weis 1999) and the spatio-temporal variation of these water sources causes an important effect on the activities and habits of many species (Chávez-Tovar 2010; García-Gil 2003; Naranjo & Bodmer 2002). If precipitation during the wet season does not replenish the *aguadas*, animals may broaden their migratory ranges to survive the dry season, increasing the risk of hunting or conflicts with rural communities.

2. Data and Methods

2.1. Study Area

The municipality of Calakmul comprises 13,849 km² in southeastern Campeche, in the center of the Yucatan peninsula, and contains the largest area of protected tropical forest in Mexico (Ibarra-Manríquez et al. 2002).

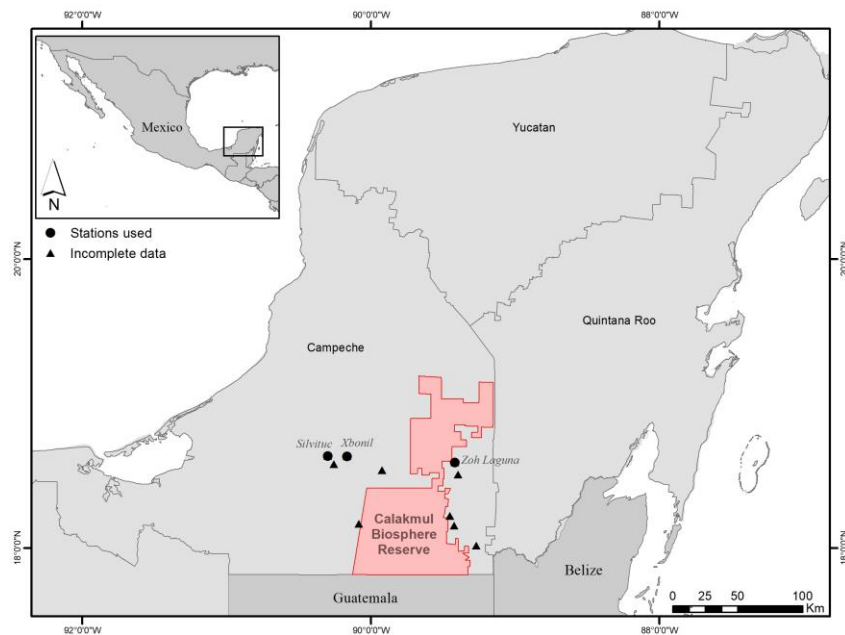


Figure 1. Map of Calakmul with meteorological stations

The climate is tropical sub-humid with summer rains (Aw), which largely occur between June and October. The average annual temperature is 24-26°C, and the annual average precipitation is highly variable, ranging from 900 mm in the northwest to 1400 mm in southeast (Vester et al. 2007).

Yearly precipitation in the Yucatan Peninsula is characterized by two main seasons: a dry season between November and April; and a wet season from May to October (Vidal-Zepeda 2005), with a mid-summer drought locally called *canícula* between the end on July and August. In addition, during winter, a season of

"*Nortes*" takes place, which are rains associated with cold air masses coming from the North, arriving in the Gulf of Mexico (Márdero et al. 2012).

Local physiography and vegetation around Calakmul are characteristic of the south-central Yucatán Peninsula (see Lundell 1934; Miranda 1958). Rolling hills of karstic upland (250 m.a.s.l.) are interspersed with low-lying areas, or *bajos*, covered mainly by medium and low semi-deciduous forest (Lundell 1934; Miranda 1958). Soils vary physiographically, with shallow and relatively well-drained redzinas along hillsides and high ground, deep but poorly drained clays (vertisols) in the *bajos*, and extremely shallow and rocky lithosols on hill tops (Abizaid & Coomes 2004).

2.2. *Data and preparation*

According to the National Climatological Database (CLICOM SYSTEM), there are 8 meteorological stations in the Municipality of Calakmul, but only 2 of them have records that span at least 30 years (Zoh Laguna and Xbonil). Another nearby station, inside the municipality of Escárcega, also spans this period (Silvituc). These 3 stations were selected for this study (Fig. 1). Daily and monthly rainfall data from CONAGUA covering the period of 1982–2016 were used.

In Mexico, one of the major challenges for climatological analysis is the availability and reliability of sources of precipitation data. This study undertook the critical step of integrating data from different institutions and formats. Data gaps were identified and were appropriately filled by inverse distance weighting (IDW), using not only the stations employed for the analysis but also available data from the partial records of other neighboring stations within 50 km. This gap-filling process yielded a continuous and homogenous time series of precipitation data from 1982 to 2016, with both daily and monthly precipitation data for each of the three stations.

2.3. Statistical Methods

This study included five types of analyses of precipitation: annual and wet season trend analysis; calculation of precipitation onset and cessation; analysis of temporal distribution; evaluation of intensity of rainfall events and identification of rainfall anomalies. The Mann-Kendall trend test was used to analyze annual and wet season trends over the study period. A fuzzy-logic approach was used to determine rainy season onset. The GINI Index was used to evaluate the temporal distribution of precipitation. The SDII (Simple Precipitation Intensity Index) was used to evaluate precipitation intensity. Finally, the Rainfall Anomaly Index (RAI) was used to address the deficit or surplus of rainfall.

2.3.1. Trend analysis

The Mann-Kendall test is a statistical test widely used for trend analysis in climatic and hydrological time series (Mavromatis & Stathis 2011; Yue & Wang 2004). There are two advantages of using this test. First, it is a non-parametric test and does not require the data to be normally distributed. Second, the test has low sensitivity to abrupt breaks due to inhomogeneous time series (Tabari et al. 2011).

Using the statistical software R, the Mann-Kendall test was conducted for each of the three stations, from 1982 to 2016, both annually and for the wet season (from May to October).

2.3.2. Onset and cessation

Onset was defined as the first day of a 5-day period with a total rainfall of at least 20 mm of rainfall and at least two other wet days in this 5-day period (at least 1 mm of rainfall recorded), with no dry spell of seven or more consecutive days occurring in the subsequent 30 days (Dodd & Jolliffe 2001). Onset dates were calculated from Equation (1), given by:

$$OD = D \frac{(20 - F)}{R}$$

where OD is the onset date and D is the total number of days in first month with effective rain (MER: the accumulated rainfall totals equal or exceeds 20 mm). F (mm) is the accumulated rainfall total of earlier months and R is the accumulated rainfall within the MER.

Precipitation onset and cessation for the entire period (i.e., long-term seasonality) were calculated following Marengo (2001) and Liebman and colleagues (2008), to create anomalous accumulation curves. This process yielded two values: the long-term annual precipitation mean and the long-term daily average for each day of the year. The daily average was subtracted by the annual mean daily average to produce a metric of the accumulated daily anomalies. The start of the season is the minimum value of the curve and the end of the season is the maximum value in the curve.

2.3.3. Precipitation distribution

The GINI Index has been widely used in the field of economics to measure income inequality, but it has also been used in other applications, like climatology (Ceriani & Verme 2011; Masaki et al. 2014). The index provides a measure of how unevenly rainfall is distributed over the course of a year, ranging from 0 (representing a uniform distribution of precipitation across all days within the year) to 1 (representing the case where all the precipitation occurs at a single time unit) (Rajah et al. 2014).

Using the Inequality Measures Package in R (Cowell 2000), the GINI Index was calculated in four ways: annually and for the wet season alone; for the entire time period and for each year. To estimate the GINI index, daily precipitation is sorted by increasing amount, summed cumulatively, and converted to a percentage of total precipitation, forming a Lorenz curve to graphically illustrate inequality distribution.

To complement the precipitation distribution analysis, the Precipitation Concentration Index (PCI) was used to assess the precipitation concentration by the variability of monthly precipitation. PCI is a powerful indicator of the temporal

distribution of precipitation, providing information on long-term total variability in the total amount of rainfall (Apaydin et al. 2006; De Luis et al. 2010; Michiels et al. 1992). Higher values indicate more concentrated precipitation (De Luis et al. 2011; Oliver 1980).

PCI was calculated in R with the package *precintcon*, by Venezian Povoia (2016), for annual and wet season scales, using the classification by Oliver (1980), where values of less than 10 represent a uniform precipitation distribution (i.e., low precipitation concentration), values from 11 to 15 denote a moderate precipitation concentration, values from 16 to 20 denote irregular distribution, and values above 20 represent highly concentrated precipitation.

2.3.4. Precipitation Intensity

The Simple Daily Intensity Index (SDII) (Cooley & Chang 2017) is considered by the World Meteorological Organization to best represent precipitation patterns, especially during the wet season.

The SDII for rain is the ratio of annual or seasonal total rainfall to the number of days during the year or season when rainfall occurred (rain day is defined as: daily rain \geq 1mm) (Keggenhoff et al. 2014), and it was used to determine the precipitation intensity of the rainy season and annually of each year of the data series.

2.3.5. Precipitation anomalies

The Rainfall Anomaly Index (RAI), developed by Van Rooy (1965), is used to evaluate meteorological droughts (Keyantash & Dracup 2002).

Rainfall anomalies were calculated and classified, both annually and for the wet season. Positive and negative RAI indices were computed using the mean of ten extremes. The Index also serves to normalize precipitation values against the historical dataset, to compare current conditions with historical perspective. Rooy's classification is as follows (1965):

RAI	Class description
≥ 3.00	Extremely wet
2.00 to 2.99	Very wet
1.00 to 1.99	Moderately wet
0.50 to 0.99	Slightly wet
0.49 to -0.49	Near normal
-0.50 to -0.99	Slightly dry
-1.00 to -1.99	Moderately dry
-2.00 to -2.99	Very dry
≤ -3.00	Extremely dry

Table 1. Rooy's classification of RAI.

3. Results

Mean annual precipitation across the three stations varies from 921 mm in Zoh Laguna to 1,313 mm in Silvituc (~100km between these two stations). Silvituc station, the most humid, is situated near the Laguna Silvituc, also called Noh Laguna, which may influence the surrounding microclimate, while the Zoh Laguna station does not have any significant water body nearby.

Notably, the maximum value of precipitation in Silvituc coincides with the impacts of hurricanes *Roxanne* (7 October 1995) and *Ernesto* (8 August 2012).

Table 2. Geographical coordinates, elevation, annual mean precipitation, monthly precipitation, millimeters maximum in a day, date, years with more NA's and percentage of NA's in those years in the three selected stations in Calakmul.

Station and time series dates	Lat (N)	Lon (W)	Elevation (m.a.s.l.)	Annual mean precipitation (mm)	Monthly mean precipitation (mm)	Maximum precipitation (mm) / Date	Years with Gaps in Record (% of NAs in that year)
Silvituc 1982 – 2016	18.6	- 90.3	75	1313	103.5	310 10 Oct 1995	1982, 1988, 1989 (8%, 7%, 34%)
Xbonil	18.6	- 90.2	70	1114	84.8	170 10 March	2007, 2009, 2012, 2014, 2016

1982-2016						2000	(24%, 36%, 37%, 51%, 25%)
Zoh Laguna	18.6	-	265	921	67.7	152	1982, 1985, 1987, 2014
1982-2016		89.4				8 Aug 2012	(60%, 41%, 33%, 41%)

3.1 Long term patterns and precipitation trends

Mann-Kendall and Sen's slope test were performed for each year to detect trends in precipitation at the three stations over the 35 year period (1982-2016). The test was computed both for the entire year and for the wet season alone. General (overall) results showed a small increase in precipitation at all stations, both annually and during the wet season (Figure 2 and 3), but these results were not statistically significant. The three stations exhibit high interannual variability and exhibit similar patterns for some years. For instance, in Figure 2a no precipitation trend in Silvituc station (negative nor positive) is visible, but there is high interannual variation. The years with wetter conditions for this station were 1985, 1995, 2006, and 2013, and the drier years were 1986 - 1987, 2000, 2003, 2004 and 2015.

Figure 2b and 2c (Zoh Laguna and Xbonil) show a similar pattern, without a visible trend, but with high annual variability. The wetter years for Zoh Laguna were 1985, 1988, 2001, and 2002; for Xbonil 1985, 1988, and 1995. The drier years for Zoh Laguna were 1986, 2004, 2009 but the driest was in 1994. For Xbonil the drier years were 1983, 1986, 2004, and 2009.

In general, the years with least rain at the three stations were 1983, 1986, 1987, 1994, 2004, and 2009; with 2009 the driest year during this period. The years with most rainfall were 1985, 1988, 1995, 2013 and 2014.

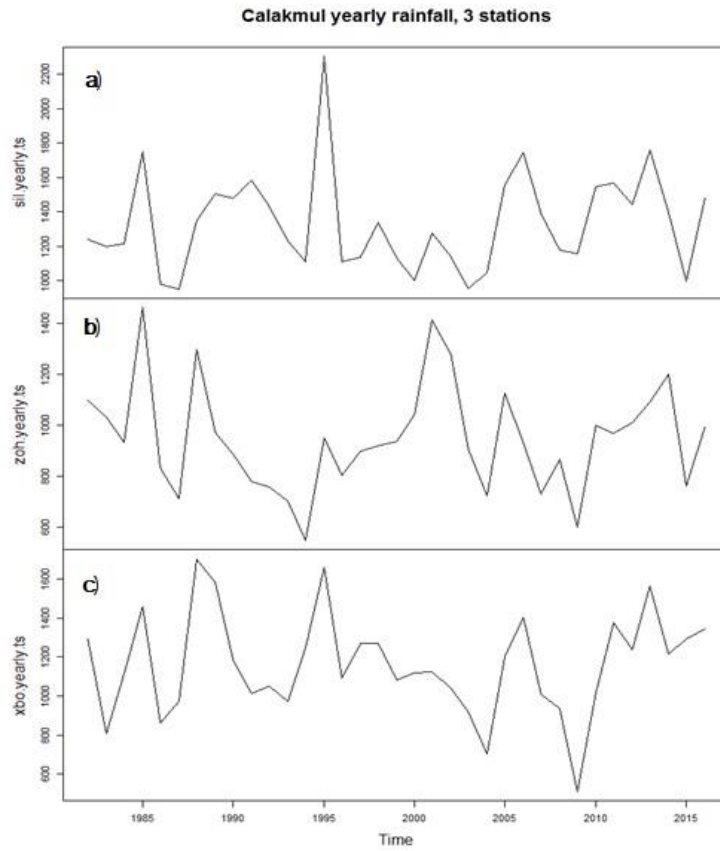


Figure 2. Yearly annual trends of Silvituc (a), Zoh Laguna (b) and Xbonil (c) from 1982 to 2016.

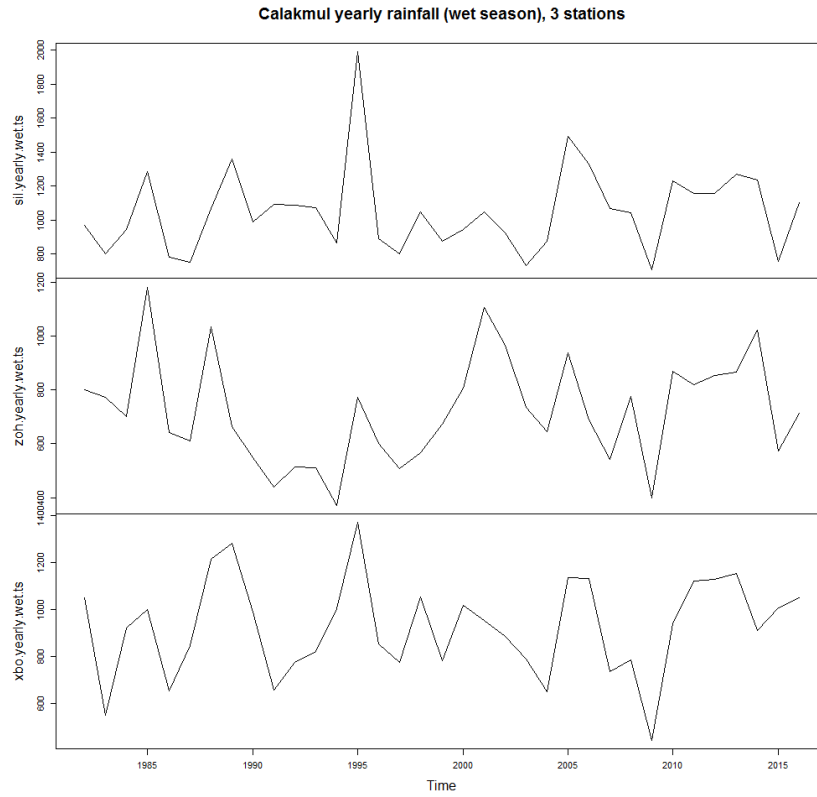


Figure 3. Wet season (from May to October) trends of Silvituc (a), Zoh Laguna (b) and Xbonil (c) from 1982 to 2016.

The pattern of precipitation exclusively during the wet season largely mirrors the entire year over this period (Figure 4).

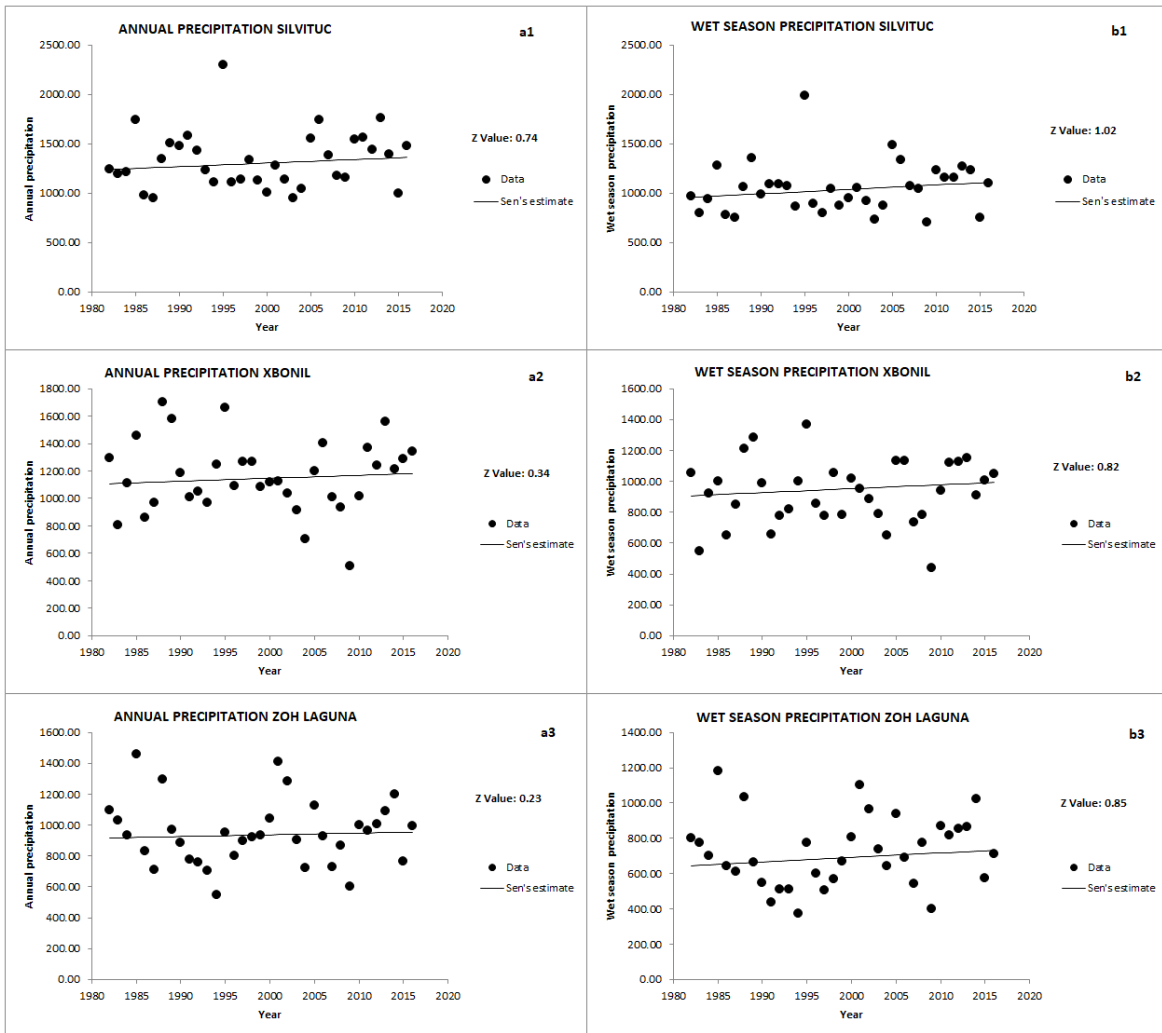


Figure 4. Annual (a) and wet season (b) Mann-Kendall Test and Sen's slope test for the three stations, from 1982 to 2016.

The Mann Kendall test for Silvituc (entire year and wet season separately) demonstrated a positive, but not significant, trend (Z scores of 0.74 and 1.02 respectively). Sen's estimate shows a positive slope in the time series. Even though the results of the trend analysis are not statistically significant, it is notable that from 1994-2004, most of the residuals are negative, with positive residuals in the period from 2005 to 2016, associated with more rainfall during this decade. The wet season exhibits a similar pattern, but with higher Z scores and residuals closer to zero, indicating increased rainfall.

Similar to Silvituc, the Mann-Kendall test for Xbonil shows a non-significant, positive trend both annually and during the wet season (Z scores of 0.34 and 0.82 respectively). From 2000 to 2010, most of the residuals are negative, indicating drier years, in contrast to 2010 to 2016 when higher precipitation was registered.

For Zoh Laguna, the station in the center of the Calakmul Reserve, there were positive, but not significant, trends (Z scores of 0.23 annually and 0.85 during the wet season). In Zoh Laguna there was a very dry period from 1985 to 2000 approximately, then the precipitation recovered except for 2009 and 2015. During 2015, many local media reports (La Jornada 2017) called attention to the drought affecting agricultural activities and the wildlife inside of the Reserve.

The lack of a significant trend in either the annual precipitation or the wet season does not indicate no changes in the precipitation patterns. These results further underscore the importance of analyzing the intensity and distribution of precipitation.

3.2 Rainy Season Onset and Cessation

The onset of the rainy season was calculated through a fuzzy-logic approach, for each year, and for the entire 35 year period, for each station. As illustrated in Table 3 and Figure 5, rainy season dates in all the stations start and end in the same timeframe. The rainy season in Zoh Laguna starts in the second half of May, and in the other two stations by the end of the same month, with a maximum difference of 7 days between the stations. Cessation occurs by the end of October, or the first week of November in Silvituc. These results coincide with other studies (i.e. Orellana et al 2009; Vidal-Zepeda 2005) and with local knowledge reported by farmers (Mardero et al. 2014). For example, the agricultural calendar for the maize crop in the area usually starts in late May or June, coincident with precipitation onset.

Table 3. Onset and cessation of the rainy season in the three stations, from 1982 to 2016.

Station	Onset	Cessation
Silvituc	26 May	07 November
Xbonil	26 May	27 October
Zoh	19 May	23 October
Laguna		

Figure 5 shows the accumulated precipitation during the 365 days of the year. The precipitation curve increases in slope around day number 150 of each year, which corresponds to the end of May. Then, the curve drops approximately around the day 300, in late October.

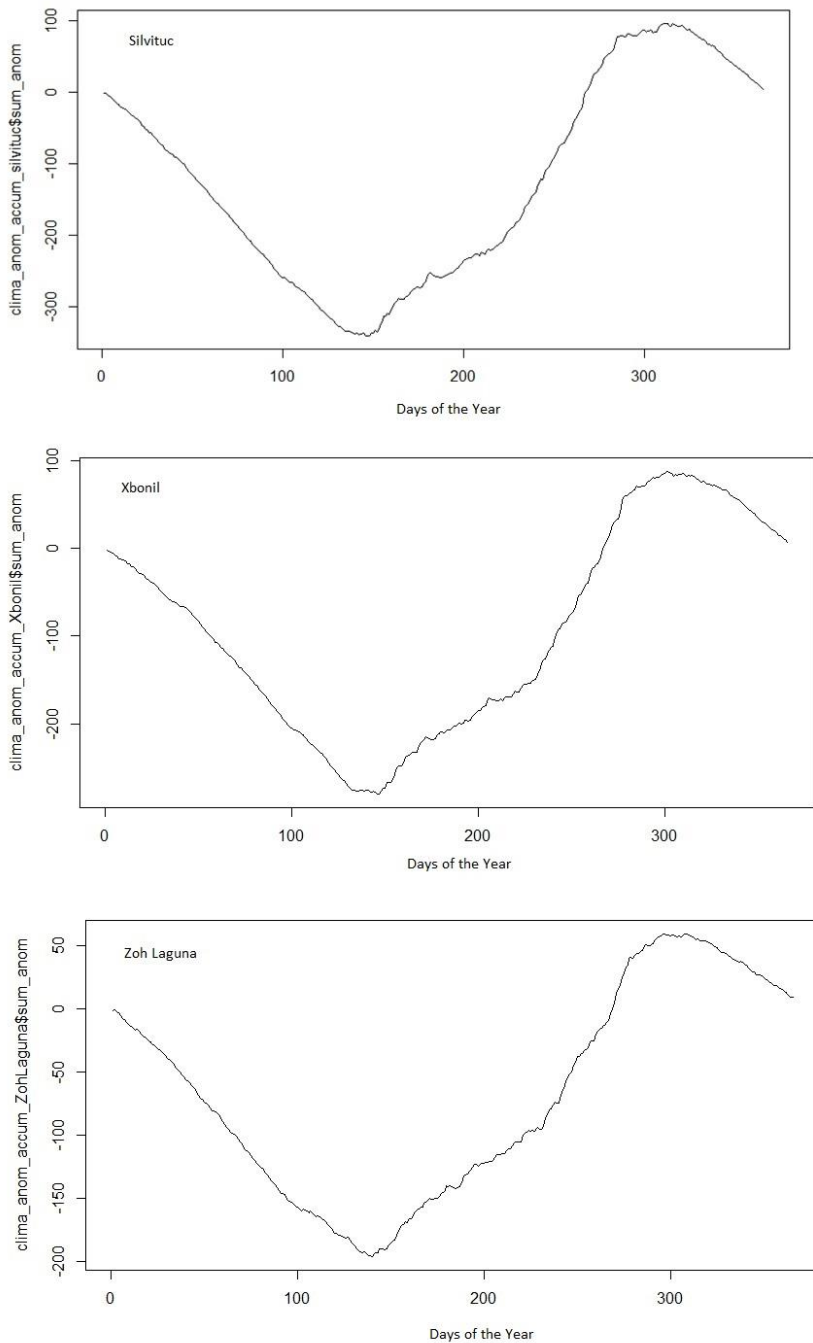


Figure 5. Curves of accumulated precipitation during the 365 days of the year, for the three stations.

To address the presence of a trend in the delay of the onset of the rainy season during the study period, the Mann-Kendall and Sen's slope test were applied. Results indicate no significant trend of an advance or a delay in rainfall

onset (Figure 6). However, some changes over time can be observed. For example, at the Silvituc station during the 1990s, a delay in the rainfall onset is observed, reaching August in half of the 10 years, then, during the 2000s, the onset went back to May - June.

For Xbonil, during the late 1980s and early 1990s, there was a delay in onset of rainfall, and for Zoh Laguna, a trend in delay of rainfall onset was observed from 2005 – 2016, with several years in which the rainy season began after mid-July.

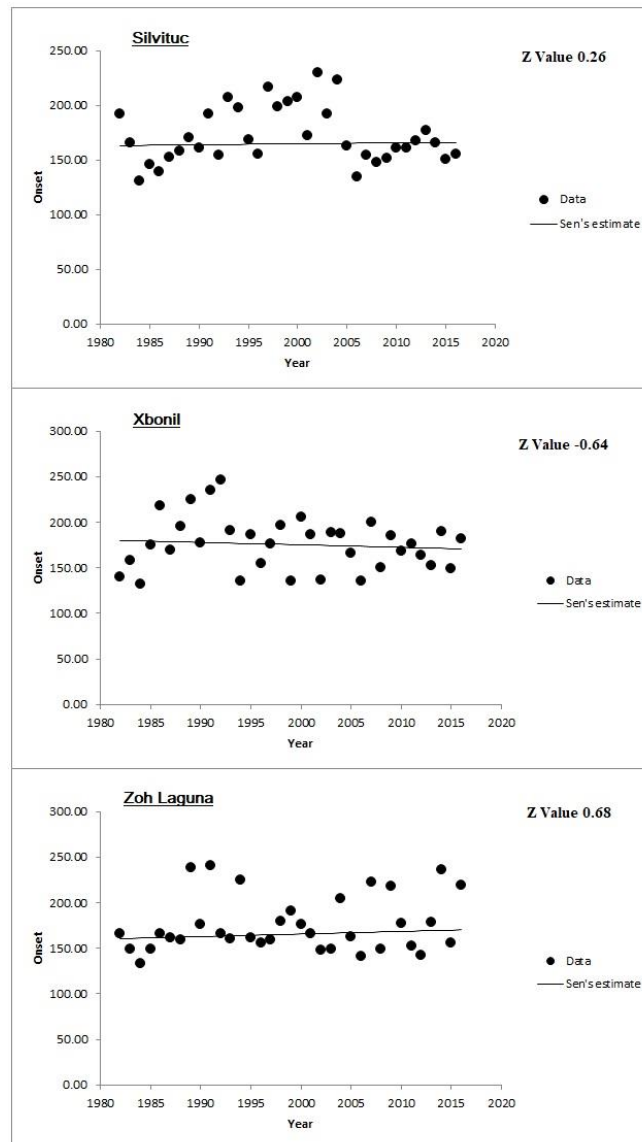


Figure 6. Mann-Kendall Test and Sen's slope test for the precipitation onset of three stations, from 1982 to 2016.

3.3 GINI Index, SDII and PCI

The GINI coefficient for all the stations, over the 35 year period, is higher than 0.8, both annually and in the wet season, indicating that precipitation in the study area is highly concentrated (see Table 4). Annual GINI values are slightly higher than wet season values, because of the concentrated rainfall in a climate regime with summer rains. Nevertheless, the GINI values for the wet season are still very high, indicating that rainfall is highly concentrated in few episodes between May and October.

Table 4. Annual and wet season GINI Index and Intensity Index (SDII) for the wet season.

Station	GINI		
	annual	GINI wet season	SDII wet season
Silvituc	0.8787766	0.8175369	14.49217
Xbonil	0.8814319	0.8195728	13.13337
Zoh Laguna	0.8757722	0.8283289	11.99287

The lowest GINI values during the rainy season can be found at the western two stations, at the limits of the Calakmul municipality. The station in the border of the Reserve (Zoh Laguna) presents the most concentrated and unevenly distributed rain.

SDII values show a different behavior. The two western stations present higher values, indicating that the intensity of daily precipitation is higher there, and is less intense closer to the reserve. Lower SDII values show an increase in the number of rainy days, independent of the quantity of rainfall. Thus, during the rainy

season at Zoh Laguna precipitation is concentrated in a few very rainy days, compared to Silvituc and Xbonil.

The values displayed in Table 3 represent the overall rainfall distribution and intensity during the 35-year study period. To address whether these indices changed during the study period (1982-2016), Mann-Kendall test and Sen's slope estimation were computed for each of the indices. Figure 7 shows the annual and wet season trends for the GINI Index for the three stations. There were statistically significant positive trends for the GINI index for both, Silvituc and Xbonil, as opposed to Zoh Laguna which even though it shows a positive trend, it is not significant (Z value 1.56). Z values indicate that the positive trend for Xbonil is statistically significant at a 99% confidence interval, indicating that the precipitation there is increasingly unevenly distributed (less uniform) over time.

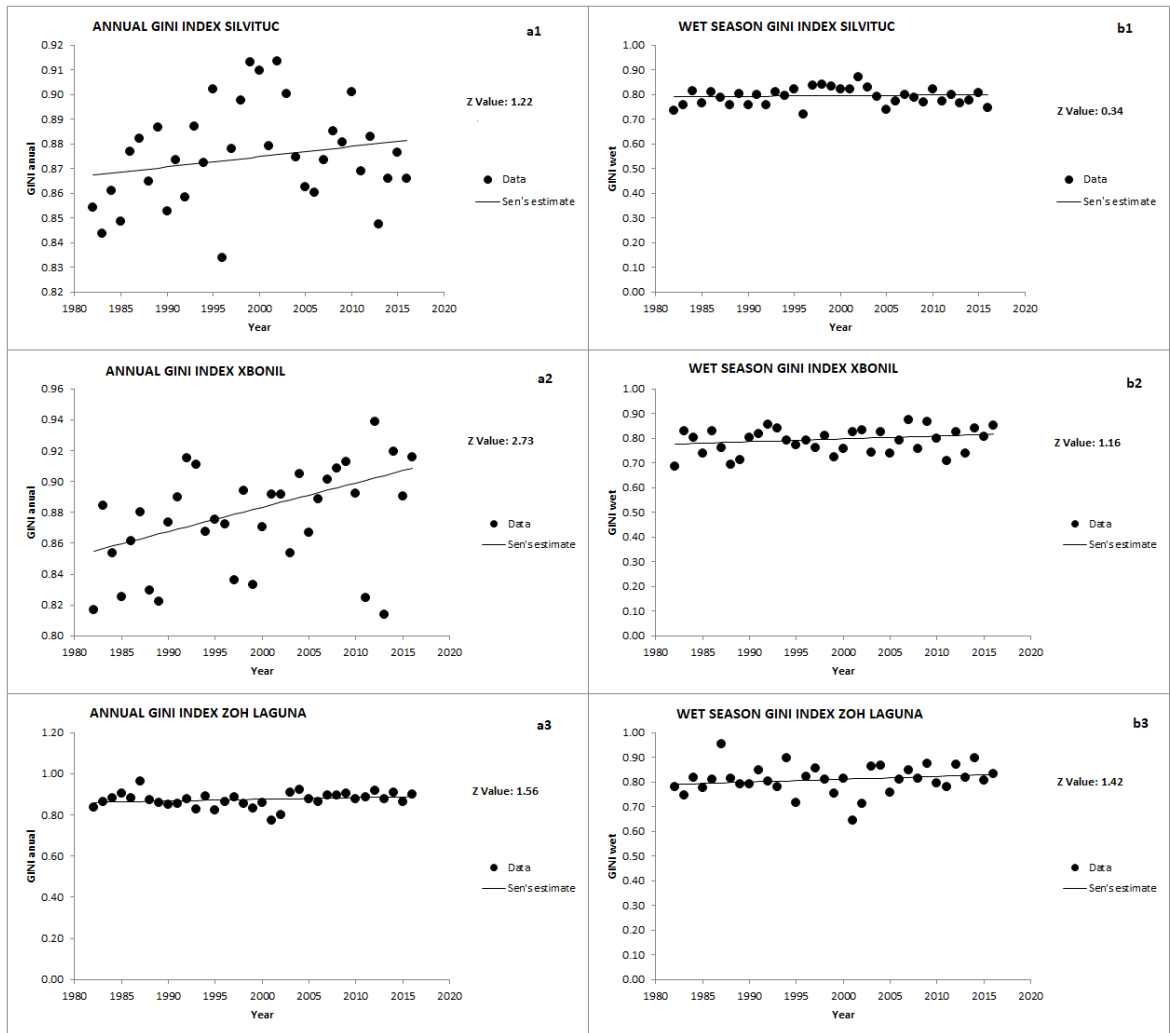


Figure 7. Annual (a) and wet season (b) Mann-Kendall Test and Sen's slope test for the GINI Index of three stations, from 1982 to 2016

Figure 7 shows that the Gini Index in the wet season has a positive slope, but trends are not statistically significant. However, Zoh Laguna shows a positive trend with a relatively high Z score of 1.42, which indicates that between 1982-2016 the rainfall distribution has changed and it is being concentrated in some periods within the wet season. Xbonil shows the same tendency but with a lower Z score (1.16). In contrast, Silvituc shows that the GINI index has been stable over the time period.

Figure 8 shows the results of the Mann-Kendall Test and Sen's slope for the Severity Index (SDII) for both annual and wet season precipitation. Each of the

three stations presents a positive significant trend (z scores > 1.96; 90% confidence), which indicates that the intensity of daily precipitation has increased significantly. This suggests that rainfall has become more intense and concentrated. More extreme precipitation events are occurring, with fewer rain events or longer periods without rain.

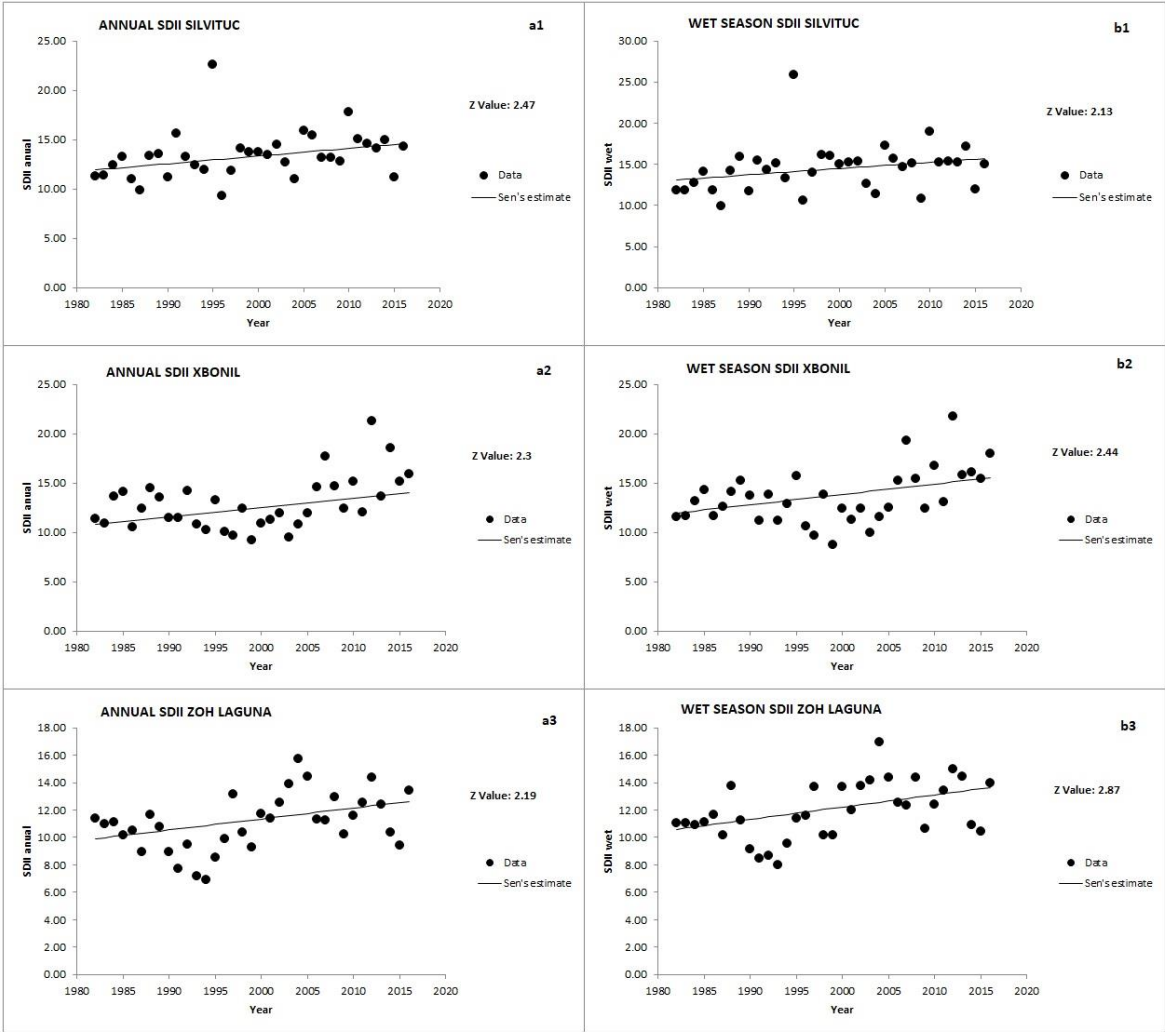


Figure 8. Annual (a) and wet season (b) Mann-Kendall Test and Sen's slope for the Severity Index (SDII) from 1982 to 2016.

To evaluate long-term variability in the amount of precipitation, annual PCI trends were calculated from 1982 to 2016 using the same Mann-Kendall Test and the Sen's slope. As shown in Figure 9, most of PCI values in the Calakmul area range from 11 to 15 (moderate precipitation concentration) and from 16 to 20

(irregular distribution). There are also few years with a PCI higher than 20 (strong irregularity of precipitation distribution) especially during the period 2006 - 2016 and especially at Xbonil station.

The results showed no evident trend for Silvituc and Zoh Laguna stations (Z values of 0.97 and 0.28 respectively), different (once again) from Xbonil that showed a significant positive trend with a 90% confidence interval (Z value of 2.76). However, there is a slight increase in time for PCI values, which can be related to the amount of rain in a period of time; higher values of the PCI seem to be related to more rain concentrated in some months. As seasonal fluctuations in Calakmul are very pronounced, thus, PCI values could be explained by this pattern and the concentration of rain in few months.

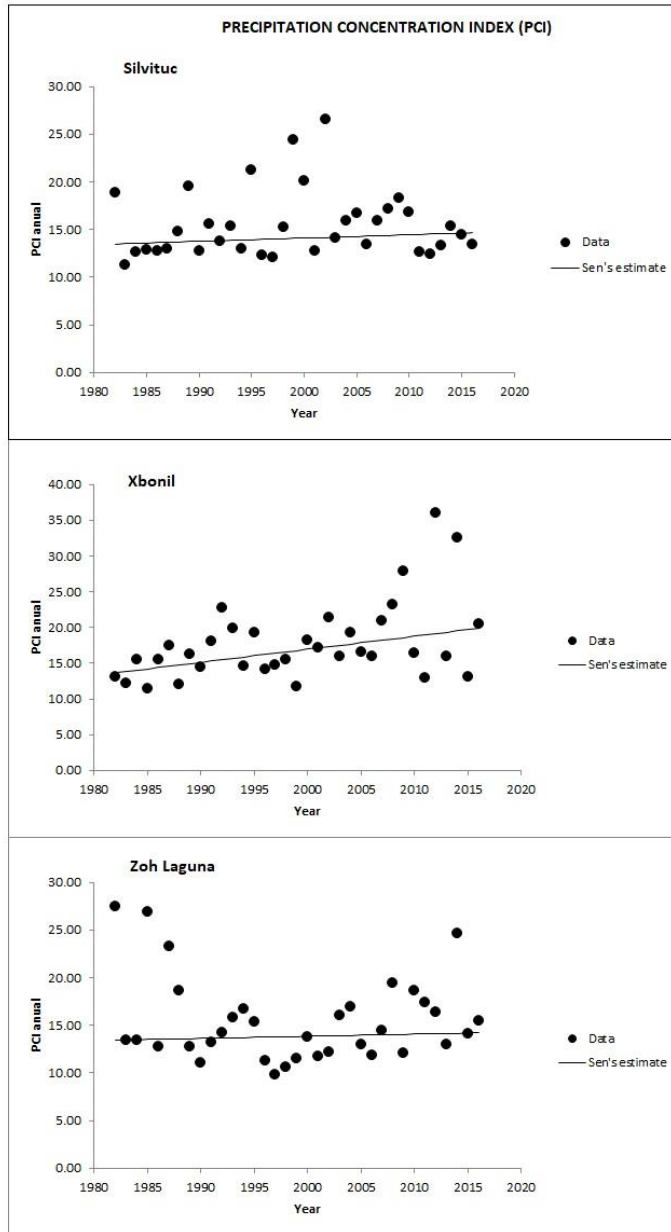


Figure 9. Annual Mann-Kendall Test and Sen's slope test for the PCI of three stations, from 1982 to 2016

Overall, all three stations exhibited a significant increase in the intensity of precipitation, both annually and during the wet season. In addition, Xbonil station also showed a significant increase of the annual GINI Index and in the PCI index. These results together affirm that, even in the rainy season, precipitation is concentrated in shorter periods of time or in fewer events.

Table 5. The trends of each Index from 1982 to 2016. + symbol means a positive trend, = means no trend, - means negative trend and * means the trend is statistically significant with a confidence interval between 95 and 99%.

Station	General Annual Trend	Wet season general trend	Annual trend GINI	Wet season trend GINI	SDII Annual	SDII wet season	PCI (annual)
Silvituc	+	+	+	+	+	+	+
Xbonil	+	+	+	+	+	+	+
Zoh Laguna	+	+	+	+	+	+	+

*statistically significant 95% interval confidence, ** statistically significant 99% interval confidence

3.4 Rainfall Anomaly Index (RAI)

The Rainfall Anomaly Index was calculated for each of the three stations from 1982 to 2016. There are moderately wet years, years with normal precipitation, dry years, and very dry years distributed throughout the study period. Through this graphical analysis, there is concurrency among all three stations for 1988-1990, 1995, 2005, 2006, 2010 and 2013 with positive anomalies, from moderately wet to extremely wet; and years of the mid-1980s, 2004, 2009, 2014, and 2015 showing moderately dry to extremely dry behavior.

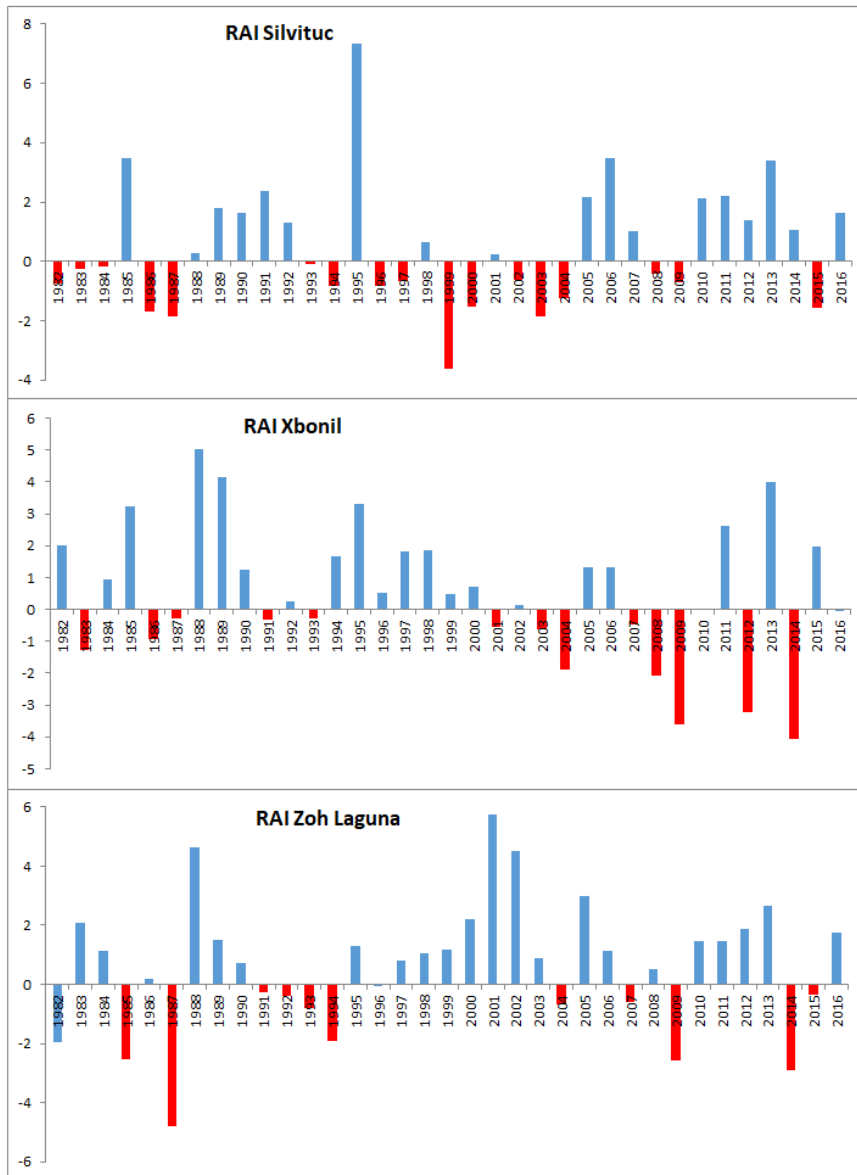


Figure 10. Annual rainfall anomalies (RAI) for the three stations from 1982 to 2016.

The Mann-Kendall Test and the Sen's slope applied for the annual RAI (Figure 11) demonstrate an increase in positive rainfall anomalies for Silvituc and Zoh Laguna (Z value of 0.82 and 1.05 respectively) and an increase of negative anomalies at Xbonil (Z value of -1.56) especially after the year 2000, but these trends are not statistically significant.

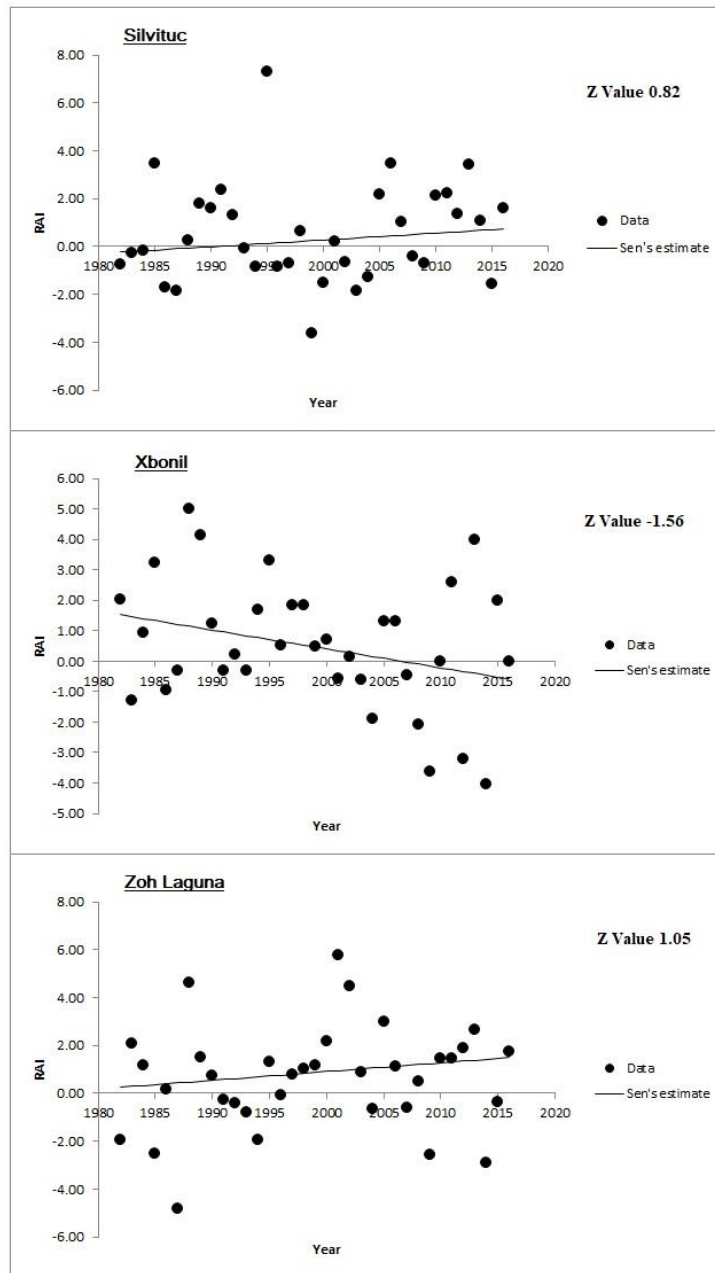


Figure 11. Mann-Kendall Test and the Sen's slope applied for the annual RAI, 1982 – 2016.

4. Discussion

Analysis of the patterns and changes in precipitation is crucial due to its strong association with agricultural activities, especially where agriculture is rain-fed. There has been increased attention to the risks associated with climate change, which include increased uncertainty regarding food production (Reddy and

Pachepsky 2000). As water availability is one of the most limiting constraints for crop production and food security, there is a critical need to thoroughly understand precipitation patterns at a regional scale.

Investigations of changing patterns of precipitation necessitate at least 30 years of climate data, due to temporal climate oscillations (Onyutha et al. 2016), especially in trend detection (Camberlin 2009; Di Baldassarre et al. 2011). Further trend results often depend not only on the length of the data record, but also on the specific time period selected for analyses. For instance, in an earlier period, Martinez and Galindo-Leal (2002) found that precipitation in the Calakmul region declined from 1950 to 1990. In many developing countries, the challenge of compiling an uninterrupted record of reliable data further complicates regional climate analysis.

The overall rainfall trends in Calakmul indicate a slight increase during the study period, consistent with previous work in the Caribbean by Dore (2005), which found a general precipitation increase. However, this does not imply that the region has necessarily benefited from more precipitation. Rather, as many authors (Chou et al. 2013; Karl & Trenberth 2003; Luo et al. 2007; Pal et al. 2013) point out, it is necessary to analyze the rainfall intensity and distribution in order to address its integral behavior and its implications.

Traditional knowledge can provide further insight into climatic changes. As Mardero et al. (2014; 2015) highlight, farmers in Calakmul have perceived substantial changes in the climate over the last three decades. Farmers report that temperatures are increasing and emphasize that "it is raining differently [now]", indicating delayed onset of the rainy season and noting a few very rainy days (even flooding) followed by weeks without rain events. These erratic patterns have caused substantial crop losses, especially in 2004 and 2007 when around 70% of the total maize surface was lost in Calakmul (INIFAP, 2017).

Predictable rainfall onset and cessation dates are critical to farmers in the Calakmul region, in order to decide which maize types to cultivate and when to

sow. While the wet season in the Yucatán Peninsula is “traditionally” from May to October, the results of this analysis indicate high interannual variability in the onset of the rainy season, with some years starting in May, followed by years when rains started in late July or even August. Similarly, years with great maize losses (such as 2004 and 2007) correspond with years in which the rainy season has come later than usual. Similar findings were also detected in Ghana, where Mugalavai et al. (2008) found no overall significant shift in onset and cessation in the past 34 years, however, they found big interannual variability and a visible spatial pattern across their study area

The Yucatan Peninsula, including the Calakmul region, has a long record of droughts, which scholars believe contributed to the collapse of Mayan civilization (Douglas et al. 2015; Haug et al. 2003). Recently, authors such as Orellana et al. (2009) and Estrada-Medina et al. (2016) have claimed that droughts are less severe in the area during the last 3 decades (1982-2013). Mardero et al. (2012) found years considered to be “severe drought” were related to the agricultural losses and the desiccation of surface water bodies visited by many species of animals in the Reserve.

The results of the indices (GINI, SDII, PCI) of the three precipitation stations in the Calakmul region consistently point to a similar behavior of: a) an irregular precipitation distribution and, b) the increased intensity of rainfall events. The Mann-Kendall test and the Sen's slope test in all stations underscored the statistical significance of these trends.

These results suggest, as reported by the CEPAL (2015), IPCC (2013), and other scholars (Bouroncle et al. 2017; Dow & Downing 2016) that more extreme precipitation events are likely to happen in Central America, including the Mayan lowlands of Mexico. Similar studies in other regions indicate an increase in precipitation intensity and changes in its distribution, as in the Iberian Peninsula (De Luis et al. 2011) and Andhra Pradesh in southeastern India (Valli et al. 2013).

The increased frequency of anomalous rainfall events was demonstrated through the GINI, SDII and PCI index trends and the Rainfall Anomaly Index, which, though lacking a significant trend, showed more pronounced crests and troughs over the last decade (2004 - 2016). This higher interannual variability and more pronounced rainfall anomalies (both positive and negative) suggest that the climate in Calakmul is becoming more extreme.

This extreme variability in precipitation could be explained from a Global Climate Change perspective. There is a direct influence of increased temperatures on precipitation, with greater evaporation and surface drying, thereby increasing the intensity and duration of drought. However, the water holding capacity of air increases by about 7% per 1°C warming, which leads to increased water vapor in the atmosphere. Hence, storms, whether individual thunderstorms, extra tropical rain, or tropical cyclones, fueled by increased moisture, may produce more intense precipitation events (Trenberth 2011). Temperatures in the Yucatan Peninsula are becoming more extreme, with higher temperatures reached more frequently and for longer periods (Orellana et al. 2009; Mardero et al. 2018). In the tropics and subtropics, precipitation patterns are dominated by fluctuations in sea surface temperatures, such as the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), which have been shown to influence precipitation patterns in the Yucatan Peninsula and Calakmul (Neeti et al. 2012). Some years with strong negative anomalies in the area coincide with El Niño events, such as the moderate events of 1986-1987 and 2003-2004, and a very strong El Niño event in 2014 – 2015.

Advances in the science of climate behavior and prediction have created significant potential for it to contribute to improved water resources management practices. Research on rainfall intensity and distribution is crucial both to create infrastructure to reduce risks associated with extreme flood events, and to develop mechanisms to cope with the increasing droughts especially in economic sectors highly related with water availability such as agriculture.

In Mexico, the public climate policy for the agricultural sector has focused on strategies boosting irrigation systems and the use of agricultural inputs such as

modified seeds, more resistant to droughts, and farmers have been adapting their agricultural calendar according to the new behavior of rainfall (Eakin 2005; Mardero et al. 2014). Researchers working in the Calakmul Reserve (Carrillo-Reyna et al. 2015, Martínez et al. 2016, Pérez-Cortéz et al. 2012) have also called for increased information on precipitation patterns due to the importance of water availability in the *aguadas* and their role in species distribution.

The results of this study contribute to local reserve and agricultural management in the Calakmul region and offer insights for other analyses of regional patterns of seasonal precipitation rainfall events across the world.

5. Acknowledgments

We applied the “first-last-author-emphasis” norm (FLAE) approach for the sequence of authors. We are grateful with the Natural Environment Research Council NERC for the grant NE/P015379/1 and with the National Council of Science and Technology CONACYT for the support for this research.

6. Reference List

- Abizaid, C., & Coomes, O. T. (2004). Land use and forest following dynamics in seasonally dry tropical forests of the southern Yucatán Peninsula, Mexico. *Land Use Policy*, 21(1), 71-84.
- Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S., & Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate research*, 11(1), 19-30.
- Aimers, J., & Hodell, D. (2011). Societal collapse: Drought and the Maya. *Nature*, 479(7371), 44.
- Alayón-Gamboa, J. A., & Ku-Vera, J. C. (2011). Vulnerability of smallholder agriculture in Calakmul, Campeche, Mexico.
- Allan, R. P., & Soden, B. J. (2008). Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science*, 321(5895), 1481-1484.
- Apaydin, H., Erpul, G., Bayramin, I., & Gabriels, D. (2006). Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. *Journal of Hydrology*, 328(3-4), 726-732.
- Aranda, M. (1990). El jaguar (*Panthera onca*) en la Reserva de la Biósfera de Calakmul, México: morfometría, hábitos alimentarios y densidad de población (Tesis de maestría. Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe. Universidad Nacional Costa Rica).
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A., & Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change*, 141(1), 123-137.
- Cavazos, T., & Rivas, D. (2004). Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. *Climate Research*, 25(3), 229-242.
- Camberlin, P. (2009). Nile basin climates. In *The Nile* (pp. 307-333). Springer, Dordrecht.
- Carrillo-Reyna, N., Reyna-Hurtado, R., & Schmook, B. (2015). Abundancia relativa y selección de hábitat de *Tapirus bairdii* en las reservas de Calakmul y Balam Kú, Campeche, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(1), 202-207.
- Cambio Climático en Centroamérica: impactos potenciales y opciones de política pública. (2015). Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. 178 pp. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39149-cambio-climatico-centroamerica-impactos-potenciales-opciones-politica-publica>
- Ceriani, L., & Verme, P. (2012). The origins of the Gini index: extracts from *Variabilità e Mutabilità* (1912) by Corrado Gini. *The Journal of Economic Inequality*, 10(3), 421-443.
- Chávez Tovar, J. C. (2010). Ecology and conservation of jaguar (*Panthera onca*) and puma (*Puma concolor*) in the Calakmul Region, and its implications for the conservation of the Yucatan peninsula.
- Chou, C., Chiang, J. C., Lan, C. W., Chung, C. H., Liao, Y. C., & Lee, C. J. (2013). Increase in the range between wet and dry season precipitation. *Nature Geoscience*, 6(4), 263.
- Conde-Álvarez, C., & Saldaña-Zorrilla, S. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.
- Cooley, A., & Chang, H. (2017). Precipitation Intensity Trend Detection using Hourly and Daily Observations in Portland, Oregon. *Climate*, 5(1), 10.
- Cowell, F. A. (2000). Measurement of inequality. *Handbook of income distribution*, 1, 87-166.
- De Luis, M., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Longares, L. A. (2011). Precipitation concentration changes in Spain 1946-2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(5), 1259.
- Di Baldassarre, G., Elshamy, M., van Griensven, A., Soliman, E., Kigobe, M., Ndomba, P., & Solomatine, D. (2011). Future hydrology and climate in the River Nile basin: a review. *Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques*, 56(2), 199-211.
- Dodd, D. E., & Jolliffe, I. T. (2001). Early detection of the start of the wet season in semiarid tropical climates of western Africa. *International journal of climatology*, 21(10), 1251-1262.

- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know?. *Environment international*, 31(8), 1167-1181.
- Douglas, P. M., Pagani, M., Canuto, M. A., Brenner, M., Hodell, D. A., Eglinton, T. I., & Curtis, J. H. (2015). Drought, agricultural adaptation, and sociopolitical collapse in the Maya Lowlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201419133.
- Easterling, D. R., Karl, T. R., Gallo, K. P., Robinson, D. A., Trenberth, K. E., & Dai, A. (2000). Observed climate variability and change of relevance to the biosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D15), 20101-20114.
- Eakin, H. (2005). Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development*, 33(11), 1923-1938.
- Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, et al. (2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 151-165.
- FAO. Climate Change Impacts on Agriculture and Food Security. (2009). http://www.fao.org/docs/up/easypol/778/climatechange_impacts_on_agric_food_security_slides_077en.pdf
- García Gil, G., Palacio Prieto, J. L., & Ortiz Pérez, M. A. (2002). Reconocimiento geomorfológico e hidrográfico de la Reserva de la Biosfera Calakmul, México. *Investigaciones geográficas*, (48), 7-23.
- García Gil, G., Gallegos, M., Ramírez, C., & Concepción, M. (2003). *Colonización humana reciente y formación del paisaje agrario en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, México* (No. TE/333.73 G3).
- Garza-Lopez, M., Ortega-Rodriguez, J. M., Zamudio-Sanchez, F. J., Lopez-Toledo, J. F., Dominguez-Alvarez, F. A., & Saenz-Romero, C. (2018). Modification of the habitat for *Lysiloma latisiliquum*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 127-135.
- Gurri García, F. D., & Vallejo Nieto, M. I. (2007). Vulnerabilidad en campesinos tradicionales y convencionales de Calakmul, Campeche, México. Secuelas del huracán "Isidore". *Estudios de Antropología Biológica*, 13(1).
- Haug, G. H., Günther, D., Peterson, L. C., Sigman, D. M., Hughen, K. A., & Aeschlimann, B. (2003). Climate and the collapse of Maya civilization. *Science*, 299(5613), 1731-1735.
- Hernández-Huerta, A., Sosa, V. J., Aranda, J. M., & Bello, J. (2000). Records of small mammals in the Calakmul biosphere reserve, Yucatán Peninsula. *The Southwestern Naturalist*, 340-344.
- Ibarra-Manríquez, G., & Martínez-Ramos, M. (2002). Landscape variation of liana communities in a Neotropical rain forest. *Plant ecology*, 160(1), 91-112.
- IPCC, 2007 : Climate Change, the Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback)
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *science*, 302(5651), 1719-1723.
- Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A., & King, L. (2014). Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and climate extremes*, 4, 75-85.
- Keyantash, J., & Dracup, J. A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1167-1180.
- Kharin, V. V., & Zwiers, F. W. (2000). Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere–ocean GCM. *Journal of Climate*, 13(21), 3760-3788.
- Kharin, V. V., & Zwiers, F. W. (2005). Estimating extremes in transient climate change simulations. *Journal of Climate*, 18(8), 1156-1173.
- Konalapa, G., Mishra, A.K. (2016). Three-parameter-based streamflow elasticity model: application to MOPEX basins in the USA at annual and seasonal scales. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2545.

- Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2013). Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations.
- Lal, R. (2013). Food security in a changing climate. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(1), 8-21.
- Liebmann, B., Bladé, I., Bond, N. A., Gochis, D., Allured, D., & Bates, G. T. (2008). Characteristics of North American summertime rainfall with emphasis on the monsoon. *Journal of Climate*, 21(6), 1277-1294.
- Li, J., Wang, M. H., & Ho, Y. S. (2011). Trends in research on global climate change: A Science Citation Index Expanded-based analysis. *Global and Planetary Change*, 77(1-2), 13-20.
- Lundell, C. L. (1934), Preliminary sketch of the phytogeography of the Yucatán peninsula, Carnegie Institution of Washington, Contributions to American Archaeology, vol. II, no. 12.
- Luo, Z., Sun, O. J., Ge, Q., Xu, W., & Zheng, J. (2007). Phenological responses of plants to climate change in an urban environment. *Ecological Research*, 22(3), 507-514.
- Mardero, S., B. Schmook, C. Radel, Z. Christman, D. Lawrence, M. Millones, E. Nickl, J. Rogan & L. Schneider (2015) Smallholders' adaptations to droughts and climatic variability in southeastern Mexico, *Environmental Hazards*, 14:4, 271-288.
- Mardero, S., Schmook, B., Christman, Z., Nickl, E., Schneider, L., Rogan, J., & D. Lawrence. (2014). Precipitation variability and adaptation strategies in the southern Yucatán Peninsula, Mexico: Integrating local knowledge with quantitative analysis. In Leal Filho W., Alves, F., Caeiro S., Azeiteiro U. (eds) *International Perspectives on Climate Change* (pp. 189-201). Springer, Cham.
- Mardero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., & Lawrence, D. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones geográficas*, (78), 19-33.
- Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J. O., Cicero, L., Radel, C., & Christman, Z. (2018). The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 1-20.
- Marengo, J. A., Liebmann, B., Kousky, V. E., Filizola, N. P., & Wainer, I. C. (2001). Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, 14(5), 833-852.
- Martínez, E., & Galindo Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (71).
- Martínez, W.E. (2016). Tesis: Abundancia relativa y ocupación del tapir (*Tapirus bairdii*) en cuerpos de agua en la Selva Maya Relative abundance and occupancy of Baird's Tapir (*Tapirus bairdii*) in waterholes at the Maya Forest. El Colegio de la Frontera Sur.
- Masaki, Y., Hanasaki, N., Takahashi, K., & Hijioaka, Y. (2014). Global-scale analysis on future changes in flow regimes using Gini and Lorenz asymmetry coefficients. *Water Resources Research*, 50(5), 4054-4078.
- Mavromatis, T., & Stathis, D. (2011). Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(1-2), 13-24.
- Medina-Elizalde, M., & Rohling, E. J. (2012). Collapse of Classic Maya civilization related to modest reduction in precipitation. *Science*, 335(6071), 956-959.
- Michiels, P., Gabriels, D., and Hartmann, (1992). R.: Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing monthly rainfall distribution in Spain, *Catena*, 19, 43-58, 1992.
- Miranda, F. (1958), "Estudios acerca de la vegetación", en Beltran, E. (ed.), Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento, tomo II, IMRNAR, México, pp. 215-271.
- Morton, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19680-19685.
- Mugalavai, E. M., Kipkorir, E. C., Raes, D., & Rao, M. S. (2008). Analysis of rainfall onset, cessation and length of growing season for western Kenya. *Agricultural and forest meteorology*, 148(6-7), 1123-1135.
- Naranjo, E. J., & Bodmer, R. E. (2002). Population Ecology and Conservation of Baird's Tapir (*Tapirus bairdii*) in the Lacandon Forest. *Tapir Conservation*, 11, 25-33.

- Neeti, N., Rogan, J., Christman, Z., Eastman, J. R., Millones, M., Schneider, L., Nickl E., Schmook B., Turner B.L.II, & Ghimire, B. (2012). Mapping seasonal trends in vegetation using AVHRR-NDVI time series in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Remote sensing letters*, 3(5), 433-442.
- O'Gorman, P. A. (2015). Precipitation extremes under climate change. *Current climate change reports*, 1(2), 49-59.
- O'Farrill G., Calmé S., Gonzalez A. (2006). Manilkara zapota: a new record of a species dispersed by tapirs. *Tapir Conservation* 15, 32–5.
- Oliver, J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, 32(3), 300-309.
- Onyutha, C., Tabari, H., Rutkowska, A., Nyeko-Ogiramoi, P., & Willems, P. (2016). Comparison of different statistical downscaling methods for climate change rainfall projections over the Lake Victoria basin considering CMIP3 and CMIP5. *Journal of Hydro-environment Research*, 12, 31-45.
- Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., & Gay, C. (2009). Atlas escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. *Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)*.
- Pal, I., Anderson, B. T., Salvucci, G. D., & Gianotti, D. J. (2013). Shifting seasonality and increasing frequency of precipitation in wet and dry seasons across the US. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 4030-4035.
- Parry, M. L., & Carter, T. R. (1989). An assessment of the effects of climatic change on agriculture. *Climatic Change*, 15(1-2), 95-116.
- Pérez-Cortez, S., Enríquez, P. L., Sima-Panti, D., Reyna-Hurtado, R., & Naranjo, E. J. (2012). Influencia de la disponibilidad de agua en la presencia y abundancia de *Tapirus bairdii* en la selva de Calakmul, Campeche, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3), 753-761.
- Povoa, L. V., Nery, J. T., & Povoa, M. L. V. (2016). Package 'precintcon'.
- Qian, Y. F., Zhang, Y., & Zheng, Y. Q. (2003). Impacts of the Tibetan Plateau snow anomaly in winter and spring on precipitation in China in spring and summer. *Arid Meteorology*, 21(3), 1-7.
- Radel, C., Schmook, B., McEvoy, J., Mendez, C., & Petzelka, P. (2012). Labour migration and gendered agricultural relations: The feminization of agriculture in the ejidal sector of Calakmul, Mexico. *Journal of Agrarian Change*, 12(1), 98-119.
- Rajah, K., O'Leary, T., Turner, A., Petrakis, G., Leonard, M., & Westra, S. (2014). Changes to the temporal distribution of daily precipitation. *Geophysical Research Letters*, 41(24), 8887-8894.
- Reddy, V. R., & Pachepsky, Y. A. (2000). Predicting crop yields under climate change conditions from monthly GCM weather projections. *Environmental Modelling & Software*, 15(1), 79-86.
- Reyna-Hurtado, R., Rojas-Flores, E., & Tanner, G. W. (2009). Home range and habitat preferences of white-lipped peccaries (*Tayassu pecari*) in Calakmul, Campeche, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 90(5), 1199-1209.
- Risbey, J., Kandlikar, M., Dowlatabadi, H., & Graetz, D. (1999). Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(2), 137-165.
- Rogan, J., Schneider, L., Christman, Z., Millones, M., Lawrence, D., & Schmook, B. (2011). Hurricane disturbance mapping using MODIS EVI data in the southeastern Yucatán, Mexico. *Remote Sensing Letters*, 2(3), 259-267.
- Rosenberg, N. J. (1992). Adaptation of agriculture to climate change. *Climatic Change*, 21(4), 385-405.
- Sarhadi, A., & Soulis, E. D. (2017). Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 44(5), 2454-2463.
- Schmook, B., van Vliet, N., Radel, C., de Jesús Manzón-Che, M., & McCandless, S. (2013). Persistence of swidden cultivation in the face of globalization: a case study from communities in Calakmul, Mexico. *Human Ecology*, 41(1), 93-107.
- Semenov, V., & Bengtsson, L. (2002). Secular trends in daily precipitation characteristics: Greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. *Climate Dynamics*, 19(2), 123-140.
- SIAP <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

- Tabari, H., Somee, B. S., & Zadeh, M. R. (2011). Testing for long-term trends in climatic variables in Iran. *Atmospheric Research*, 100(1), 132-140.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1/2), 123-138.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *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
- Valli M, Sree KS, Krishna IVM (2013) Analysis of precipitation concentration index and rainfall prediction in various agro-climatic zones of Andhra Pradesh, India. *Int Res J Environ Sci* 2(5):53–61
- Van Rooy, M. P., 1965: A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43
- Vaughan, C., & Weis, K. (1999). Neotropical dry forest wildlife water hole use and management. *Revista de Biología Tropical*, 47(4), 1039-1044.
- Vester, H. F. M., Lawrence, D., Eastman, J. R., Turner II, B. L., Calmé, S., Dickson, R., Pozo, C., & Sangerman, F. (2007). Land change in the Southern Yucatan and Calakmul Biosphere Reserve: effects on habitat and biodiversity. *Ecological Applications*, 17, 989-1003.
- Voss, R., May, W., & Roeckner, E. (2002). Enhanced resolution modelling study on anthropogenic climate change: changes in extremes of the hydrological cycle. *International Journal of Climatology*, 22(7), 755-777.
- Zeng, N., Neelin, J. D., Lau, K. M., & Tucker, C. J. (1999). Enhancement of interdecadal climate variability in the Sahel by vegetation interaction. *Science*, 286(5444), 1537-1540.
- Zepeda, R. V. (2005). *Las regiones climáticas de México 1.2. 2* (Vol. 2). UNAM.
- Zhang, Q., Xu, C. Y., & Zhang, Z. (2009). Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1-2), 89-99.
- Ziervogel, G., & Ericksen, P. J. (2010). Adapting to climate change to sustain food security. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(4), 525-540.

V. DISCUSIÓN

La demanda de maíz como alimento para humanos y animales de granja, así como para usos bioenergéticos continúa en aumento, con una producción mundial de 840 millones de toneladas en el 2010 (FAO 2012). A pesar del continuo aumento en la producción global, las preocupaciones sobre la capacidad de mantener el abasto del grano ante el Cambio Climático han crecido (Easterling et al. 2007).

Los análisis de los patrones y los cambios en la precipitación así como del comportamiento de las temperaturas son cruciales debido a su fuerte asociación con las actividades agrícolas, especialmente en la agricultura de temporal, como lo es en la mayor parte de la Península. En los últimos años, se ha prestado mucha atención a los riesgos asociados con el cambio climático, debido entre otras cosas, a las afectaciones en la producción de alimentos (Reddy y Pachepsky 2000). La disponibilidad de agua es una de las principales limitantes para la producción de cultivos y por ende para la seguridad alimentaria, por lo que es de vital importancia estudiar a fondo los patrones de precipitación a escala regional.

Coincidiendo con las tendencias de temperatura mundial del último siglo (IPCC 2007; 2014; NASA 2013), dos de los tres estados de la Península de Yucatán mostraron un aumento en las temperaturas máximas durante el periodo de estudio (1981 – 2010). Estos aumentos en las temperaturas máximas y los golpes de calor ponen más presión en el rendimiento de la planta del maíz sobretodo en la etapa inmediata posterior a la floración (Granados y Sarabia 2013).

Aunado al aumento de las temperaturas, el rendimiento del maíz está altamente relacionado con la adecuada cantidad de precipitación. Diversos estudios (Altieri y Nicholls 2017; Boserup 2017; Hoffmann 2011) generalmente confirman la hipótesis de que la agricultura tropical y subtropical en los países en vías de desarrollo es más sensible a los cambios en la precipitación y la temperatura, que la agricultura en regiones templadas, y que incluso cambios marginales en estas variables causan daños en distintos cultivos, aunque la

magnitud del daño también va a depender del escenario climático que se utilice (Kurukulasuriya & Mendelsohn 2008).

Para la Península de Yucatán, nuestros resultados mostraron que la precipitación total anual y estacional no presenta una tendencia marcada ni significativa de aumento o disminución, a excepción del estado de Quintana Roo, donde la precipitación ha ido disminuyendo significativamente durante nuestro periodo de estudio. Sin embargo, estos resultados solo muestran el comportamiento en cantidad de la precipitación total, y como varios autores señalan (Luo et al. 2007; Chou et al. 2013; Karl y Trenberth 2003; Pal et al. 2013) es necesario analizar también la intensidad y distribución de las precipitaciones para poder abordar su comportamiento integral y sus implicaciones.

Con este objetivo, en esta investigación se seleccionó Calakmul, una región de gran importancia por su valor ecológico (Martínez y Galindo-Leal 2002) y por la dominancia de agricultura de temporal como actividad productiva, para elaborar análisis de precipitación más exhaustivos, que nos llevaran a conocer no solo su comportamiento a nivel de cantidad, sino de distribución e intensidad.

Las tendencias generales de precipitación en Calakmul mostraron incluso un ligero aumento en nuestro período de estudio, coincidiendo con Dore (2005), quien encontró un aumento general de la precipitación en el Caribe. Sin embargo, esto no implica que la zona de estudio se haya beneficiado con más precipitación. De acuerdo a los entrevistados, la precipitación no ha disminuido en cantidad, pero se ha vuelto muy irregular e impredecible, presentándose eventos de lluvia de gran intensidad, intercalados con periodos largos de sequía, y que, la estación lluviosa se ha recorrido, lo cual ha provocado que modifiquen sus actividades agrícolas.

Las fechas de inicio y término de la temporada lluviosa son muy importantes para los agricultores del municipio de Calakmul, para decidir qué tipos de maíz cultivar y cuándo sembrar. Los resultados de los análisis del comportamiento de la precipitación en Calakmul indican una alta variabilidad interanual en el inicio de la

estación lluviosa, con algunos años comenzando en mayo, seguidos de años cuando las lluvias comenzaron a fines de julio o incluso en agosto. Como respuesta a esta variabilidad en el inicio de la estación lluviosa, los campesinos se han visto forzados a modificar su calendario agrícola, moviendo las fechas de siembra de acuerdo a la llegada de las lluvias, utilizando diferentes variedades de maíz, arriesgándose a padecer los mayores efectos de la canícula o los vientos huracanados del mes de octubre principalmente (Mardero et al. 2014).

Los resultados de los índices (GINI, SDII, PCI) de las tres estaciones en Calakmul apuntaron a una distribución cada vez más irregular de las precipitaciones en el área y a un aumento en la intensidad de las lluvias. Estos resultados sugieren, y coinciden con la información del IPCC (2013), que es altamente probable que ocurran más eventos extremos en las tierras bajas Mayas de México y América Central.

Los tres estados de la Península de Yucatán mostraron distintos grados de relación entre sus tendencias climáticas de temperatura y precipitación, con las tendencias de producción de maíz en el periodo estudiado. Entre los tres estados, la producción de maíz tiene la mayor correlación con la variabilidad climática en Campeche. Esto es interesante porque dicho estado ha tenido un clima relativamente estable y, a su vez, es el estado con mayor producción de maíz, que ha aumentado constantemente en los últimos años. Sin embargo otros elementos también participan en esta dinámica, por ejemplo Campeche tiene el mayor presupuesto para el sector agrícola entre los tres estados (del 2007 al 2010, \$2, 523, 454, 658); PROCAMPO (ahora PROAGRO) contó con un presupuesto de \$1, 150, 989, 062, (del 2006 al 2012), casi el doble que Quintana Roo, y 20% mas que Yucatán. Además Campeche tiene suelos más aptos para la agricultura y por lo tanto el mayor porcentaje de superficie mecanizada, así como un mayor uso de semillas mejoradas.

Quintana Roo muestra tendencias de disminución de precipitación y temperaturas más extremas, con una alta relación entre la variabilidad climática y la producción total anual, además , la producción y rendimientos de maíz es el

más bajos de los tres estados. En Quintana Roo, la agricultura no es un sector prioritario, es el turismo, por lo que no sorprende que el presupuesto estatal para la SAGARPA en dicha entidad sea el más bajo (\$ 1, 223, 942, 219, casi 50% menos que Campeche), así como el menor de los fondos de PROCAMPO (\$685,460,264), y un menor porcentaje del presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) dedicado a agricultura (7.6% contra un 10% en Campeche). También hay menos superficie sembrada con semillas mejoradas. Los suelos por su parte, no son tan aptos para la agricultura mecanizada como los de Campeche.

Yucatán por su parte, presenta la relación más débil entre la variabilidad climática y la producción, lo que sugiere que la principal limitación para la agricultura en Yucatán no es el clima, sino los suelos. Además, en Yucatán, la política económica se enfoca en la ganadería y el turismo, con el menor porcentaje del Presupuesto de Egresos de la Federación dedicado al sector agrícola entre los tres estados (7.2%). Sin embargo, tiene el mayor uso de asistencia técnica y un buen presupuesto para SAGARPA (\$1,966,909,819, casi 40% más que Quintana Roo). Sin embargo, debido a las condiciones desafiantes de los suelos en el estado, la política agrícola podría no ser particularmente significativa para la producción resultante en la entidad.

Las tendencias de superficie sembrada con maíz de temporal en la Península y en el país se mantienen estancadas durante el periodo 1980 – 2010 (Sweeney et al. 2013; Mardero et al. 2018), a pesar de que el número de habitantes en México ascendió en casi 40 millones en el mismo período (Ojeda-Bustamante et al. 2012), lo que muestra la presión de la política actual mexicana enfocada en producir más en menos superficie. El rendimiento del cultivo de maíz ha mostrado incrementos sustanciales en México, casi 5 ton/ha en tres décadas bajo condiciones de riego, mientras que de temporal, los incrementos han sido menores a 1 ton/ha.

Sin embargo, a pesar de las tendencias de aumento de la agricultura en superficies bajo riego, es necesario considerar que las actuales extracciones de agua para sistemas de riego ya causan estrés en muchas de las principales

cuencas fluviales del mundo (Molle et al. 2007). Cada aumento en el uso del agua para fines agrícolas afectará inevitablemente la disponibilidad de agua para otros usos, como el suministro de agua potable y el agua disponible para la estabilidad de los ecosistemas, especialmente en cuencas cerradas, donde se utilice más agua de la que se puede renovar durante la estación lluviosa (Molden et al. 2001; Molle 2003). Las zonas de riego de México enfrentan con mayor frecuencia problemas de escasez e incertidumbre en la disponibilidad del agua, mayor competencia del recurso por usuarios no agrícolas y frecuente demanda social para incluir la protección del ambiente en su desarrollo (Ojeda-Bustamante et al. 2012)

En el aspecto socio-económico, la agricultura de riesgo intensiva, ha demostrado una tendencia a la polarización del sector y la concentración de la tierra, restringiendo la generación de empleos y favoreciendo la emigración de la población rural (Ojeda-Bustamante et al. 2012).

Los años con sequías y / o huracanes a menudo provocan baja productividad y grandes pérdidas en la agricultura, como se muestra en la siguiente gráfica elaborada a partir de datos del SIAP sobre siniestros agrícolas en los tres estados, en el periodo 1980 - 2010.

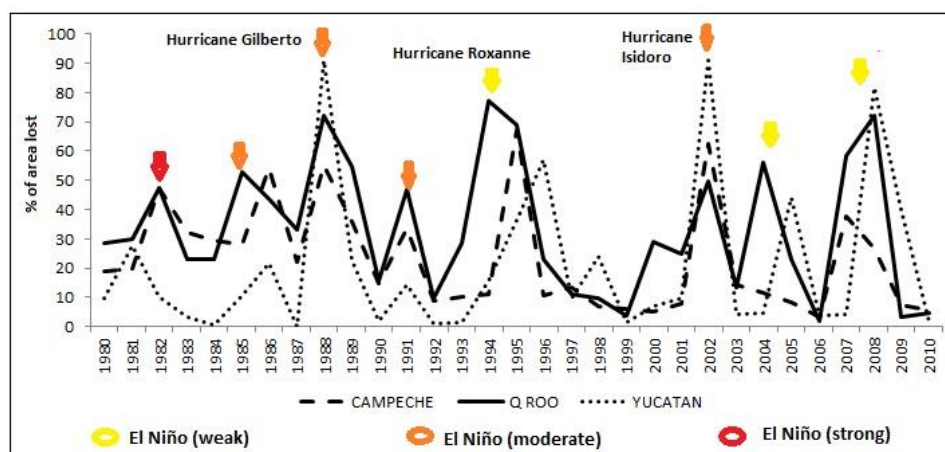


Figura1. Porcentaje de superficie sembrada con maíz siniestrada durante 1980 – 2010 en los tres estados de la Península, ocurrencia del fenómeno de El Niño y huracanes en la región.

La Figura 1 muestra que los años con la mayor superficie siniestrada en los tres estados ocurrieron durante el evento de El Niño (de diferentes intensidades) y también estuvieron asociados con la ocurrencia de huracanes. Por ejemplo, en el año 1988 durante el huracán Gilberto y con un evento Niño moderado, el estado de Yucatán perdió el 90% de la superficie cultivada con maíz, mientras que Quintana Roo perdió el 70% y Campeche el 50%; además, durante el año 2002, con el huracán Isidore y un evento Niño moderado, Yucatán perdió el 80%, Campeche el 60% y Quintana Roo el 40% de la superficie total cultivada con maíz.

De acuerdo a los análisis de esta investigación, los factores climáticos tienen mucha influencia en la producción de cada uno de los estados; sin embargo, otras investigaciones han demostrado que las condiciones climáticas y los riesgos climáticos no son los únicos y algunas veces no son los elementos más importantes que influyen en la producción (Chiotti et al. 1997; Silva et al. 2010; Eakin et al. 2005).

Algunas de las manifestaciones graves del cambio climático global ya se sienten y se sentirán aún más en el futuro, predominantemente en los países en desarrollo, y sobre todo entre los agricultores de "subsistencia" o "pequeños agricultores". Su vulnerabilidad al cambio climático proviene tanto de su ubicación en los trópicos, como de varias características socioeconómicas, demográficas y políticas que limitan su capacidad de adaptación al cambio. Los sistemas de subsistencia de los pequeños agricultores experimentan en la actualidad una serie de factores de estrés entrelazados, que no se limitan únicamente al cambio climático y la variabilidad climática (Morton 2007).

De acuerdo con Eakin (2005) en sus casos de estudio sobre cambios institucionales, Cambio Climático y vulnerabilidad social en Tlaxcala, México, es claro que el cambio institucional que acompañó a las políticas neoliberales juega un papel mucho más prominente en la estructuración de las estrategias de subsistencia de los agricultores que los riesgos climático. Esto no significa que el riesgo climático no sea importante para los agricultores, sino que su sensibilidad a

los impactos climáticos y su capacidad para gestionar el riesgo climático es un producto de cómo se organizan para enfrentar el cambio institucional.

Los resultados de Eakin, y nuestra investigación, sugieren que las políticas agrícolas derivadas del neoliberalismo económico iniciado a mediados de la década de los 80's continúan moldeando la producción de maíz en México y en la Península.

Con la aplicación de las políticas neoliberales se ha apoyado principalmente a los agricultores capaces de competir en el mercado abierto, dejando prácticamente fuera -y relegados a programas de asistencia- a los pequeños productores, los inviábiles (De Gramont 1996; Gil-Méndez 2015).

La Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha priorizado el aumento de la producción y la productividad durante décadas, buscando ante todo trabajar con productores comerciales que operan a mediana y gran escala, a menudo con riego. En consecuencia, la mayor parte del presupuesto de SAGARPA proporciona bienes tanto públicos como privados para los agricultores comerciales de mediana y gran escala, y se ofrece mucho menos a la mayoría de los agricultores que trabajan en parcelas familiares de menos de cinco hectáreas (Slater et al. 2016). La geografía ha reforzado la separación: los agricultores comerciales se concentran en el norte y el noroeste de México, mientras que los pequeños agricultores en situación de pobreza tienden a concentrarse en el centro y el sur del país.

Con el supuesto objetivo de luchar contra esta polarización y el rezago productivo y económico de los pequeños agricultores, distintos programas como Alianza por el Campo y PROAGRO (antes PROCAMPO) principalmente, han sido implementados por el gobierno, sin embargo, diversos autores como Fox y Haight (2010), y Palmer-Rubin (2010) han coincidido en que, dichos programas presentan un diseño y una implementación inadecuada, que no favorece a los productores de bajos ingresos.

En 2010, surge un programa desarrollado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) llamado Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro). MasAgro, que fue considerado por algunos como una nueva versión de la “Revolución Verde”, para elevar las capacidades productivas de los pequeños productores de maíz y trigo, asegurar mejores rendimientos que contribuyan a la suficiencia alimentaria en ambos cultivos y hacer frente a los efectos del cambio climático, a través de prácticas agronómicas sustentables, además de tener impacto en el ingreso, el empleo y el arraigo en el medio rural.

Este programa fue dirigido originalmente a productores en estados y regiones agroecológicas donde se comenzó a implementar MasAgro. MasAgro promueve un modelo de modernización de la agricultura tradicional que, como sostienen los estudios de CEMDA (2016) y Turrent Fernández (2014), de lograr su objetivo, afectaría definitivamente las economías de autoconsumo en favor de una lógica comercial en el sector tradicional del campesinado. Sin embargo, estos mismos autores exponen la incompatibilidad entre la plataforma biodiversa de la agricultura tradicional de México y la plataforma de monocultivo que MasAgro impulsa. Estos estudios también documentan el nulo o indetectable efecto del programa sobre la producción y el rendimiento nacional de maíz de temporal en sus primeros seis años y califican como improbable un cambio significativo en el tiempo restante.

Muchos han sido los intentos de modernización del minifundio en nuestro país, o al menos, hacia allá apuntaban propuestas como el Sistema Alimentario Mexicano (SAM) en 1980, CONASUPO, FIRCO y las propuestas de colectivización ejidal promovidas desde los años setenta y con gran difusión en los ochenta. Estos intentos de modernizar la economía campesina tradicional, a partir de un fuerte impulso estatal, tenían como objetivo desarrollar una economía más productiva, más integrada al mercado local y nacional, así como lograr un mayor control por parte de los campesinos pobres y medios en sus procesos productivos (López-Sierra 2018).

A pesar de los esfuerzos, la superficie de maíz de temporal en México y en la Península continúa prácticamente estancada (Márdero et al. 2015; Sweeney et al. 2013; Hibon et al. 1992) debido a diversos factores como la neoliberalización a múltiples escalas económicas (Appendini 1992; Echánove y Steffen 2005), mayor variabilidad y disminución de la precipitación incluida la sequía, aumentos de temperatura (Drought Facts 2013; Galindo 2007) y cambios en el patrón espacial de producción impulsado por diferentes segmentos de productores de maíz, en el cual el sector moderno está aprendiendo rápidamente y adoptando nuevas tecnologías de producción (Sweeney et al. 2013).

Con un clima cambiante y una economía desarticulada, la combinación de múltiples estresores en la agricultura hace que la producción de maíz enfrente grandes retos, lo que ha llevado a una búsqueda de nuevas formas de producción, acompañada de una gran dependencia de los diferentes tipos de insumos para la mecanización y la irrigación.

La expectativa inicial entre algunos analistas y formuladores de políticas era que esto llevaría a un abandono generalizado del cultivo de maíz en pequeña escala (de Janvry et al. 1995; Rello y Pérez 2010; Sweeney 2013). Sin embargo, los pequeños productores de maíz persisten. Con el apoyo del empleo no agrícola y los apoyos gubernamentales que nunca abandonaron por completo el sector, sino que reorientaron la inversión en programas de asistencia social para las zonas rurales que se consideran menos competitivos (Bartra 1996; Eakin 2006). Así los pequeños agricultores han podido mantener sus milpas para la subsistencia y como parte de su arraigo cultural (Schmook et al. 2013).

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Esta investigación muestra que la precipitación total para dos de los tres estados de la Península (Yucatán y Campeche) se ha mantenido estable durante los 30 años analizados, mientras que Quintana Roo ha tenido una significativa disminución. Las tendencias de temperaturas máximas fueron positivas tanto para Yucatan como Quintana roo. Sin embargo, este aumento solo fue estadísticamente significativo en el estado de Quintana Roo.

Sin embargo, estos resultados deben tomarse con cautela, debido a que la escala estatal del análisis podría provocar pérdida de detalle, así como a las oscilaciones climáticas temporales, dado que una investigación sobre cambio climático necesita un registro mínimo de 30 años (Onyutha et al. 2016), especialmente en detecciones de tendencias (Camberlin 2009; Di Baldassarre et al. 2011), y porque los resultados de tendencia a menudo dependen no solo de la longitud del registro de datos, sino también del período de tiempo seleccionado para los análisis. En muchos países en desarrollo como México, es difícil compilar un registro ininterrumpido de datos confiables para proporcionar certeza en el análisis climático.

A diferencia de las tendencias de precipitación total estatales, los análisis de distribución e intensidad de la precipitación (utilizando los diversos índices GINI, PCI, SDII y RAI) en la Reserva de Calakmul sí mostraron algunos cambios significativos. Los principales hallazgos fueron:

- a) Una variabilidad interanual en el inicio de la estación lluviosa, aunque, este inicio no muestra una tendencia a estarse retrasando.
- b) La precipitación total anual y estacional no solo no ha disminuido, sino que ha presentado un ligero aumento.
- c) La precipitación durante el periodo analizado, presenta una muy mala distribución, concentrándose en algunos pocos eventos durante la estación lluviosa.
- d) Si se tiene un aumento en la precipitación total, y una concentración en menos eventos, es de esperarse que estos eventos sean más intensos, como lo demuestra nuestro análisis .

- e) El análisis de tendencias para todos los índices demostraron de manera estadísticamente significativa, que la precipitación a lo largo del periodo de estudio revela una tendencia a bajar la distribución y aumentar la intensidad.

Estos resultados también nos muestran la importancia de realizar un análisis más exhaustivos sobre el comportamiento de la precipitación, y no solo sobre el cálculo de las tendencias en la precipitación total, ya que, muchos de los daños en la agricultura relacionados con el Cambio Climático se deben a eventos extremos, retrasos en el inicio de estación, mala distribución de las lluvias, etc., y no únicamente a la disminución o aumento paulatino de la precipitación total.

A pesar de su amplio rango de resistencia a distintas temperaturas y precipitación, el rendimiento de la planta de maíz está ampliamente ligado, ya sea directa o indirectamente, a los cambios de temperatura (i.e. olas de calor que traen consigo la llegada de plagas) y a la variabilidad de las precipitaciones (Bjarnason 1994). La presente investigación mostró un alto grado de relación entre las tendencias de precipitación y temperatura en el periodo de estudio, con la producción total de maíz (toneladas anuales), para dos de las 3 entidades de la Península (Campeche con una relación de 79%, Quintana Roo con una relación del 72%). Sin embargo, el estado de Yucatán demostró que las tendencias de precipitación y temperatura de los 30 años analizados, están relacionados con su producción de maíz únicamente en un 28%.

Además de un clima cambiante, el acceso limitado a las nuevas tecnologías, la alta dependencia del apoyo gubernamental y los suelos poco profundos y pedregosos en gran parte de la Península de Yucatán influyen en la baja producción total de maíz. Debido a la interacción de estos elementos, el sector agrícola de pequeña escala ha experimentado una crisis desde los años ochenta.

No es de sorprenderse entonces, que los intentos de distintos programas gubernamentales por elevar la productividad de los pequeños agricultores, tanto la

superficie, como la producción y el rendimiento del maíz de temporal se han mantenido estancados para dos de los tres estados de la Península (Yucatán y Quintana Roo), mientras que Campeche muestra un comportamiento muy diferente, escalando 13 peldaños entre los estados con mayor producción de maíz, durante el periodo de estudio, y ganándose el sobrenombre del “granero de la Península”.

Si bien el maíz sembrado bajo la modalidad de temporal permanece estancado, el maíz bajo la modalidad de riego presenta un comportamiento a la alza tanto en superficie, como en producción total y rendimiento en los tres estados, especialmente desde el año 2008.

Esto puede explicarse de acuerdo con la política agrícola de México de intensificar la agricultura, “más producción en menos espacio”, impulsando los sistemas de riego, el uso de diversos insumos y paquetes tecnológicos para lograr elevar la productividad y enfrentar los riesgos que la variabilidad de las precipitaciones conlleva.

Bajo este marco el gobierno Mexicano ha desarrollado varios programas agrícolas, los más importantes han sido Alianza para el Campo, PROCAMPO (ahora ProAgro) y MasAgro entre otros. Sin embargo, diversos autores (CEMDA 2016; Turrent-Fernández 2014; Fox y Haight 2010) así como testimonios recolectados durante nuestra investigación coinciden en que las políticas agrícolas han fracasado en su intento por impulsar a los pequeños productores a dar el salto a la agricultura comercial.

De acuerdo a los testimonios recopilados en el área de estudio, las dificultades que enfrentan los pequeños agricultores para elevar la producción de maíz están asociadas en gran medida a la variabilidad climática, acompañado por el diseño e implementación inadecuados de los programas agrícolas, la dispersión de los apoyos agrícolas, la incipiente organización de los agricultores, el difícil acceso a créditos y mercados y la migración laboral, que es una variable

bidireccional. También el abandono del campo por las nuevas generaciones ha contribuido a una disminución de la actividad agrícola.

La interacción de los elementos no climáticos como las políticas agrícolas con la variabilidad climática exagera la vulnerabilidad de los pequeños productores, y merma sus capacidades de respuesta en un entorno climático cambiante.

Vergara y colegas (2014) sugirieron que las políticas agrícolas actuales, desarrolladas a lo largo del tiempo y sin tener en cuenta el desafío climático, deberían revisarse para canalizar los recursos públicos de maneras nuevas que sean consistentes con la agricultura baja en carbono y resiliente al clima, así como promover la inversión en bienes públicos como la investigación agrícola y los servicios de extensión.

Si bien, el Cambio Climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta México y el mundo, también representa una oportunidad para promover un desarrollo más sustentable si se crean y fortalecen las capacidades de mitigación y adaptación. Desafortunadamente, una de las estrategias pilares del Programa Especial de Cambio Climático (PECC) para el sector agrícola: "Fomentar acciones de adaptación en los sectores productivos" no contempla una línea de acción que tome en cuenta la afectación que tienen los productores rurales (Infante-Ramírez et al. 2018).

Al caracterizar cómo el cambio climático y las políticas agrícolas concurrentes se combinan para influir en la producción de maíz, esta investigación puede proporcionar información a los tomadores de decisiones, para un diseño e implementación de políticas más apropiadas. Esta tesis provee una visión más integral al analizar la relación clima-producción con las percepciones de los diferentes actores involucrados en los programas de apoyo, para comprender mejor las formas y necesidades para elevar el bienestar de los pequeños productores frente a la creciente variabilidad climática.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S., Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate research*, 11(1), 19-30.
- Adger, W. N. (2003). Social capital, collective action, and adaptation to climate change. *Economic geography*, 79(4), 387-404.
- Adger, W. N., Agrawala, S., Mirza, M. M. Q., Conde, C., o'Brien, K., Pulhin, Takahashi, K. (2007). Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate change*, 717-743.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I. (2017). The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140(1), 33-45.
- Agrawala, S., Fankhauser, S., Hanrahan, D., Pope, G., Skees, J., Stephens, C., Yasmine, S. (2008). Economic and policy instruments to promote adaptation. *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change*, 85-133.
- Appendini, K. (1992). *From Crisis to Restructuring: The Debate on the Mexican Economy During the 1980s*. Copenhagen, Center for Development Research.
- Appendini, K., Liverman, D. (1994). Agricultural policy, climate change and food security in Mexico. *Food Policy*, 19(2), 149-164.
- Appendini, K., Barrios, R. G., De la Tejera, B. (2003). Seguridad alimentaria y calidad de los alimentos: ¿ una estrategia campesina?. *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe/European Review of Latin American and Caribbean Studies*, 65-83.
- Appendini, K. (2014). Reconstructing the maize market in rural Mexico. *Journal of Agrarian Change*, 14(1), 1-25. Doi: 10.1111/joac.12013.
- Barkin, D. (2002). The reconstruction of a modern Mexican peasantry. *The Journal of Peasant Studies*, 30(1), 73-90.
- Barker, T. (2003). Representing global climate change, adaptation and mitigation. *Global environmental change*, 13(1), 1-6.
- Bartra, A. (1996). A persistent rural leviathan. *Reforming Mexico's agrarian reform*, 173-84.
- Battisti, D. S., Naylor, R. L. (2009). Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 323(5911), 240-244.
- Bellon, A., Lee, G. W., Zawadzki, I. (2005). Error statistics of VPR corrections in stratiform precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 44(7), 998-1015.
- Bjarnason, M. S. (1994). *The Subtropical, midaltitude, and highland maize subprogram*. CIMMYT.
- Boserup, E. (2017). *The conditions of agricultural growth: The economics of agrarian change under population pressure*. Routledge.
- Camberlin, P. (2009). Nile basin climates. In *The Nile* (pp. 307-333). Springer, Dordrecht.
- Cavazos, T., Rivas, D. (2004). Variability of extreme precipitation events in Tijuana, Mexico. *Climate Research*, 25(3), 229-243.
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental CEMDA. <http://www.cemda.org.mx/>
- Chiotti, Q., Johnston, T., Smit, B., Ebel, B. (1997). Agricultural response to climate change: a preliminary investigation of farm-level adaptation in Southern Alberta. In *Agricultural restructuring and sustainability: A geographical perspective*. B., Libery, Q., Chiotti, T., Richard., Eds. pp. 167-183.
- Chou, C., Chiang, J. C., Lan, C. W., Chung, C. H., Liao, Y. C., Lee, C. J. (2013). Increase in the range between wet and dry season precipitation. *Nature Geoscience*, 6(4), 263.
- Cline, W. R. (2007). Global warming and agriculture: End-of-century estimates by country. Peterson Institute.

- Collins, M., AchutaRao, K., Ashok, K., Bhandari, S., Mitra, A. K., Prakash, et al. (2013). Observational challenges in evaluating climate models. *Nature Climate Change*, 3(11), 940.
- Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL)
<https://www.cepal.org/es/publications>
- Conde, C., Ferrer, R. M., Gay, C. (1998). Variabilidad climática y agricultura. *GEO UNAM*, 5(1), 26-32.
- Conde, C., Ferrer, R., Orozco, S. (2006). Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmósfera*, 19(3), 181-194.
- Creswell, J.W., Plano-Clark, V.L. (2007). *Designing and conducting mixed methods research*. Second Edition Thousand Oaks, CA.
- De Grammont, H. (1995). Globalización, deterioro ambiental y reorganización social en el campo.
- De Janvry, A. (1995). Reformas del sector agrícola y el campesinado en México (Vol. 4). Agroamerica.
- Di Baldassarre, G., Elshamy, M., van Griensven, A., Soliman, E., Kigobe, M., Ndomba, P., Solomatine, D. (2011). Future hydrology and climate in the River Nile basin: a review. *Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques*, 56(2), 199-211.
- Dore, M. H. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know?. *Environment international*, 31(8), 1167-1181.
- Eakin, H., Lerner A.M., Murtinho F. (2010). Adaptive capacity in evolving peri-urban spaces: Responses to flood risk in the Upper Lerma River Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 20(1), 14-22.
- Easterling, W.E., P.K. Aggarwal, P. Batima, K.M. Brander, L. Erda, S.M. Howden, A. Kirilenko, J. Morton, J.-F. Soussana, J. Schmidhuber and F.N. Tubiello, (2007). Food, fibre and forest products. 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, 273-313.
- Echánove, F., Steffen, C. (2005). Agribusiness and farmers in Mexico: the importance of contractual relations. *The Geographical Journal*, 171(2), 166-176.
- Eitzinger, J., Orlandini, S., Stefanski, R., & Naylor, R. E. L. (2010). Climate change and agriculture: introductory editorial. *The Journal of Agricultural Science*, 148(5), 499-500.
- Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Maldonado-Repetto, A. et al. (2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 151-165.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático ENACC, 2007.
http://www.concyteq.edu.mx/amjb/repositorio/documentos/polit_doc/nacionales/Estrategia_Nacional_de_Cambio_Climatico_sintesis_ejecutiva.pdf
- FAO, 2001. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.
<http://www.fao.org/docrep/003/x9800s/x9800s00.htm>
- FAO. Drought facts, FAO Land & Water, 2013. Available online:
<http://www.fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf>
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F. N., Van Velhuizen, H. (2005). Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990 -- 2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 360(1463), 2067-2083.

- Fox, J., Haight, L. (2010). *Subsidizing inequality: Mexican corn policy since NAFTA*. Woodrow Wilson International Center for Scholars, Centro de Investigación y Docencia Económicas, University of California, Santa Cruz.
- Fritscher, M. (2015). Los dilemas de la reconversión agrícola en América Latina. *Sociológica México*, (13).
- García, X. M., Caamal, A., Ku-Ku, B., Xool, E. C., Armendáriz, I., Flores, et al. (2003). La agricultura campesina de los mayas en Yucatán. *LEISA Revista de Agroecología*, 19, 7.
- Gil-Méndez, J. (2015). Neoliberalismo, políticas agrarias y migración. Consecuencias de un modelo contra los productores. *Ra Ximhai*, 11(2).
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 365(1554), 2973-2989.
- Gravel, N. (2007). Mexican smallholders adrift: The urgent need for a new social contract in rural Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 77-98.
- Granados Ramírez, R., Sarabia Rodríguez, A. A. (2013). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.
- Guerrero García, F. D., Vallejo Nieto, M. I. (2007). Vulnerabilidad en campesinos tradicionales y convencionales de Calakmul, Campeche, México. Secuelas del huracán "Isidore". *Estudios de Antropología Biológica*, 13(1).
- Harvey, C. A., Chacón, M., Donatti, C. I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, et al. (2014). Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters*, 7(2), 77-90.
- Hendrix, C. S., Glaser, S. M. (2007). Trends and triggers: Climate, climate change and civil conflict in Sub-Saharan Africa. *Political geography*, 26(6), 695-715.
- Hellin, J., Bellon, M. R., Hearne, S. J. (2014). Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *Journal of Crop Improvement*, 28(4), 484-501.
- Hernández Cerda, M.E., Torres Tapia, L.A., Valdez Madero, G. (2000). Sequía meteorológica. In *México: una visión hacia el siglo XXI*. Gay García C. Ed.; Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, 220 pp.
- Hernández Xolocotzi, E., Bello Baltazar, E. (1995). *La milpa en Yucatán: un sistema de producción agrícola tradicional* (No. 633.15 H48).
- Hertel, T. W., Rosch, S. D. (2010). Climate change, agriculture and poverty. The World Bank.
- Hibon, A., Triomphe, B., Pereira, L., Saad Alvarado, L. (1992). Rainfed maize production in Mexico: Trends, constraints, and technological and institutional challenges for researchers. México DF, CIMMYT. Series: CIMMYT Economics Working Paper.
- Hoffmann, U. (2011). *Assuring food security in developing countries under the challenges of climate change: Key trade and development issues of a fundamental transformation of agriculture* (No. 201). United Nations Conference on Trade and Development.
- IPCC, 2001c: Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, 752 págs
- Infante-Ramírez, K.D., A.M. Arce-Ibarra, E.I.J. Estrada-Lugo y A. Charles (2018). Local perception and adaptive strategies to climate variability in the southeast of the Yucatan Peninsula, Mexico. Seminario presentado en la "Communities, Conservation, and Livelihoods Conference". Halifax, Canadá 27 al 30 de mayo de 2018.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

<http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/>

Jones, P. G., Thornton, P. K. (2003). The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global environmental change*, 13(1), 51-59.

Jones, A., Bugge, C. (2006). Improving understanding and rigour through triangulation: An exemplar based on patient participation in interaction. *Journal of Advanced Nursing*, 55(5), 612-621.

Karl, T. R., Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *science*, 302(5651), 1719-1723.

Keleman, A., Hellin, J., Bellon, M. R. (2009). Maize diversity, rural development policy, and farmers' practices: lessons from Chiapas, Mexico. *Geographical journal*, 175(1), 52-70.

Kharin, V. V., Zwiers, F. W. (2000). Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere–ocean GCM. *Journal of Climate*, 13(21), 3760-3788.

Kharin, V. V., Zwiers, F. W. (2005). Estimating extremes in transient climate change simulations. *Journal of Climate*, 18(8), 1156-1173.

Klein, R. J., Schipper, E. L. F., Dessai, S. (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental science & policy*, 8(6), 579-588.

Knowles, N., Dettinger, M. D., Cayan, D. R. (2006). Trends in snowfall versus rainfall in the western United States. *Journal of Climate*, 19(18), 4545-4559.

<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3850.1>

Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R. (2008). Crop switching as a strategy for adapting to climate change. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 105-126.

Kurukulasuriya, Pradeep; Rosenthal, Shane. (2013). Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations. Environment department papers; no. 91. Climate change series. World Bank, Washington, DC. © World Bank.

Leggett, L. M. W., Ball, D. A. (2012). The implication for climate change and peak fossil fuel of the continuation of the current trend in wind and solar energy production. *Energy Policy*, 41, 610-617.

Leung, L. R., Qian, Y. (2003). The sensitivity of precipitation and snowpack simulations to model resolution via nesting in regions of complex terrain. *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1025-1043.

Li, Z., Niu, F., Fan, J., Liu, Y., Rosenfeld, D., Ding, Y. (2011). Long-term impacts of aerosols on the vertical development of clouds and precipitation. *Nature Geoscience*, 4(12), 888.

Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., Naylor, R. L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610.

López – Sierra. (2018). *MasAgro: Modernizando la agricultura tradicional en tiempos neoliberales*. <http://www.ceccam.org/node/2604>.

Luo, J. J., Masson, S., Behera, S., Yamagata, T. (2007). Experimental forecasts of the Indian Ocean dipole using a coupled OAGCM. *Journal of climate*, 20(10), 2178-2190.

Macías Macías, A. (2013). Pequeños agricultores y nueva ruralidad en el occidente de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(71).

Mardero, S., Nickl, E., Schmook, B., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., Lawrence, D. (2012). Sequías en el sur de la península de Yucatan: análisis de la

variabilidad anual y estacional de la precipitación. *Investigaciones Geográficas*, (78)19-33. ISSN 2448-7279.

Mardero, S., Schmook, B., Christman, Z., Nickl, E., Schneider, L., Rogan, J., Lawrence, D. (2014). Precipitation variability and adaptation strategies in the southern Yucatán Peninsula, Mexico: Integrating local knowledge with quantitative analysis. In *International Perspectives on Climate Change* (pp. 189-201). Springer, Cham.

Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J. O., Cicero, L., Radel, C., Christman, Z. (2018). The Uneven Influence of Climate Trends and Agricultural Policies on Maize Production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 1-20.

Maharjan, K. L., Joshi, N. P. (2013). *Climate change, agriculture and rural livelihoods in developing countries* (pp. 93-103). Dordrecht: Springer.

Martínez, E., Galindo-Leal, C. (2002). The vegetation of Calakmul, Campeche, Mexico: Classification, description and distribution. *Botanical Sciences*, (71), 7-32.

Martín-Castillo, M. (2016). Milpa y capitalismo: opciones para los campesinos mayas yucatecos contemporáneos. *LiminaR*, 14(2), 101-114.

Mendelsohn, R., Schlesinger, M. E. (1999). Climate-response functions. *Ambio*, 28(4), 362-366.

Méndez, R. M. (2015). La milpa maya yucateca en el siglo XVI: evidencias etnohistóricas y conjeturas. *Etnobiología*, 13(1), 1-25.

Mitchell, T., Tanner, T., Wilkinson, E., Roach, R., Boyd, S. (2006). Overcoming the barriers. Mainstreaming climate change adaptation in developing countries.

Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Keller, J., (2001). Hydronomic Zones for Developing Basin Water Conservation Strategies. Research Report 56, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, 30 pp.

Molle, F., (2003). Development Trajectories of River Basins—A Conceptual Framework. Research Report 72, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, 31 pp.

Molle, F., Wester, P., Hirsch, P., Jensen, J.R., Murray-Rust, H., Paranjpye, S., Zaag, P. van der, (2007). River basin development and management. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London, pp. 585–625.

Mote, P. W. (2003). Trends in temperature and precipitation in the Pacific Northwest during the twentieth century. <https://research.libraries.wsu.edu/xmlui/bitstream/handle/2376/1032/v77%20p271%20Mote.PDF?sequence=1>

Morton, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 104(50), 19680-19685.

Morton, A. D. (2010). Reflections on uneven development: Mexican revolution, primitive accumulation, passive revolution. *Latin American Perspectives*, 37(1), 7-34.

Nadal, A., Wise, T. (2005). El comercio de maíz entre México y EE. UU. en el marco del NAFTA. *Globalización y medio ambiente: Lecciones de las Américas*, 49-92.

NASA 2017. <https://climate.nasa.gov/evidence/>
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
<https://www.ncdc.noaa.gov/indicators/>

National Research Council (NRC) 2006. *Surface Temperature Reconstructions For the Last 2,000 Years*. National Academy Press, Washington, D.C.

Negri, L. A., Faustino Manco, J., Jiménez Otárola, F. (2009). La Cogestión Adaptativa de Cuencas Hidrográficas como Contribución a la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático en América Central. *Revista Electrónica Red latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas (REDLACH)-FAO*. 1; 19-28.

O'Brien, K. L., Leichenko, R. M. (2000). Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global environmental change*, 10(3), 221-232.

Ogburn, S. P. (2013). Climate change is altering rainfall patterns worldwide. *Sci Am*. ISSN, 0036-8733. <https://www.scientificamerican.com/article/climate-change-is-altering-rainfall-patterns-worldwide/>

Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Rojano-Aguilar, A., Iñiguez-Covarrubias, M. (2012). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México*, 4, 71-119.

Onyutha, C., Tabari, H., Rutkowska, A., Nyeko-Ogiramoi, P., Willems, P. (2016). Comparison of different statistical downscaling methods for climate change rainfall projections over the Lake Victoria basin considering CMIP3 and CMIP5. *Journal of Hydro-environment Research*, 12, 31-45.

Orellana, R., Espadas, C., Conde, C., Gay, C. Atlas: Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatan. (2009). Centro de Investigación Científica de Yucatan, A.C. Yucatan. ISBN 978-607-7823-01-8

Otero, G. (2018). *Neoliberalism revisited: Economic restructuring and Mexico's political future*. Routledge.

Paeth, H., Hall, N. M., Gaertner, M. A., Alonso, M. D., Moumouni, S., Polcher, Gaye, A. T. et al. (2011). Progress in regional downscaling of West African precipitation. *Atmospheric science letters*, 12(1), 75-82.

Pal, I., Anderson, B. T., Salvucci, G. D., Gianotti, D. J. (2013). Shifting seasonality and increasing frequency of precipitation in wet and dry seasons across the US. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 4030-4035.

Palmer-Rubin, B. (2010). Decentralized agricultural support programs in Mexico: resource allocation and obstacles to access for low-income producers. Mexican Rural Development Research Reports, No. 6, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Mexico Institute.

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Tercer informe de evaluación, 2001. <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/>

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Cuarto informe de evaluación, 2007. https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Quinto informe de evaluación, 2014. https://www.ipcc.ch/report/ar5/index_es.shtml

Parry, M.L., Carter, T.R. (1989). An assessment of the effects of climatic change on agriculture. *Climatic Change*, 15(1-2), 95-116.

Programa Especial de Cambio Climático PECC 2009 – 2012. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5107404&fecha=28/08/2009

Slater, R., Wiggins, S., Harman, L., Ulrichs, N., Scott, L., Knowles, M., Pozarny P., Calcagnini, G. (2016). Strengthening coherence between agriculture and social protection: Synthesis of seven country case studies. FAO, Rome, 2016. <http://www.fao.org/3/a-i5526e.pdf>

Raman, V. V. S., Iniyar, S., and Goic, R. (2012). "A review of climate change, mitigation and adaptation." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 878-897.

Ramaswamy, V., Schwarzkopf, M. D., Randel, W. J., Santer, B. D., Soden, B. J., & Stenchikov, G. L. (2006). Anthropogenic and natural influences in the evolution of lower stratospheric cooling. *Science*, 311(5764), 1138-1141.

Reddy, V. R., Pachepsky, Y. A. (2000). Predicting crop yields under climate change conditions from monthly GCM weather projections. *Environmental Modelling & Software*, 15(1), 79-86.

Reilly, J.M., Baethgen, W., Chege, F., Van de Geijn, F.E., Lin, S.C., Iglesias, E., Kenny A., Patterson D., Rogasik, J., Roetter, R., Rosenzweig, C., Sombroek, W., Westbrook, J. Agriculture in a changing climate: Impacts and adaptation. In: *Climate change 1995: intergovernmental panel on climate change impacts, adaptations and mitigation of climate change. Scientific-Technical Analyses*. Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss H.R., Eds.; Cambridge University Press. 1996; pp. 427-467.

Rello, F., Pérez, A. (1996). Liberalización económica y política agrícola: el caso de México. Barrón, A., y JM Trujillo (coords.), La agricultura mexicana y la apertura comercial, Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Risbey, J., Kandlikar, M., Dowlatabadi, H., Graetz, D. (1999). Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(2), 137-165.

Rodríguez-Pose, A., Sánchez-Reaza, J. (2005). Economic polarization through trade: Trade liberalization and regional growth in Mexico. *Spatial inequality and development*, 237-259.

Rogan, J., Schneider, L., Christman, Z., Millones, M., Lawrence, D., Schmook, B. (2011). Hurricane disturbance mapping using MODIS EVI data in the southeastern Yucatán, Mexico. *Remote Sensing Letters*, 2(3), 259-267.

Rosenberg, N. J. (1992). Adaptation of agriculture to climate change. *Climatic Change*, 21(4), 385-405.

Rosenzweig, C., Tubiello, F. N., Goldberg, R., Mills, E., Bloomfield, J. (2002). Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environmental Change*, 12(3), 197-202.

Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., Ramírez Díaz, J. L., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Manríquez Olmos, et al. (2011). Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE2), 309-323.

Semenov, V., Bengtsson, L. (2002). Secular trends in daily precipitation characteristics: Greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. *Climate Dynamics*, 19(2), 123-140.

Schmook, B., van Vliet, N., Radel, C., de Jesús Manzón-Che, M., McCandless, S. (2013). Persistence of swidden cultivation in the face of globalization: a case study from communities in Calakmul, Mexico. *Human Ecology*, 41(1), 93-107.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP.
<https://www.gob.mx/siap>

Silva, J.A., Eriksen, S., Ombe, Z.A. (2010). Double exposure in Mozambique's Limpopo River basin. *The Geographical Journal*, 176(1), 6-24.

Skoufias, E., Vinha, K. (2012). Timing Is Everything: How Weather Shocks Affect Household Welfare in Rural Mexico. *The Poverty and Welfare Impacts of Climate Change*, 77.

Skoufias, E., Vinha, K. (2013). The impacts of climate variability on household welfare in rural Mexico. *Population and Environment*, 34(3), 370-399.

Smith, J. B., Schellnhuber, H. J., Mirza, M. M. Q., Fankhauser, S., Leemans, R., Erda, Safriel, U. (2001). Vulnerability to climate change and reasons for concern: a synthesis. *Climate change*, 913-967.

Smit, B., Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292.

Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(2), 4-23.

- Stephens, G. L., Hu, Y. (2010). Are climate-related changes to the character of global-mean precipitation predictable?. *Environmental Research Letters*, 5(2), 025209.
- Sweeney, S., Steigerwald, D. G., Davenport, F., Eakin, H. (2013). Mexican maize production: Evolving organizational and spatial structures since 1980. *Applied Geography*, 39, 78-92.
- Terán, S., Heilskov Rasmussen, C., May Cauich, O. (1998). *Las plantas de la milpa entre los mayas: etnobotánica de las plantas cultivadas por campesinos mayas en las milpas del noreste de Yucatán* (No. F 1435.3. A37. T476).
- Tinoco-Rueda, J. A., Gómez-Díaz, J. D., Monterroso-Rivas, A. I. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 161-168.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, P. Zhai, (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *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.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. https://www.int-res.com/articles/cr_oa/c047p123.pdf
- Turrent – Fernández. (2014). Producción de maíz bajo riego en el Sur- Sureste de México: II Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agricultura Técnica en México*, 30(2), 205-221.
- Urwin, K., Jordan, A. (2008). Does public policy support or undermine climate change adaptation? Exploring policy interplay across different scales of governance. *Global environmental change*, 18(1), 180-191
- Valderrama, C. M. (2004). Identidad y Modernización Agrícola en Los Chenes, Campeche, México. *Perspectivas latinoamericanas*, 1, 123-143.
- Vergara, W., Rios, A. R., Trapido, P., Malarín, H. R. Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: impactos sistémicos y posibles respuestas. Banco Interamericano de Desarrollo, No.IDB-DP-329. 2014, pp 1-9. Disponible en línea: http://latinclima.org/sites/default/files/documentos/agricultura_y_cambio_climatico_bid.pdf
- Verhulst, N., Govaerts, B., Sayre, K. D., Sonder, K., Romero-Perezgrovas, R., Mezzalama, M., Dendooven, L. (2011). Conservation agriculture as a means to mitigate and adapt to climate change, a case study from Mexico. *Designing agricultural mitigation for smallholders in developing countries*.
- Walt, M., Voss, H. D., Pickett, J. (2002). Electron precipitation coincident with ELF/VLF wave bursts. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 107(A8).
- Wise, T. A. (2009). *Agricultural dumping under NAFTA: Estimating the costs of US agricultural policies to Mexican producers*. Tufts University.
- Zhang, X., Zwiers, F. W., Hegerl, G. C., Lambert, F. H., Gillett, N. P., Solomon, S., Nozawa, T., et al. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 448(7152), 461.
- Zhang, Q., Xu, C. Y., Zhang, Z. (2009). Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1-2), 89-99.

