

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis

“Efecto de cambio climático antropogénico
sobre el cultivo de nueve razas de maíz (*Zea
mays L.*) en Chiapas, México”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN DESARROLLO
SUSTENTABLE Y GESTIÓN DE RIESGOS

PRESENTA:

ALEJANDRO VÁZQUEZ MORENO

DIRECTOR

DRA. TAMARA MILA RIOJA PARADELA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

CODIRECTOR

DR. ARTURO CARRILLO REYES
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

ASESORES

DRA. CAROLINA ORANTES GARCÍA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

DR. EDUARDO ESPINOZA MEDINILLA
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

SEPTIEMBRE, 2024



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS AUTÓNOMA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 06 de septiembre de 2024
Oficio No. SA/DIP/0639/2024
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Alejandro Vázquez Moreno
CVU: 1197870
Candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo
Sustentable y Gestión de Riesgos
Facultad de Ingeniería
UNICACH
Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Efecto de cambio climático antropogénico sobre el cultivo de nueve razas de maíz (*Zea mays L.*) En Chiapas, México** cuya Directora de tesis es la Dra. Tamara Mila Rioja Paradela (CVU: 101119) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"


Dra. Carolina Orantes García
Directora



C.c.p. Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos, Directora de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Ángel Estrada Martínez, Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

RJAG/COG/hyb/igp/gr

2024 Año de Felipe Carrillo Puerto
BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.



Secretaría Académica
Dirección de Investigación y Posgrado
Libramiento Norte Poniente No. 1150
Colonia Lajas Maciel C.P. 29039
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
Tel:(961)6170440 EXT.4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho amor y cariño a mis padres por su apoyo incondicional al brindarme la oportunidad de obtener una carrera profesional y con ello abrirme camino en este nivel académico, así como en lo laboral.

A mi amada esposa, Claribet Muñoa Chacón, por creer en mi capacidad y apoyarme en todo momento, a pesar de los momentos difíciles que hemos atravesado siempre ha estado brindándome su amor y comprensión para salir adelante.

A mis queridos hijos, Sophie y Alejandro, por ser mi fuente de motivación e inspiración, recordándome que “la victoria favorece a los que se preparan” (Amat Victoria Curam). Quiero ser un padre preparado para así poder luchar por un mejor futuro para ellos.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Tamara Mila Rioja Paradela por su acertada dirección, atención y acompañamiento en todo momento para la realización de esta tesis. Gracias a sus enseñanzas, correcciones y sugerencias este documento se concluyó en tiempo y forma, dejándome una gran experiencia satisfactoria, así como conocimientos valiosos.

Al Dr. Arturo Carrillo Reyes por compartirme sus conocimientos, así como su orientación, paciencia y un espacio de trabajo para la obtención de los resultados de esta tesis. De igual manera, por sus comentarios y recomendaciones para el mejoramiento de este documento.

A los doctores: Carolina Orantes García, Eduardo Espinoza Medinilla, Jorge Paz Tenorio, Dulce María Pozo Gómez, por regalarme un poco de su valioso tiempo para la revisión de esta tesis que, a través de sus valerosos consejos, comentarios y sugerencias se mejoró dicho documento de investigación.

A la Ing. Vianey Ozuna Molina por su preocupación, dedicación, seguimiento y apoyo durante mi formación académica. De igual manera, por haber brindándome espacios de trabajo para la elaboración de esta tesis.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero recibido durante mi preparación como maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos en la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	1
II.	INTRODUCCIÓN	2
III.	MARCO TEÓRICO	5
	5.1 DESARROLLO SUSTENTABLE	5
	5.2 MAÍZ (<i>Zea mays</i>).....	6
	5.2.1 Taxonomía.....	7
	5.2.1.1 Grupos raciales y razas de maíz (<i>Z. mays</i>) en México.....	8
	5.2.2 Origen y distribución del maíz (<i>Z. mays</i>) en México.....	10
	5.2.3 Fisiología reproductiva.....	13
	5.2.4 Condiciones ambientales para el cultivo del maíz (<i>Z. mays</i>) en México y Chiapas	14
	5.2.5 Producción del maíz (<i>Z. mays</i>) en México y en Chiapas	18
	5.2 CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO.....	19
	5.2.1 Efectos del cambio climático antropogénico en la agricultura en México	21
	5.2.2 Efectos del cambio climático en el cultivo de maíz (<i>Z. mays</i>) en México.....	22
IV.	ANTECEDENTES	23
	6.1 Internacional.....	23
	6.2 Nacional	24

6.3 Estatal.....	25
V. OBJETIVOS	26
VI. HIPÓTESIS	27
VII. MÉTODOS.....	29
9.1 Descripción del área de estudio	29
9.1.1 Localización.....	29
9.1.2 Clima.....	30
9.1.3 Precipitación pluvial.....	31
9.1.4 Relieve.....	32
9.1.5 Cultivo del maíz (<i>Z. mays</i>).....	33
9.2.1 Base de datos de registros espaciales de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>) en Chiapas	34
9.2 Obtención capas ambientales correspondientes a los meses del cultivo de las nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>).....	35
9.3 Condiciones ambientales y superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>), mediante MaxEnt.....	37
9.4 Superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>), a partir de la literatura científica, mediante un análisis geográfico.	39
9.5 Factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>), bajo escenarios de cambio climático antropogénico, mediante MaxEnt.	40
VIII. RESULTADOS	42

10.1 Condiciones ambientales adecuadas y factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>) en Chiapas.....	42
10.1.1 Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico).....	42
10.1.2 Grupo Dentados Tropicales (Cubano Amarillo, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande).....	44
10.1.3 Grupo Maduración Tardía (Comiteco, Olotillo y Olotón).....	55
10.2 Factibilidad de cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>) en Chiapas, bajo escenarios de cambio climático antropogénico.....	61
10.2.1 Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico).....	61
10.2.2 Grupo Dentados Tropicales (Cubano Amarillo, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande).....	67
10.2.3 Grupo Maduración Tardía (Comiteco, Olotillo y Olotón).....	102
IX. DISCUSIONES	124
11.1 Condiciones ambientales adecuadas y factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>) en Chiapas.....	124
11.2 Factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (<i>Z. mays</i>), bajo escenarios de cambio climático antropogénico, en Chiapas.....	129
X. CONCLUSIONES	134
XI. LITERATURA CITADA	136

I. RESUMEN

El cultivo del maíz (*Zea mays*) es de gran importancia para México, tanto desde el punto de vista cultural, económico y alimentario. No obstante, durante los últimos 20 años en el sureste de México, su cultivo ha enfrentado fuertes presiones ecológicas, económicas y sociales que han conducido a un fuerte deterioro social y ecológico del campo. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de cambio climático antropogénico sobre la factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas (pertenecientes a los grupos raciales tropicales precoces, dentado tropical y maduración tardía) de maíz que actualmente se distribuyen en Chiapas, México. Para ello, primero se construyó una base de datos georreferenciados de la presencia histórica y actual de las nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas; posteriormente, se generaron capas ambientales (con variables de elevación, climáticas y bioclimáticas) correspondientes a los meses de cultivo de cada raza mediante el software R y su interface gráfica Rstudio, por un lado para, determinar las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de las nueve razas de maíz se utilizó el paquete “raster” y sus dependencias en el software R y su interface gráfica Rstudio, y por otro, modelar la factibilidad actual y la factibilidad bajo escenarios de cambio climático del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz, utilizando para esto último el algoritmo MaxEnt. Los resultados indicaron que las nueve razas de maíz disminuyen drásticamente su superficie de factibilidad del cultivo de temporal para los años 2060 y 2100 bajo escenarios de cambio climático lo que sugiere que es importante llevar a cabo acciones de conservación (manejo sustentable, banco genético, entre otros) de estas razas.

Palabras clave: altitud, deterioro social, maíz, MaxEnt, precipitación pluvial, presión ecológica, temperatura.

II. INTRODUCCIÓN

La agricultura es la fuente básica de suministro de alimentos de todos los países del mundo, sin importar si es una nación subdesarrollada o desarrollada (Bula, 2020). Por otro lado, la agricultura constituye una actividad capaz de satisfacer múltiples demandas sociales, en áreas tan diversas como la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de paisajes tradicionales, la producción de alimentos, la salvaguardia de parte del patrimonio cultural de un país, el mantenimiento de la vitalidad de los espacios rurales, entre otros (Gómez-Limón *et al.*, 2008). Sin embargo, esta actividad se ve seriamente amenazada por el cambio climático antropogénico, ya que el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación y los eventos de sequías terminan por reducir la producción de los cultivos (Nelson *et al.*, 2009). Este fenómeno climático ocasiona variaciones considerables entre las superficies sembradas y cosechadas, incrementándose el déficit de humedad en el suelo tornando condiciones pocos favorables para los cultivos, especialmente para aquellos de temporal, es decir, que dependen únicamente del clima para su éxito (Granados-Ramírez & Longar, 2008).

El maíz, es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal (Asturias, 2004, citado en Ahumada *et al.*, 2014), es el punto de origen de la vida y de la cultura de los pueblos mesoamericanos, es corazón de la historia y el presente de los pueblos de México, de su economía, de sus religiones e ilusiones (Ribeiro, 2004, citado en Ahumada *et al.*, 2014). En México, el maíz está íntimamente ligado a la nixtamalización con cal que permite la elaboración de tortillas, también incrementa el contenido de calcio y la asimilación de proteína, lo que permitió que los pobladores dependieran intensamente del maíz sin problemas nutricionales (Perales, 2012).

De acuerdo con Lobell *et al.*, 2011; Kang & Banga, 2013; Chauhan *et al.*, 2014 (como se citó en Hellin *et al.*, 2014), el maíz, a nivel global, bajo un escenario de aumento de las temperaturas, disminución de las precipitaciones dará lugar a más pérdidas de cosechas a corto plazo y disminución de la producción a largo plazo. El incremento de la temperatura ambiental provocará problemas en la polinización del maíz, ya que en la etapa de floración en el maíz, que involucra la diseminación del polen y la aparición de los estigmas se ven afectados por los daños provocados por las altas temperaturas (Rodríguez, 2016).

No obstante, durante los últimos 20 años en el sureste de México, se han dado fuertes presiones ecológicas, económicas y sociales que han afectado la calidad de vida y el desarrollo de la población rural. Esta crisis ha provocado una creciente presión sobre distintos recursos naturales, tales como el maíz, conduciendo a un fuerte deterioro social y ecológico del campo (Soto *et al.*, 2008). Gran parte de las áreas de temporal del maíz están abandonadas por falta de planificación, tecnología apropiada e inversión, aunado a pobres políticas públicas que han restado importancia a la agricultura (Soto *et al.*, 2008)

Aunado a ello, Murray-Tortarolo (2021), señala que el incremento reciente en sequías, tormentas e inundaciones en México es una consecuencia directa del cambio climático global (CC), y sugiere que la presencia de climas extremos en el país se exacerbará en el futuro, ocasionado un efecto directo sobre la agricultura de temporal, ya que ésta depende directamente del clima y de su variabilidad.

La adaptación al cambio climático (CC), resulta de una serie de acciones que se toman a partir de los cambios en las condiciones climáticas locales o regionales. La adaptación no es algo nuevo, a lo largo de la historia los seres humanos han modificado sus prácticas agrícolas

para responder a condiciones económicas, sociales y ambientales cambiantes (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, CEDRSSA, 2019).

Actualmente, no existen estudios que determinen el efecto del cambio climático antropogénico sobre las razas de maíz distribuidas en el Estado de Chiapas, no obstante que este cultivo es de gran importancia para su gente. Es por ello, que el presente estudio pretendió por primera vez determinar el efecto de cambio climático antropogénico sobre la factibilidad para el cultivo de temporal de nueve razas de maíz que actualmente se distribuyen en Chiapas, para los años del 2060 y del 2100, a partir del uso del algoritmo de MaxEnt (Máxima Entropía), contrastando los factores climáticos y bioclimáticos con las ocurrencias (registros) de la especie en el Estado (Guisan & Thuiller, 2005). La información generada a partir de este estudio será de gran relevancia para poder identificar aquellas áreas geográficas de Chiapas donde el cultivo de las razas adaptados localmente pueden sufrir efectos negativos con el cambio climático (CC), y con ello contribuir a generar información clave para investigaciones y protocolos de conservación (manejo sustentable) de las mismas que incluyan estrategias de adaptación biológica, reproducción y de prácticas culturales para evitar la pérdida de estos recursos genéticos, culturales, alimentarios y económicos frente al CC (Ureta *et al.*, 2011; Kristin & Perales, 2019; Rivera-Aguirre *et al.*, 2021).

III. MARCO TEÓRICO

5.1 DESARROLLO SUSTENTABLE

El concepto de desarrollo sustentable, como se conoce actualmente, tiene su inicio en 1983, con la creación de la Comisión Sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (creada por la ONU). Mediante el informe llamado Nuestro Futuro Común (Informe de Brundtland) se señala que la sociedad debe modificar su estilo y hábitos de vida, si no quiere que la crisis social y la degradación de la naturaleza se extiendan de manera irreversible (Ramírez *et al.*, 2004). A partir de ahí se difunde el término de desarrollo sustentable, como “aquel que responde a las necesidades del presente de forma igualitaria, pero sin comprometer las posibilidades de sobrevivencia y prosperidad de las generaciones futuras” (Foladori & Tommasino, 2005).

El desarrollo sustentable es planteado desde una perspectiva ecológica y ética donde hay relación entre sistemas ecológicos que son dinámicos y que tienen una gran cobertura para consolidar los elementos de la vida humana de manera indefinida, la posibilidad de crecimiento y multiplicación, así como establecer límites en las actividades humanas para no poner en peligro la diversidad y funciones del sistema ecológico (Costanza, 1991).

Por otro lado, Hernández *et al.* (2016) mencionan que el desarrollo sustentable es el cambio o crecimiento económico haciendo uso eficiente de los recursos naturales con las políticas implementadas, tratando de lograr más objetivos con los mismos o menos recursos, reconociendo que la naturaleza nos provee de bienes y servicios.

5.2 MAÍZ (*Zea mays*)

El maíz (*Z. mays*) es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal (Asturias, 2004, citado en Ahumada *et al.*, 2014). Como lo mencionan Guevara-Hernández *et al.* (2019), el maíz ha evolucionado a partir de su mejoramiento por el ser humano, lo cual lo ha llevado a depender de él. Ribeiro (2004, citado en Ahumada *et al.*, 2014) señala que el maíz es el punto de origen de la vida y de la cultura de los pueblos mesoamericanos, es corazón de la historia y el presente de los pueblos de México, de su economía, de sus religiones e ilusiones. Dicho autor menciona que, algunos pueblos indígenas mexicanos aseveran que el maíz representa 10 mil años de cultura.

En México, el maíz es el alimento básico por excelencia, de forma tradicional se consume en distintas presentaciones, además de poseer un fuerte contenido socio-cultural en las culturas de los pueblos originarios (Massiue & Lechuga, 2002) este grano es uno de los más importantes en el país, y es el que más se produce a nivel local, regional e incluso el que más se comercializa a nivel mundial por macroempresas agroindustriales (Quevedo *et al.*, 2017). El maíz como alimento central en la dieta de las culturas originarias continua vigente y es en la actualidad uno de los granos más importantes, de mayor producción y comercialización a nivel global; dicho alimento se produce en masa por grandes empresas agroindustriales (Ahumada *et al.*, 2014).

5.2.1 Taxonomía

El maíz es una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia de la Poaceace (Paliwal, 2001a, citado en Sánchez, 2014; Sánchez, 2011). La Poaceace, pertenece a la familia gramíneas. Éstas son importantes en la alimentación humana y de animales domesticados y silvestres, ya que son productos de cereales, caña de azúcar y de forrajes primarios (Watson & Dallwitz, 1992, citado en Clark & Sanchez-Ken, 1999).

La clasificación del género *Zea* ha cambiado con el tiempo, ya que en un inicio los primeros ordenamientos emplearon aspectos morfológicos resultantes de la selección humana durante el proceso de domesticación (Mangelsdorf *et al.*, 1964; Harshberger, 1986; Wilkes, 1967, citado en Kato *et al.*, 2009). Al principio, como lo mencionan Sánchez & Pérez-Urria (2014), de acuerdo a los taxónomos, los géneros *Zea* y *Euchlaena* se clasificaron como dos separados, sin embargo, debido al estudio realizado por Reeves & Mangelsdorf en 1942 (citado en Kato *et al.*, 2009), hoy en día se los considera como un único género, basándose en la compatibilidad entre esos grupos de plantas y los estudios citogenéticos.

Estudiar la diversidad de los maíces es un problema importante, ya que se pueden distinguir distintos tipos y niveles para ello (Perales & Hernández, 2005). De acuerdo con estos autores, al referirse a la diversidad dentro de una especie, desde el punto de vista botánico se pueden utilizar los conceptos de subespecie, variedad (o variedad botánica), forma y raza. El término de raza se ha utilizado en el maíz para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético, así como de historia de cultivo, atributos que permiten diferenciarlas como grupo (Anderson & Cutler, 1942; Harlan & de Wet, 1971; Hernández & Alanís, 1970, citados por la Comisión Nacional para el

Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO, 2020). Actualmente se describen 300 distintas razas de maíz en el Continente Americano.

5.2.1.1 Grupos raciales y razas de maíz (*Z. mays*) en México

La diversidad del maíz es producto de milenarias prácticas agrícolas vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma nativo (Mera & Mapes, 2009; Mejía & Serratos, 2010; Fernández, Morales & Gálvez, 2011; Turren *et al.*, 2008, citado en Ahumada *et al.*, 2014). La primera descripción completa de la diversidad del maíz en México fue publicada en 1951 por Wellhausen *et al.* Estos autores describieron 25 razas (Wellhausen *et al.*, 1951, citado en Perales & Hernández, 2005). El número de razas ha variado con el paso del tiempo, Sánchez *et al.* (2000, citado en Perales & Hernández, 2005) consideran un total de 60 razas de maíz en México, sin embargo, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2020), reporta un total de 64 razas, 59 de las cuales se consideran nativas y cinco que fueron descritas inicialmente en otras regiones, pero que también se han colectado o reportado en el país. Las razas de maíz que existen en México se han agrupado con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos complejos raciales (Goodman & Mck Brid, 1977; Ruíz *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2000, citado en CONABIO, 2020).

Con base a la información recolectada por Rosado & Villasante (2021) y los resultados del proyecto global de maíces realizado por CONABIO (2020), las razas de maíz que existen en México se agrupan de la siguiente manera:

Grupo cónico.- Este grupo está integrado por 15 razas que son: Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Cónico Norteño, Dulce, Elotes cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero de Jalisco, Palomero Tulqueño, Uruapeño y Palomero de Chihuahua. Este conjunto se distribuye en los Estado de: México, Puebla, Michoacán y Oaxaca. Se caracterizan por tener una forma cónica o piramidal. Tienen usos como: hacer tamales, tortillas, antojitos, pozoles y palomitas.

Grupo de Chihuahua.- Este grupo está integrado por seis razas que son: Apachito, Azul, Complejo Serrano de Jalisco, Cristalino de Chihuahua, Gordo y Mountain Yellow. Este conjunto se distribuye en los Estados de: Chihuahua, Durango, Sonora, Sinaloa y Jalisco. Se caracterizan por tener una mazorca alargada y cilíndrica con grano semicristalino, color amarillo, blanco y rosado. Tiene usos como: hacer pinole, tortilla, atole y tesguino.

Grupo Ocho Hileras.- Este grupo está integrado por 11 razas que son: Blando, Onaveño, Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Tabilla de Ocho, Jala, Zamorano Amarillo, Ancho y Bolita. No se tiene bien definido la distribución de estas razas. Se caracterizan por tener una mazorca larga de 8 a 12 hileras con granos, excepto el de bolita. Sus usos principales son: hacer elotes, tlayudas, téjate, galletas, pozole, huachales, tejuino, huajalotes, rituales y forraje.

Grupo Chapalote.- Este grupo está integrado por cuatro razas que son: Chapalote, Dulcillo del Noreste, Elotero de Sinaloa y reventador. Dichas razas están distribuidas en los Estados de Nayarit, Sonora, Sierra Madre Occidental, Sinaloa, Guerrero y Michoacán. Se caracterizan por tener mazorca alargada con granos de textura cristalina, harinosa y dulce. Sus principales usos son: hacer palomitas, pinole, ponteduro, elotes y esquites.

Grupo Tropicales precoces.- Este grupo está integrado por cuatro razas que son: Conejo, Nal-Tel, Ratón, Zapalote Chico. Su distribución geográfica es: Yucatán, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, Guerrero, Michoacán Nuevo León y Tamaulipas. En este grupo se caracterizan por tener una mazorca semicilíndrica con grano cristalino, semidentado y dentado de color blanco, amarillo y azul. Sus usos son: hacer atole y totopos.

Grupo Dentados tropicales.- Este grupo está integrado por 12 razas que son: Celaya, Tepecintle, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Vandeño, Zapalote Grande, Nal-Tel de Altura, Pepitilla, Chiquito, Choapaneco, Cubano Amarillo. Sus mazorcas son medianas a larga y cilíndrica de 12 a 16 hileras con granos dentados. El uso principal de estas razas es en programas de mejoramiento genéticos a nivel mundial.

Grupo Maduración tardía.- Este grupo está integrado por 11 razas que son: Dzit-Baca, Comiteco, Coscomatepec, Motozinteco, Olotillo, Olotón, Tehua, Negro de Chimaltenango, Quicheño, Serrano, Mixeño y Serrano Mixe. Su distribución se ve reflejada en los Estados de Chiapas, Oaxaca y Yucatán. Dichas razas son utilizadas principalmente para hacer tortilla, elote, atole, pozol, botanas, tamales y forraje.

5.2.2 Origen y distribución del maíz (*Z. mays*) en México

Las más antiguas civilizaciones de América (desde los Olmecas y Teotihuacanos en Mesoamérica, hasta los Incas y Quechuas en la región andina de Sudamérica) estuvieron acompañadas en su desarrollo por esta planta (Serratos, 2009). El maíz se ha cultivado durante miles de años, y se ha adaptado a los cambios ambientales, evolucionando lentamente (Gómez *et al.*, 2010). Aunque no se han resuelto por completo todos los detalles que permitan

explicar su origen y domesticación, los científicos tienen un consenso: el ancestro directo del maíz es el Teocintle.

De acuerdo con Bonfil (1987, citado en Ahumada *et al.*, 2014), en los territorios mexicanos la domesticación de cultivos se produjo hace 7,500 y 5,000 años antes de nuestra era. Una de las especies más importantes es el maíz que sigue vigente a través de la tradición oral y la praxis agrícola de los pueblos indígenas (Ahumada *et al.*, 2014). Por otra parte, Rosado & Villasante (2021) mencionan que, fue en la cueva de Guilá Naquitz, Oaxaca, donde se halló la prueba más antigua que se tiene de su existencia. La cual tiene aproximadamente 7,000 años de antigüedad, aunque se asevera que su cultivo se remonta a más de 10,000 años. No siempre se le llamó maíz. Antes de la llegada de los españoles se le conocía como centli. Además, a través del recorrido que tuvo por América, recibió diversos nombres como: choclo, jojoto, corn, milho o elote. Y no fue hasta la llegada de los conquistadores que se le llamó mayormente como lo conocemos hoy en día (Rosado & Villasante, 2021).

Con respecto a la domesticación y diversificación del maíz, Kato *et al.* (2009), señalan lo siguiente:

...“existen dos teorías alternativas: a) la que propone que el maíz tuvo un origen multicéntrico, es decir, que existieron varios centros de domesticación a partir de diferentes poblaciones de teocintle hace unos 8,000 años y; b) la teoría del evento único de domesticación (unicéntrica) que propone que las poblaciones del teocintle de la raza Balsas o subespecie *Zea mays* (ssp.) *parviglumis* localizadas en el centro de la cuenca Balsas (oriente de Michoacán, suroeste del estado de México y norte de Guerrero) dieron origen al maíz. Estas dos teorías están asociadas a cómo se originó

y diversificó el maíz en sus diferentes formas para adaptarse a condiciones ambientales y culturas específicas”.

Ante la conquista de los españoles, las poblaciones fueron obligadas a emigrar hacia las montañas que conforman pequeños valles separados por la orografía que separa zonas aisladas con condiciones climáticas y de suelos muy específicas, definidas como nichos ecológicos, donde las etnias llevaron sus culturas, entre ellas la cultura del maíz (Muñoz, 2003; Boege, 2008, citado en Gómez *et al.*, 2010); estos pueblos indígenas han preservado el cultivo del maíz al ser poseedores de conocimientos tradicionales sobre la interpretación de la naturaleza para pronosticar el temporal y las fechas indicadas para limpia, siembra, cosecha y almacenaje del maíz y otras plantas asociadas a su cultivo, imbricadas, en secuencias de actividades programadas en su calendario agrícola tradicional (Urquijo, 2010; Hernández, 2007, como se citó en Ahumada *et al.*, 2014).

5.2.2.1 Presencia y distribución de las razas de maíz (*Z. mays*) en el Estado de Chiapas, México

Perales & Hernández (2005) describen que, en las colectas del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se registraron 14 razas de maíz en Chiapas, pero hoy en día, se registran 23 razas. De estas razas sólo 11 tienen más de siete colectas (o sea >1% del total de las colectas) con identidad para raza, por lo que se puede considerar que la presencia de las otras razas en Chiapas no está bien establecida (Hernández & Perales, 2005). El Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB, 2023), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (CONABIO, 2015); Hernández & Perales (2005) señalan que, las razas con presencia bien establecida en el estado de Chiapas son específicamente: Comiteco, Cubano Amarillo, Nel-Tel, Olotillo, Olotón, Tehua, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño, Zapolote Chico y Zapolote Grande.

El maíz de Chiapas constituye un conglomerado regional distinto, caracterizado por madurez tardía, plantas altas, con 23 ó 28 hojas por planta, muchas ramas espigadas, mazorcas largas y extrema sensibilidad al fotoperíodo y la temperatura (Bretting *et al.*, 1990, citado en Brush & Perales, 2007). Por encima de los 1,800 metros sobre el nivel del mar (msnm), las dos razas más comunes en Chiapas son el Olotón y el Comiteco. En México, el Olotón solo está presente en Chiapas en las tierras altas, y el Comiteco, probablemente autóctono en Chiapas, no es común en otras partes de México (Brush & Perales, 2007). De acuerdo con Brush & Perales (2007), tres razas son las más predominantes en el estado de Chiapas, y todas dependientes de la altitud: el Tuxpeño por debajo de los 900 msnm, el Comiteco en las altitudes intermedias (900 - 2,000 msnm) y el Olotón por encima de los 2,000 msnm.

5.2.3 Fisiología reproductiva

El maíz (*Z. mays*) es una planta hermafrodita, lo que significa que produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. La panoja (flor masculina) produce polen, mientras que la mazorca (flor femenina) produce óvulos que se convierten en la semilla. Entre las flores hay una separación de un metro, lo que puede contribuir al desafío de una polinización exitosa. La panoja puede producir más de 1,000,000 de granos de polen, y la mazorca puede producir más de 1,000 estigmas (Endiocott *et al.*, 2015).

Cuando las condiciones de temperatura y humedad son óptimas el polen, de manera discontinua, se desprende durante un período de aproximadamente cinco a ocho días. El polen tiene una vida útil de 20 minutos aproximadamente, después de que éste se desprende de la planta cayendo a una altura de 6 a 12 metros, sin embargo, sólo el 97% de los granos producidos son fertilizados con polen de otra planta, por el transporte del mismo por medio del viento (Endioccott *et al.*, 2015).

De acuerdo con el autor anterior, los estigmas emergen de la chala durante tres a cinco días, incluso puede llegar hasta siete días hasta que intercepte los granos de polen. Un mínimo de cinco granos de polen debe caer en cada estigma e iniciar el crecimiento del tubo polínico para garantizar que el material genético de uno de estos granos de polen tenga éxito y fertilice completamente el óvulo.

5.2.4 Condiciones ambientales para el cultivo del maíz (*Z. mays*) en México y Chiapas

El maíz abarca una gran variedad de líneas y tipos de plantas que por sus características exigen ciertas condiciones de clima y suelo. Pero, en general el maíz exige un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas. La mayoría de las variedades de maíz en México y en Chiapas se cultivan en regiones de temporal, de clima caliente y clima tropical húmedo, pero no se adapta bien a regiones semiáridas, con granizo y con heladas, los cuales afectan considerablemente al cultivo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, 1997). En términos generales, y para la gran mayoría de las razas (aunque hay excepciones), para una buena producción de maíz, la temperatura debe oscilar entre los 20° y 30° C (INEGI, 1997).

Por otro lado, Ortigoza *et al.* (2019), mencionan que para la germinación, la temperatura media diurna mínima debería ser no menos de 10 °C, siendo la óptima entre 18 y 20 °C. Para el crecimiento soportan temperaturas como mínimo de 15 °C y como máxima 40 °C, siendo la ideal entre 20 a 30 °C, y con días soleados y noches frías.

Uno de los éxitos del cultivo del maíz se debe a diferentes factores tanto físicos como de la implementación de técnicas; la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2017) menciona que la semilla debe sembrarse en suelos bien preparados como en el suelo con mínima labranza (milpa). La siembra se puede realizar de forma manual depositando la semilla en surcos o con maquinaria a una profundidad de 5 cm y con una separación entre hileras de 60 a 80 cm y una separación entre plantas de 25 a 50 cm.

El cultivo de maíz es muy susceptible a la falta de agua, especialmente en el período entre floración y llenado de grano. Esta etapa es crítica para la determinación del rendimiento del cultivo. El requerimiento hídrico del cultivo de maíz en todo su ciclo está de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo (Ortigoza *et al.*, 2019).

Para dicho cultivo deben tomarse en cuenta las condiciones ambientales, es decir, conocer los períodos o fechas para establecer la siembra del maíz; (Gómez, 2015), menciona que, aproximadamente 88% de la producción total del maíz de Chiapas se siembra en el ciclo primavera-verano, para aprovechar el régimen de lluvias que inicia en mayo o junio, por lo que se conoce como producción temporal. Solo 1% ó 2% de la superficie sembrada tiene infraestructura de riego, por lo que se puede aprovechar el ciclo otoño-invierno y obtener dos cosechas, sembrando el maíz en octubre y cosechando en marzo, poco antes de iniciar el

siguiente ciclo. Necesariamente, este régimen requiere un manejo de la agricultura con base en agroquímicos y fertilizantes.

Por su parte, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1997) ha clasificado a cada una de las regiones económicas de acuerdo a la producción y rendimientos obtenidos de maíz, en áreas potenciales (Cuadro1). Actualmente, Chiapas cuenta con 15 regiones económicas.

Cuadro 1. Regiones económicas del Estado de Chiapas y su clasificación de acuerdo a la producción y rendimientos de maíz.

Región	Potencial
I Centro	Muy bueno
II Altos	Muy bueno
III Fronteriza	Muy bueno
IV Frailesca	Muy bueno
V Norte	Bueno
VI Selva	Bueno
VII Sierra	Bueno
VIII Soconusco	Muy bueno
IX Istmo-Costa	Bueno

De acuerdo con la literatura científica, las condiciones ambientales (precipitación pluvial, de temperatura ambiental y de elevación) adecuadas para el cultivo de nueve razas de maíz varía de acuerdo a los grupos raciales en función de su tiempo de maduración: Grupo Precoces: Zapalote Chico; Grupo Dentados Tropicales: Cubano Amarillo, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande; y Grupo Maduración Tardía: Comiteco, Olotillo y Olotón (Cuadros 2, 3 y 4). La importancia de estas condiciones ambientales radica en que existe una íntima interacción de éstas con la fisiología reproductiva de las razas (López, 2007).

Cuadro 2. Condiciones ambientales adecuadas para el grupo de maíz Tropicales Precoces.

RAZA	TEMPORALIDAD	ELEVACIÓN (m)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)				
Zapalote Chico	Ruiz et al. (2013)	Ciclo corto	Ruiz et al. (2013)	50 m - 880 m	[mayo - octubre] Mínima: 19 °C - 21.4 °C; Máxima: 31 °C - 33.5 °C; Media: 25 °C - 27.5 °C	Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 506 mm - 1,659 mm	
	Castillo-González et al. (2005)	90 días maíz seco	CONABIO (2020)	Se extiende a las regiones costeras aledañas de Oaxaca y Chiapas hasta una altitud de 600 m. Con muestras aisladas o con influencia en otras razas hasta 1,550 m - 1,990 m	Aragón Cuevas, F et al. (2005)			Mínima: 16.5 °C - 22.5 °C; Máxima: 29.5 °C - 34.6 °C; Media: 23.1 °C - 28 °C
	Aragón Cuevas, F et al. (2005)	Material muy precoz (85 días a madurez)	Aragón Cuevas, F et al. (2005)	1 m - 840 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C	Aragón Cuevas, F. et al. (2006)	588 mm - 1,667 mm
	Linares (2015)	90 días se obtiene maíz seco	Kato et al. (2009)	Distribución de acuerdo a las zonas ecológicas: Istmo de Tehuantepec 0 m - 500 m				
			Brush & Perales (2007)	0 m - 900 m				
		Perales & Hernández (2005)	0 m - 1,000 m					

Cuadro 3. Condiciones ambientales adecuadas para para el grupo de maíz (*Z. mays*) Dentados Tropicales.

RAZA	TEMPORALIDAD	ELEVACIÓN (m)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)					
Cubano Amarillo	CONABIO (2021)	Brush & Perales (2007)	0 m - 2,000 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C	85 a 105 días de afloración			
		Perales & Hernández (2005)	0 m - 1,000 m						
Tepecintle		Perales & Hernández (2005)	0 m - 1,500 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C			Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Precipitación acumulada anual: 518 mm - 3,793 mm
		Morales (2016)	90 m - 1,600 m						
		Aragón Cuevas, F et al. (2005)	90 m - 2,050 m	Aragón Cuevas, F et al. (2005)	Media: 16.5 °C - 27.8 °C			Ávila-Bello et al. (2016)	518 mm - 3,790 mm
		Ruiz et al. (2013)	8 m - 1,400 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 13.3 °C - 23.5 °C; Máxima: 25.9 °C - 33.7 °C; Media: 19.8 °C - 28.5 °C			Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 500 mm - 3,076 mm
Tuxpeño		CONABIO (2020)	Debajo de los 1,500 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C			Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 409 mm - 3,135 mm
		Brush & Perales (2007)	0 m - 900 m						
		Perales & Hernández (2005)	0 m - 2,000 m						
		Ruiz et al. (2013)	0 m - 1,950 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 7.5 °C - 23.1 °C; Máxima: 21.9 °C - 36.4 °C; Media: 15.2 °C - 28.6 °C			Ávila-Bello et al. (2016)	570 mm - 3,890 mm
Vandeño		Perales & Hernández (2005)	0 m - mayor a 2,000 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C				
		Aragón Cuevas, F et al. (2006)	80 m - 2,080 m					Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 639 mm - 3,135 mm
		Ruiz et al. (2013)	9 m - 1,645 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 12.3 °C - 23.5 °C; Máxima: 24.2 °C - 37 °C; Media: 18.5 °C - 28.5 °C				
Zapalote Grande		Perales & Hernández (2005)	0 m - 1,000 m	INEGI (1997) y González (2019)	20 °C - 30 °C			Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	675 mm - 2,061 mm
		Aragón Cuevas, F et al. (2005)	20 m - 270 m	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Media: 24.7 °C - 27 °C				
	Ruiz et al. (2013)	50 m - 830 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 13.7 °C - 22.9 °C; Máxima: 25.4 °C - 34 °C; Media: 19.6 °C - 28.3 °C	Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 706 mm - 3,116 mm			

Cuadro 4. Condiciones ambientales adecuadas para para el grupo de maíz (*Z. mays*)
Maduración Tardía.

RAZA	TEMPORALIDAD		ELEVACIÓN (m)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm)			
Comiteco	CONABIO (2021)	95 a 115 días de afloración (Para el grupo maduración Tardía)	Ruiz et al. (2013)	820 m - 2,100 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 10.7 °C - 22.5 °C; Máxima: 22.5 °C - 33.8 °C; Media: 16.6 °C - 28.2 °C	Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 959 mm - 4,245 mm
	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Más de 120 días de afloración	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	1,300 m - 2,340 m	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Media: 14.9 °C - 20.6 °C	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	1,154 mm - 1,962 mm
Olotón	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Período vegetativo 6 a 9 meses	Perales & Hernández (2005)	Mayor a 2,000 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 10.1 °C - 19.6 °C; Máxima: 21.8 °C - 31.6 °C; Media: 16 °C - 25.5 °C	Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 659 mm - 2,978 mm
			Ruiz et al. (2013)	950 m - 2,303 m	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	Promedio: 13.6 °C - 22.6 °C	Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	3,711 mm
			Aragón Cuevas, F. et al. (2005)	1,280 m - 2,460 m				
Olotillo			Perales & Hernández (2005)	0 m - 2,000 m	Ruiz et al. (2013)	[mayo - octubre] Mínima: 9.6 °C - 23.5 °C; Máxima: 22.7 °C - 34.1 °C; Media: 16.2 °C - 28.5 °C	Ruiz et al. (2013)	Lluvia acumulada promedio (mayo - octubre): 778 mm - 3,637 mm
			Brush & Perales (2007)	0 m - 2,000 m				

5.2.5 Producción del maíz (*Z. mays*) en México y en Chiapas

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2017), el maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Con un consumo promedio per cápita al año de 196.4 k de maíz blanco, especialmente en tortillas, representa 20.9% del gasto total en alimentos, bebidas y tabaco realizado por las familias mexicanas. La producción de maíz grano se divide en blanco y amarillo. El maíz blanco representa 86.94% de la producción y se destina principalmente al consumo humano. Esa producción satisface la totalidad del consumo nacional. El maíz amarillo se destina a la industria o a la fabricación de alimentos balanceados para la producción pecuaria (SAGARPA, 2017).

De acuerdo con los datos de la Secretaría de Desarrollo Rural (SADER, 2005, citado en Gómez, 2015), Chiapas es el cuarto productor a nivel nacional y primero del sureste, con 294,468 productores de maíz, de los cuales, el 92% son considerados milperos tradicionales por combinar maíz, frijol y calabaza en el mismo terreno, dedicados al autoconsumo y con

paquetes tecnológicos sencillos, rudimentarios y apoyados en tradiciones agrícolas milenarias, dependientes de subsidios gubernamentales y con poco o nulo acceso a créditos.

En el estado de Chiapas, el maíz aporta el 31.5% del valor de producción ocupando el 56% de la superficie sembrada. El cultivo del maíz grano, para el año 2020, ocupó 690,653.56 ha, 687,901.41 ha para cosecha y 1,257,883.35 ha para producción, todo ello se traduce a un valor en miles de pesos de 5,365,526.83 (Dirección de Información Geografía y Estadística, 2021). La producción de maíz se diferencia entre agricultura campesina, cuya producción se dedica básicamente para garantizar el autoconsumo y de la que sólo se comercializan algunos excedentes en mercados locales, y la agricultura comercial, con base en maquinaria, agroquímicos y semillas híbridas, cuya producción se orienta a la demanda de los mercados, se gestionan créditos y se contrata personal por jornal (Gómez, 2015). En los pueblos indígenas el trabajo agrícola se apoya en las relaciones de parentesco más que en el índice de precios de los insumos agrícolas o en el mercado de productos derivados de la cosecha. La mayor parte de los productos agrícolas tienen como destino final el consumo familiar, no en el mercado (Gómez, 2015). La lógica campesina está subsumida a las relaciones económicas establecidas por el campesinado en la familia nuclear, la comunidad y el mercado, sea éste regional o internacional (Shanin, 1976, citado en Gómez, 2015).

5.2 CAMBIO CLIMÁTICO ANTROPOGÉNICO

El clima es el estado atmosférico (temperatura media, precipitación y el viento) durante un período de tiempo que usualmente se especifica de 30 años; la variación estadística promedio significativa, durante un período de tiempo prolongado, se conoce como cambio CC (IPCC,

2001, citado en Guido, 2017). Así, Guido (2017) describe al CC como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones de clima en períodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Sin embargo, hoy en día el cambio climático es un problema global que ha sido tratado por los expertos de todo el mundo, ya que éstos han concluido que el clima cambia actualmente y principalmente debido a causas de origen antropogénico (Díaz, 2012). En solo 200 años, las actividades humanas han provocado cambios en el clima que, de forma natural, habrían tomado millones de años. La causa son las emisiones de gases de efecto invernadero que se derivan principalmente de acciones como la quema de combustibles fósiles, la fabricación de cemento y el cambio de uso de suelo (Bárcena *et al.*, 2020a). Las Naciones Unidas a través de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el CC (1992), define el CC como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Siguiendo ese orden, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en su informe de Desarrollo Humano (2007-2008, citado en Díaz, 2012) establece que el CC es el problema que determina el desarrollo humano en nuestra generación, y que este minará los esfuerzos que se emprenden en el ámbito internacional con el fin de combatir la pobreza.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, y el aumento del promedio mundial del nivel del mar (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, citado en Ahumada *et al.*, 2014).

5.2.1 Efectos del cambio climático antropogénico en la agricultura en México

México es un país con alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. Millones de mexicanos están en riesgo de sufrir los efectos de las inundaciones y, por otro lado, la desertificación podría afectar hasta el 40% de la superficie nacional cultivable (Guido, 2017). El autor menciona que, los estudios de vulnerabilidad realizados recientemente señalan que las poblaciones costeras son las más vulnerables, ya que se espera un aumento tanto del nivel del mar como de la frecuencia y magnitud de los fenómenos hidrometeorológicos. En ese sentido, Jolalpa (2019) menciona que, otro efecto del cambio climático es en la alimentación humana, ya que las variaciones en la producción y en los precios generados por el cambio climático, provocan cambios en el nivel de consumo de los alimentos.

El Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (2009, citado en Jolalpa, 2019), señala:

“El aumento estimado en el ingreso per cápita entre los años 2000 y 2050, considerando el cambio climático, se reduce ligeramente el crecimiento en el consumo de carne y disminuye el consumo de cereales de una manera más severa. Lo anterior se debe, a que bajo un escenario de los alimentos (cereales y carne) sufren un incremento adicional. La disminución en el consumo de cereales se traduce al final en disminuciones en la disponibilidad de calorías”.

Lo anterior, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017, citado en Jolalpa, 2019), externa que la demanda de alimentos está cambiando hacia un mayor consumo de carne y productos lácteos, así como otros

alimentos de producción intensiva, lo que tiene serias repercusiones en el uso sostenible de los recursos naturales.

5.2.2 Efectos del cambio climático en el cultivo de maíz (*Z. mays*) en México

La disponibilidad y captación de la radiación solar, el agua y los nutrientes son factores básicos para el crecimiento de la planta de maíz y su supervivencia (Kumas *et al.*, 2011; Ojeda, Sifuentes, Íñiguez & Montero, 2011, citado en Ahumada *et al.*, 2014). El incremento de la temperatura ambiental provocará problemas en la polinización del maíz, ya que en la etapa de floración en el maíz, que involucra la diseminación del polen y la aparición de los estigmas se ven afectados por los daños provocados por las altas temperaturas (Rodríguez, 2016).

En la actualidad el 77% de la superficie territorial del país es apto para el cultivo de por lo menos una raza de maíz. Sin embargo, las proyecciones para 2030, indican que 43 de 47 razas presentes en México disminuirán sus áreas de distribución potencial, y sólo cuatro las incrementarán, mientras que para 2050, 44 reducirán sus áreas de cultivo y sólo tres las aumentarán; estos resultados indican que el cambio climático afectará de forma negativa al cultivo de esta especie en el país (Ahumada *et al.*, 2014).

IV. ANTECEDENTES

Se han elaborado diversos trabajos que abordan estudios relacionados con el efecto de CC respecto al cultivo de maíz (*Zea mays*), a continuación, se da mención a los más relevantes:

6.1 Internacional

Fernández (2013), llevó a cabo un estudio sobre el efecto del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop en Colombia. El objetivo del estudio consistió en determinar los efectos en la producción y rendimientos de cultivos agrícolas (entre ellos del maíz) mediante la utilización de modelos agroclimáticos. Los resultados indicaron que para el período entre el 2030 y el 2040, las condiciones físicas favorecerán en un 4.76% el aumento del rendimiento del grano. Sin embargo, para las siguientes décadas (2061-2070), experimentarán una disminución entre 4 y 13% del rendimiento del maíz.

Por su parte, Chimborazo (2020), modeló el efecto de variables climáticas en la distribución potencial actual y futura de la especie de maíz chulpi (*Zea mays*) en la Provincia de Cotopaxi con la ayuda del algoritmo de MaxEnt. Los resultados indicaron que para el período de 2050-2080, las áreas con mayores de probabilidad de que la especie se adapte a las condiciones ambientales están sólo en las zonas rurales de las Parroquias Mulalo, Joseguango Bajo, Tanicuchi y Guaytacama.

Finalmente, Aviles *et al.* (2022), realizaron un estudio sobre el efecto de la variabilidad climática sobre algunos cultivos, en especial del maíz, en las áreas rurales del Cantón Buena Fé, provincia Los Ríos, en Ecuador. Los resultados del estudio indicaron que para el período de entre 2081 al 2100, las zonas aptas para el cultivo del maíz disminuirán en un 90%.

6.2 Nacional

Tinoco-Ruedas *et al.* (2011) realizaron una zonificación agroecológica para simular la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco en el período primavera-verano, el cual analizaron la temperatura atmosférica, la humedad disponible en el suelo. Se evaluaron tres períodos de tiempo: la línea base (1961-1990) y dos modelos de cambio climático (GFDL-TR-90 Y HADLEY-TR-00) para el horizonte de tiempo 2050 que comprende el período 2041-2060. Los principales resultados muestran un incremento en la superficie no apta para el cultivo del maíz en 63.6% para el modelo GFDL y en 90.8% para el modelo HADLEY.

Magaña (2014), evaluó los impactos potenciales de la variabilidad y el cambio climático sobre la agricultura de maíz en Michoacán, así como la capacidad adaptativa del sector ante estos factores. En dicho trabajo de tesis se analizaron las proyecciones de cambio climático para Michoacán en el período 2015-2039. Los resultados señalaron que se proyecta una caída en los rendimientos a partir de 2015, la cual podría prolongarse hasta 2030 o 2034.

Guajardo-Panes *et al.* (2018), realizaron un estudio sobre el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en tres escenarios (B1, A1B y A2) de cambio climático en el Distrito de Desarrollo Rural de La Antigua, Veracruz-México. En el estudio se cuantificó la variación de rendimientos de maíz en condiciones en el ciclo primavera-verano bajo escenarios de cambio climático en el período de 2011 a 2030. Los resultados indicaron que, para el escenario B1, en el ámbito espacial podrían afectar 7% de la superficie con condiciones para la producción de maíz, mientras que en los escenarios A1B y A2 se afectaría 94% de las superficies con condiciones para la producción de maíz.

6.3 Estatal

Actualmente, no se cuenta con un estudio o trabajo de investigación sobre la zonificación de la simulación de factibilidad de cultivo de temporal de las razas de maíz (*Zea mays*) bajo el efecto del cambio climático en el estado de Chiapas, México.

V. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Determinar el efecto del cambio climático antropogénico sobre la superficie de factibilidad para el cultivo de temporal de nueve razas (pertenecientes a los grupos raciales Tropicales Precoces, Dentado Tropicales y Maduración Tardía) de maíz (*Zea mays*) que actualmente se distribuyen en Chiapas, México, para los años 2060 y 2100.

7.2 Objetivos específicos

7.2.1 Determinar las condiciones ambientales (temperatura ambiental, precipitación pluvial y elevación) y la superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas, México, mediante el uso del algoritmo MaxEnt.

7.2.2 Determinar la superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas, México, a partir de la literatura científica, mediante un análisis geográfico.

7.2.3 Determinar la factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas, México, bajo escenarios de cambio climático para los años 2060 y 2100, mediante el uso del algoritmo MaxEnt.

VI. HIPÓTESIS

H1. En Chiapas, las condiciones ambientales óptimas para el cultivo de temporal del Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico) de maíz (*Z. mays*) deberían oscilar entre temperaturas ambientales de 16.5 °C a 34.6 °C, con rangos de precipitación acumulada de 506 a 1,667 mm y con elevaciones de entre 0 y 1,000 msnm; para el Grupo Dentado Tropicales (razas Tuxpeño, Zapalote Grande, Vandeño, Tepecintle y Cubano Amarillo) deberían oscilar entre temperaturas ambientales de 7.5 °C a 37 °C, con rangos de precipitación acumulada de entre 409 a 3,793 mm, y con elevaciones entre 0 y 2,050 msnm; finalmente, para el Grupo Maduración Tardía (razas Comiteco, Olotillo y Olotón) las temperaturas ambientales deberían oscilar entre los 9.6 °C a 34.1 °C, con rangos de precipitación acumulada entre 659 y 4,245 mm, y con elevaciones entre 0 a 2,460 msnm.

H2. La superficie de factibilidad del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz en Chiapas, México, será distinta entre lo que arroje el algoritmo MaxEnt y lo que resulte del análisis geográfico a partir de la literatura científica.

H3. La superficie de factibilidad del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz (*Z. mays*) se verá afectada de forma diferencial por el cambio climático antropogénico debido a que el cultivo de cada grupo racial está adaptado a distintas condiciones ambientales (temperatura, precipitación y elevación). Es probable que para los años 2060 y 20100, disminuya la superficie de factibilidad de cultivo de temporal para el Grupo de Maduración Tardía (Comiteco, Olotillo y Olotón) debido a su restringido cultivo en áreas de gran elevación con

bajas temperaturas y precipitaciones altas, mientras que, para los Grupos Tropicales Precoces y Dentado Tropicales, el área de factibilidad de cultivo se incrementa debido a su tolerancia a temperaturas altas y precipitaciones pluviales más pobres.

VII. MÉTODOS

9.1 Descripción del área de estudio

9.1.1 Localización

El área de estudio abarcó todo el estado de Chiapas, el cual se localiza al sureste de México, colindando al norte con el Estado de Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala. Se encuentra entre las coordenadas métricas (UTM) extremas 1988979, 1608417 N, y 783257 ,369739 E, Zona 15, abarcando una superficie de 74, 415 km² (Comité de Información Estadística y Geografía, CEIEG 2024). (Figura 1).

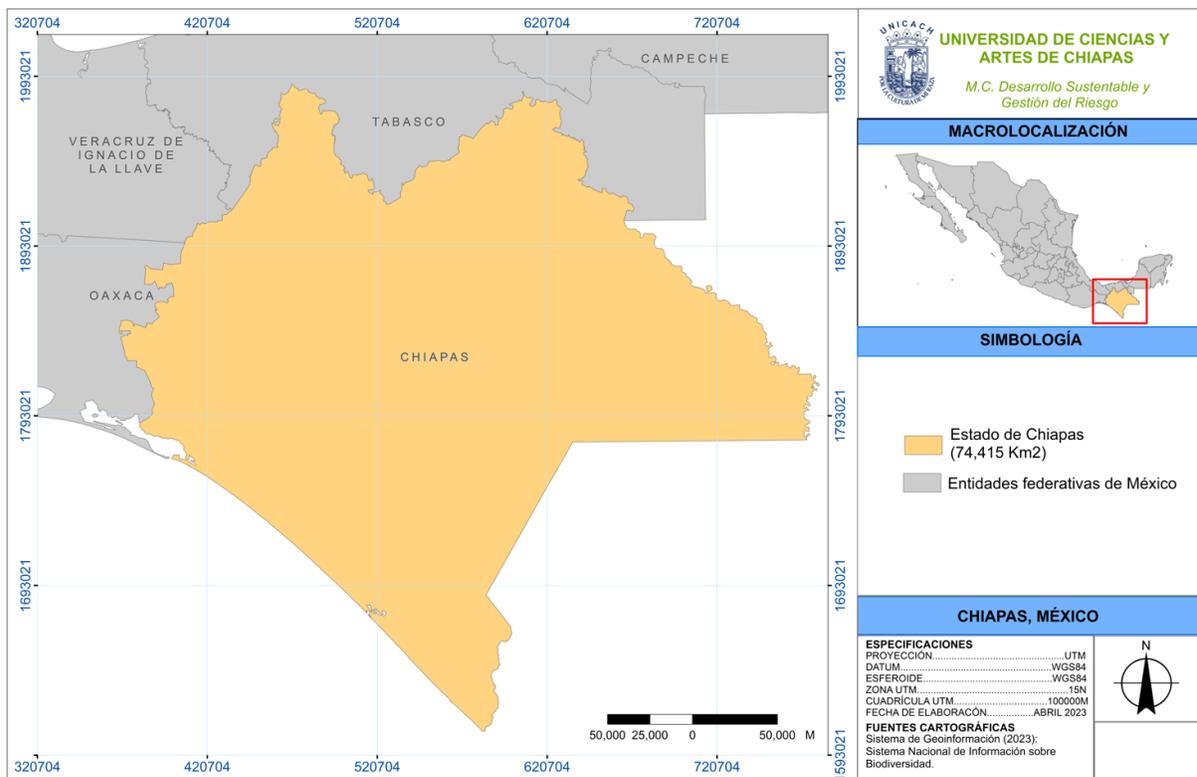


Figura 1. Ubicación geográfica del Estado de Chiapas, México.

9.1.2 Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen (modificado por García en 1964) junto con el apoyo de CONABIO, el Estado de Chiapas cuenta con veinte diferentes tipos de climas, mismos que pueden apreciarse tanto, en el siguiente mapa (Figura 2), como en la Tabla 5, (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2023).

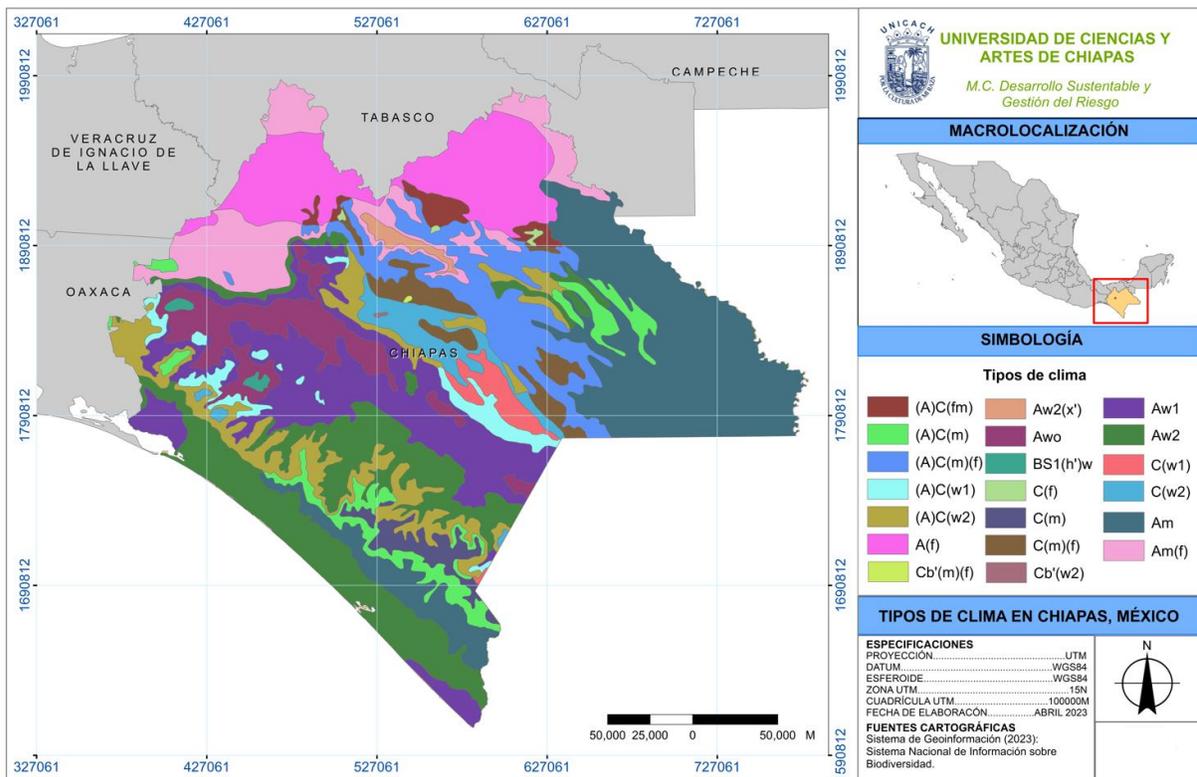


Figura 2. Tipos de clima en el estado de Chiapas, México.

Cuadro 5. Descripción de tipos de clima en el estado de Chiapas (SNIB, 2023).

TIPO	DESCRIPCIÓN
Am(f)	Calido humedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
A(f)	Calido humedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
Am	Calido humedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
(A)C(fm)	Semicalido humedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.
C(m)(f)	Templado, humedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.
C(f)	Templado, humedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.
Aw2(x')	Calido subhumedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
Aw2	Calido subhumedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
Aw1	Calido subhumedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
Awo	Calido subhumedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
(A)C(w2)	Semicalido subhumedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.
(A)C(w1)	Semicalido subhumedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.
C(w2)	Templado, subhumedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.
Cb'(m)(f)	Semifrio, humedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C , temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo
BS1(h')w	Semiarido calido, temperatura media anual mayor de 22°C, temperatura del mes más frio
Cb'(w2)	Semifrio, subhumedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C , temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo
C(w1)	Templado, subhumedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.
Awo	Calido subhumedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frio
C(m)	Templado, humedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.
(A)C(m)(f)	Semicalido humedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frio menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.

9.1.3 Precipitación pluvial

Con base a los datos obtenidos en el portal de geoinformación de SNIB (2023), tanto en el norte como en el sur del Estado de Chiapas, se tiene registros de precipitación anual que van de 2,500 a más de 4,000 mm, teniendo variaciones en el norte de 1,500 a 2,500 mm, mientras tanto en el sur el rango va de 1,500 a 2,000 mm. En el centro de la entidad, en su mayor parte,

se registran 800 a 1,200 mm, mientras que en el resto del Estado se registran precipitaciones de entre 1200 y 1500 mm (Figura 3).

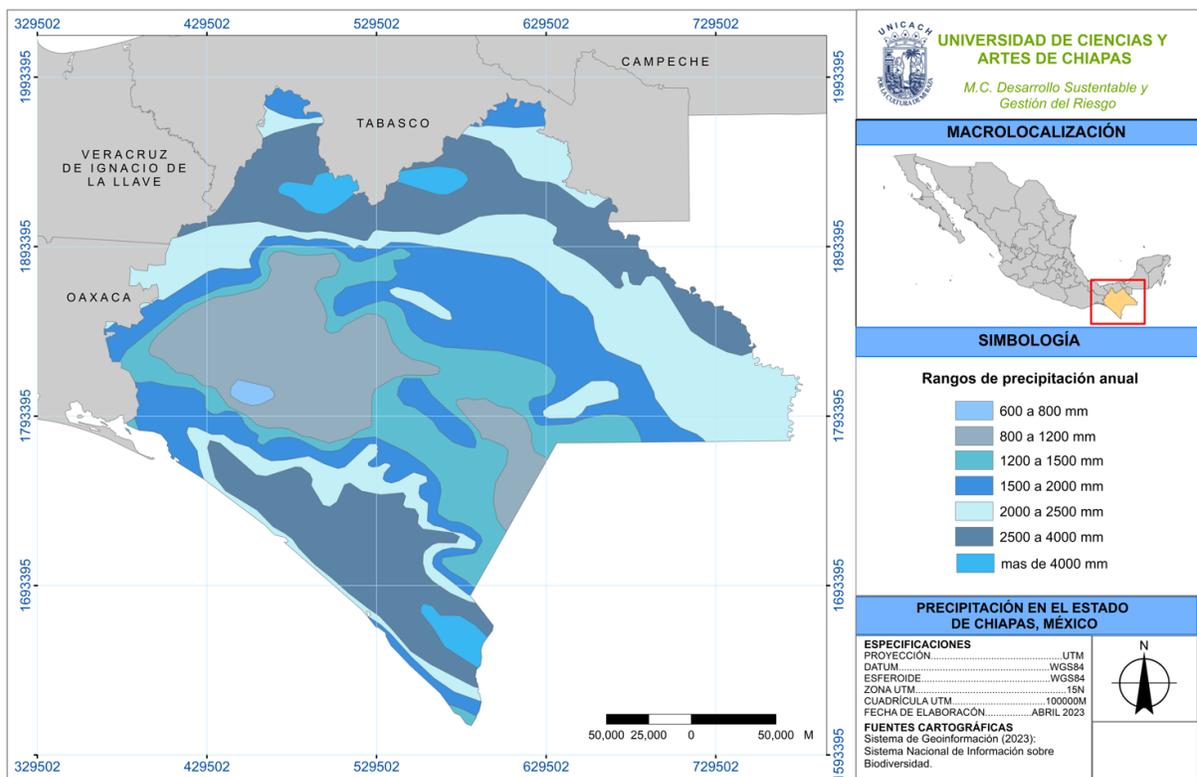


Figura 3. Precipitación anual en el Estado de Chiapas (SNIB, 2023).

9.1.4 Relieve

La superficie estatal forma parte de las provincias: Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala, y Cordillera Centroamericana. Al sureste se encuentran las mayores altitudes como el cerro Mozotal con 3,050 msnm y el Volcán Tacaná con 3,284 msnm en los límites con la República de Guatemala. En la parte central se han formado valles y cañones como el Cañón del Sumidero por donde pasa el Río Grijalva. En el extremo norte, se

encuentran lomerío con dos llanuras que se comparten con el estado de Tabasco. En el extremo sur, existe una llanura costera (INEGI, s.f.).

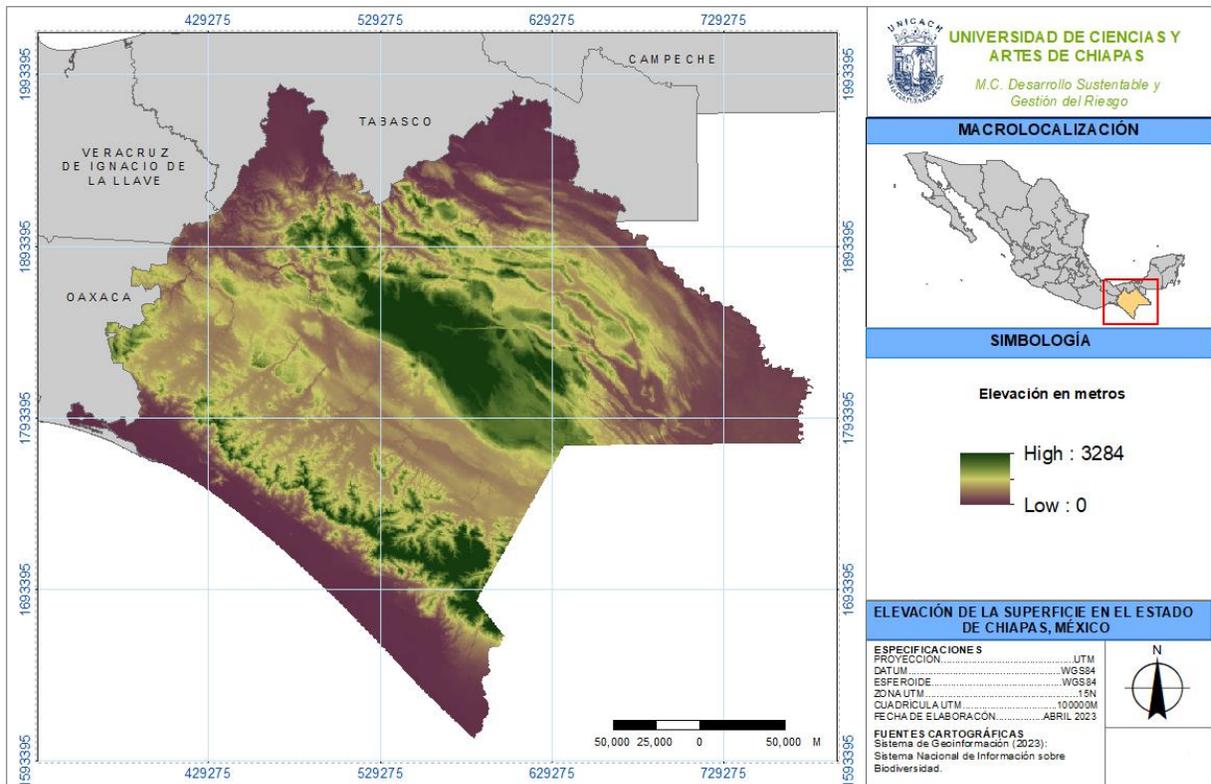


Figura 4. Relieve del estado de Chiapas (SNIB, 2023).

9.1.5 Cultivo del maíz (*Z. mays*)

En el año 2015 el estado de Chiapas presentó 702,086 ha cultivadas de maíz, con un volumen de producción de 1.06 millones de toneladas, producidas en su mayoría en parcelas menores de 5 ha, con un rendimiento promedio 1.55 T/ha. La región Frailesca se ubica como la más productiva de maíz, ya que se siembra alrededor del 17% de la superficie estatal con esta especie (Acosta *et al.*, 2018).

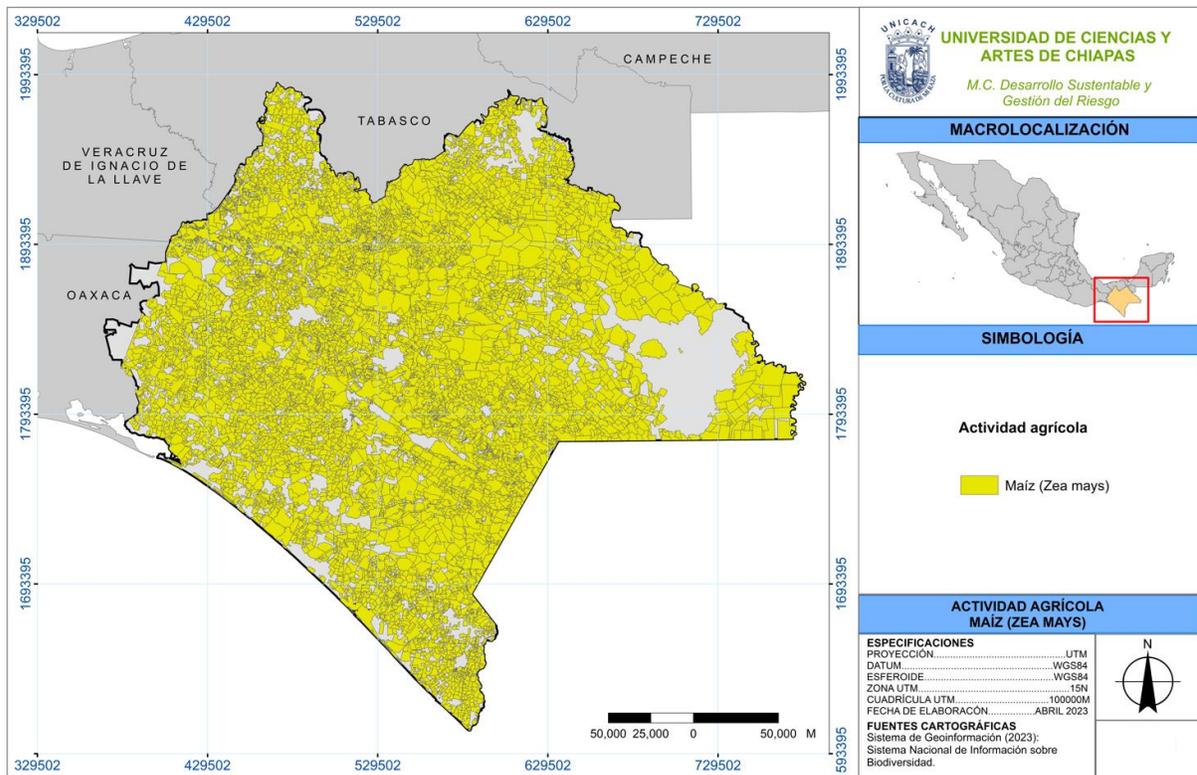


Figura 5. Espacios destinados para el cultivo de maíz en el estado de Chiapas (SNIB, 2023).

9.2.1 Base de datos de registros espaciales de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas

A fin de construir una base de datos con los registros de ubicaciones georeferenciadas en las que se cultivan las nueve razas en Chiapas, México, se consultaron las bases de datos científicas Biodiversity Information Facility (www.gbif.org/es/), así como el Registro de Ejemplares del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (www.snib.mx/). Una vez obtenidos los registros, se construyó la tabla de datos en Microsoft Excel (2019), la cual fue depurada eliminando todos aquellos registros duplicados o bien con coordenadas erróneas (Pozo-Gómez *et al.*, 2022) Finalmente, para reducir la correlación espacial entre los registros de presencia de las razas, se aplicó un adelgazamiento espacial con la ayuda del

paquete “spThin”, aplicando 100 repeticiones, utilizando el software R y su interface gráfica Restudio (Aiello-Lammens *et al.*, 2015; R Core Team 2022; RStudio Team 2022).

9.2 Obtención capas ambientales correspondientes a los meses del cultivo de las nueve razas de maíz (*Z. mays*)

Para poder, por un lado, determinar las condiciones ambientales adecuadas para del cultivo de temporal de nueve razas de maíz en Chiapas, y por otro, poder realizar los modelos de factibilidad actual y bajo escenarios de cambio climático de cultivo de las nueve razas, se obtuvieron primero las capas ambientales de temperatura mínima, máxima y promedio mensual, así como de precipitación pluvial mensual acumulada, de elevación, y de 19 variables bioclimáticas, todas éstas correspondientes a los meses en los cuales se cultivan cada una de las razas en Chiapas. La temporada de cultivo del Grupo “Tropicales Precoces” se presenta entre mayo (siembra) y agosto (cosecha) (Aragón *et al.* 2006, Castillo *et al.*, 2005, Linares, 2015 & Ruíz *et al.*, 2013). Por otro lado, la temporada de cultivo del Grupo “Dentados Tropicales” ocurre entre mayo y octubre (CONABIO, 2020); finalmente temporada de cultivo del Grupo “Maduración Tardía” tiene lugar entre los meses de mayo y diciembre (Aragón *et al.*, 2006 & CONABIO, 2020).

Todas las capas se obtuvieron del proyecto WorldClim 2.1 del año 2023 (Fick & Hijmans, 2017; Cuadros 6 y 7); cada variable ambiental consiste en una capa georeferenciada en formato raster con una resolución espacial de 30 segundos (~ 1 km², Fick & Hijmans, 2017). Por último, las capas ambientales para las temporadas de cultivo fueron recortadas utilizando

como máscara el límite georreferenciado del Estado de Chiapas, México, utilizando para ello el software R y su interface gráfica Restudio (R Core Team 2022; RStudio Team 2022).

Cuadro 6. Variables climáticas de las capas ambientales del proyecto WorldClim 2.1 (2023)

Capas ambientales
Precipitación media para el mes de mayo
Precipitación media para el mes de junio
Precipitación media para el mes de julio
Precipitación media para el mes de agosto
Precipitación media para el mes de septiembre
Precipitación media para el mes de octubre
Precipitación media para el mes de noviembre
Precipitación media para el mes de diciembre
Temperatura mínima media para el mes de mayo
Temperatura mínima media para el mes de junio
Temperatura mínima media para el mes de julio
Temperatura mínima media para el mes de agosto
Temperatura mínima media para el mes de septiembre
Temperatura mínima media para el mes de octubre
Temperatura mínima media para el mes de noviembre
Temperatura mínima media para el mes de diciembre
Temperatura máxima media para el mes de mayo
Temperatura máxima media para el mes de junio
Temperatura máxima media para el mes de julio
Temperatura máxima media para el mes de agosto
Temperatura máxima media para el mes de septiembre
Temperatura máxima media para el mes de octubre
Temperatura máxima media para el mes de noviembre
Temperatura máxima media para el mes de diciembre
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de mayo
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de junio
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de julio
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de agosto
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de septiembre
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de octubre
Temperatura media (mínima-máxima) del mes de noviembre

Temperatura media (mínima-máxima) del mes de diciembre

Cuadro 7. Variables de las capas ambientales bioclimáticas.

Codificación	Variable
BIO1	Temperatura Media Anual
BIO2	Rango medio diario (Media mensual (temperatura máxima - temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar $\times 100$)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación Anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del Mes Más Seco
BIO15	Estacionalidad de las Precipitaciones (Coeficiente de Variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del Cuarto Más Seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del Cuarto Más Frío

9.3 Condiciones ambientales y superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*), mediante MaxEnt.

Para cada una de las razas se sobrepuso el ráster único final a las capas ambientales de elevación, temperaturas máximas, mínima y promedio, así como precipitación pluvial mensual acumulada. Con ello, se obtuvieron los valores máximos y mínimos de las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de cada raza de acuerdo a los resultados del modelo. Para el caso de la precipitación mensual acumulada, se sumaron los valores de

la precipitación mensual de acuerdo el periodo de siembra de cada raza. El traslape de los mapas ráster y la obtención de los valores se realizó utilizando el paquete “ráster” y sus dependencias en el software R y su interface gráfica Rstudio (Hijmans & van Etten 2012; R Core Team 2022; RStudio Team 2022).

Utilizando los insumos anteriores y para determinar la factibilidad actual del cultivo de temporal de las nueve razas descritas, se calibró el modelo al escenario presente utilizando el algoritmo MaxEnt 4.4.4, que funciona con datos de presencia de una determinada especie para predecir su distribución geográfica en función de la máxima entropía (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014). Se utilizó como área de calibración del modelo la superficie del estado de Chiapas, México. Para la generación del modelo se utilizó el 75% de los registros de cultivo de cada una de las razas, mientras que el 25% restante se empleó para evaluar errores de omisión y comisión. El modelo se configuró para utilizar una función logística, creando curvas de respuesta de las variables ambientales. Se utilizaron 10 réplicas mediante una validación cruzada (Phillips *et al.*, 2006). A través de una prueba de Jackknife se evaluó la contribución de las variables utilizadas en el modelo. Se evaluó la capacidad predictiva de los modelos de distribución generados a través de un gráfico usando el área bajo la curva (Delgadillo-Rodríguez, 2014), y todas aquellas réplicas que obtuvieron un valor menor a 0.9 se descartaron. Posteriormente, se hizo una reclasificación de los píxeles de la capa ráster resultante de cada réplica (.asc), con la intención de obtener un mapa binario (0 = no factibilidad de cultivo, 1= factibilidad de cultivo) usando un valor de presencia de entrenamiento del percentil 10 como línea de corte (Liu *et al.* 2005).

Con la ayuda del software libre, QGis versión 3.285 (Qgis.org, 2023), se realizó la multiplicación del mapa binario a cada una de las réplicas de la validación cruzada, con la

finalidad de obtener un ráster único por cada raza de maíz en estudio. Se poligonizaron los mapas binarios (ráster) y posterior a ello se disolvió cada polígono del mapa para obtener las superficies en unidades de Hectáreas (ha) y generar mapas de factibilidad regional de cultivo actual de cada una de las razas.

9.4 Superficie de factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*), a partir de la literatura científica, mediante un análisis geográfico.

Se llevó a cabo un análisis geográfico para determinar la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de las nueve razas para el estado de Chiapas a partir de la literatura científica (ver tablas 3, 4 y 5 en sección de Marco Teórico). Para ello se utilizaron las capas climáticas disponibles en el proyecto WorldClim v. 2.1 (temperatura, precipitación y elevación), las cuales fueron reclasificadas creando mapas binarios (0 = valores no óptimos para el cultivo de la raza, 1= valor óptimo para el cultivo de la raza). Posteriormente, los mapas binarios resultantes fueron multiplicados, en el entendido de que el mapa resultante representa la superficie en el estado que reúne todas las condiciones ambientales propicias para la factibilidad de cultivo de cada una de las razas. Finalmente, se poligonizaron los mapas binarios (ráster) para obtener las superficies en unidades de Hectáreas (ha). Todo el procedimiento se realizó utilizando el paquete “ráster” y sus dependencias en el software R y su interface gráfica Rstudio (Hijmans & van Etten 2012; R Core Team 2022; RStudio Team 2022), así como el software QGis versión 3.28.5 (QGIS.org, 2023).

9.5 Factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*), bajo escenarios de cambio climático antropogénico, mediante MaxEnt.

Para el modelado de la factibilidad del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz en Chiapas, bajo escenarios de Cambio Climático (2041-2060 y 2081-2100), se usaron los mismos registros de presencia de las razas y las mismas variables ambientales que para el escenario presente. De la misma forma, se utilizaron los mismos parámetros en MaxEnt que para la proyección actual de las razas modeladas. Se utilizó el modelo de circulación HadGEM3-GC31-LL y las vías de concentración de gases de efecto invernadero (GEI) 4.5 y 8.5 (Ramírez-Magil *et al.*, 2020). Lo anterior, son escenarios que representan visiones distintas del futuro (Olivo & Soto-Olivo, 2010), para el caso del escenario Shared Socioeconomic Pathways (SSP) 245 (vías de concentración de GEI 4.5) prevé un camino central en el que las tendencias continúan sus patrones históricos, sin desviaciones sustanciales (O'Neill *et al.* 2016). Por otro lado, el escenario SSP 585 (vías de concentración de GEI 8.5) mantiene un crecimiento poblacional bajo e incluye un cambio tecnológico rápido, aunado a ello considera un uso intensivo de los combustibles fósiles, es decir, mayores niveles de generación de gases de efecto invernadero (Escoto *et al.*, 2017).

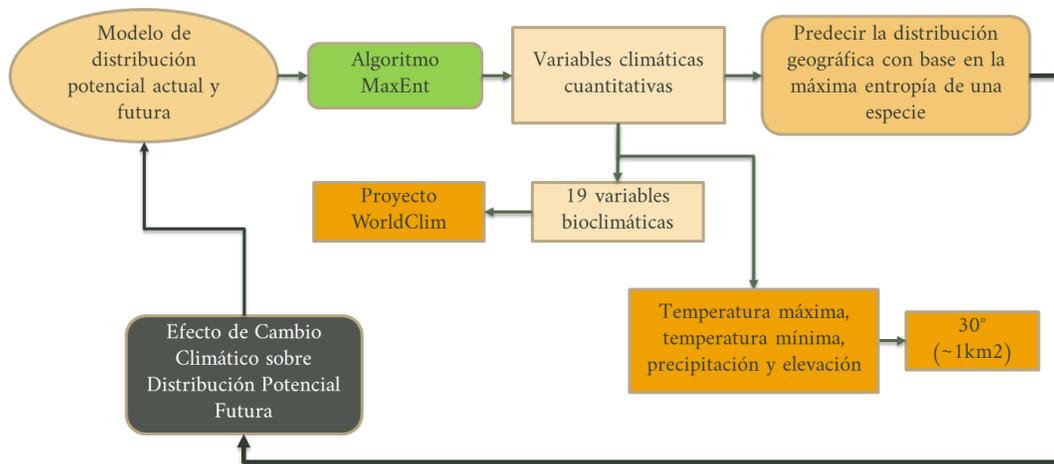


Figura 6. Esquema del proceso para la generación del modelo de distribución de Cambio Climático sobre la factibilidad para el cultivo de temporal Actual y Futura del *Z. mays*.

VIII. RESULTADOS

10.1 Condiciones ambientales adecuadas y factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas

10.1.1 Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico)

De acuerdo a los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre -2 y 2155 msnm, una precipitación acumulada de entre 80.3 y 2,009 mm, y una temperatura ambiental mensual de entre 8.2 y 29.1 °C.

De acuerdo al análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de factibilidad de cultivo de temporal de 5,001,214 ha, mientras que MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de sólo 4,846,495 ha para esta raza en Chiapas (Figura 7). La variable que más contribuyó al modelo realizado con MaxEnt fue la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 82.2%, y la de menor contribución fue la temperatura media del mes de agosto con 3.2% (Cuadro 8).

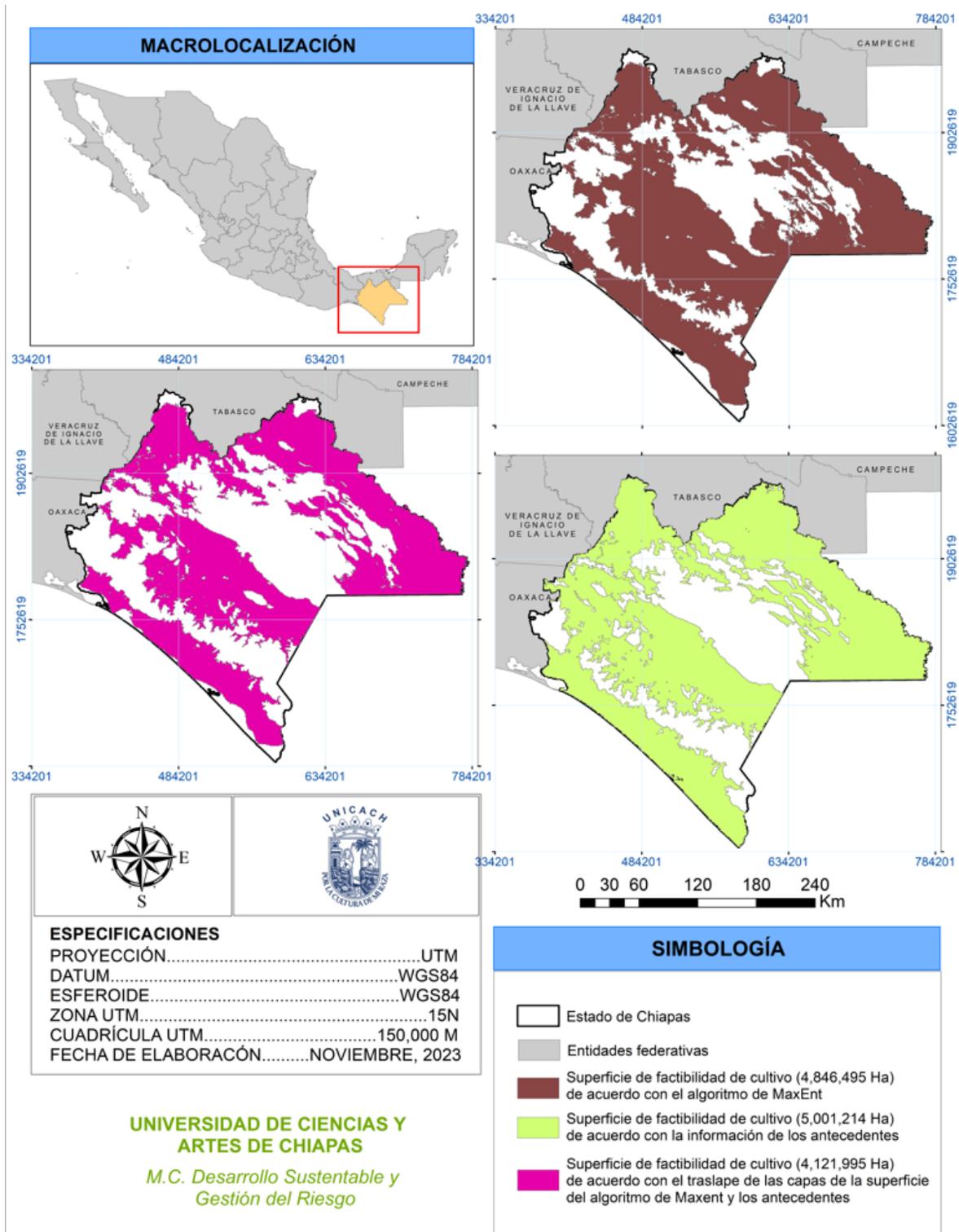


Figura 7. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Zapalote Chico en Chiapas, México.

Cuadro 8. Variables con mayor contribución en el modelo de MaxEnt para determinar la factibilidad de cultivo de temporal para la raza de maíz Zapalote Chico.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	82.2
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	10.7
Precipitación media para el mes de agosto	3.9
Temperatura media del mes de agosto	3.2

10.1.2 Grupo Dentados Tropicales (Cubano Amarillo, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande)

10.1.2.1 Cubano Amarillo

De acuerdo con el modelo MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 3.8 y 1,591 msnm, una precipitación acumulada de 205.42 a 2,888 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 4.9 y 28.2 °C (Cuadro 9).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de factibilidad de cultivo de temporal de 6,605,106 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 853,238 ha (Figura 7). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue el rango medio diurno o media mensual (BIO2) con 21.4% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de julio con 2% (Cuadro 10).

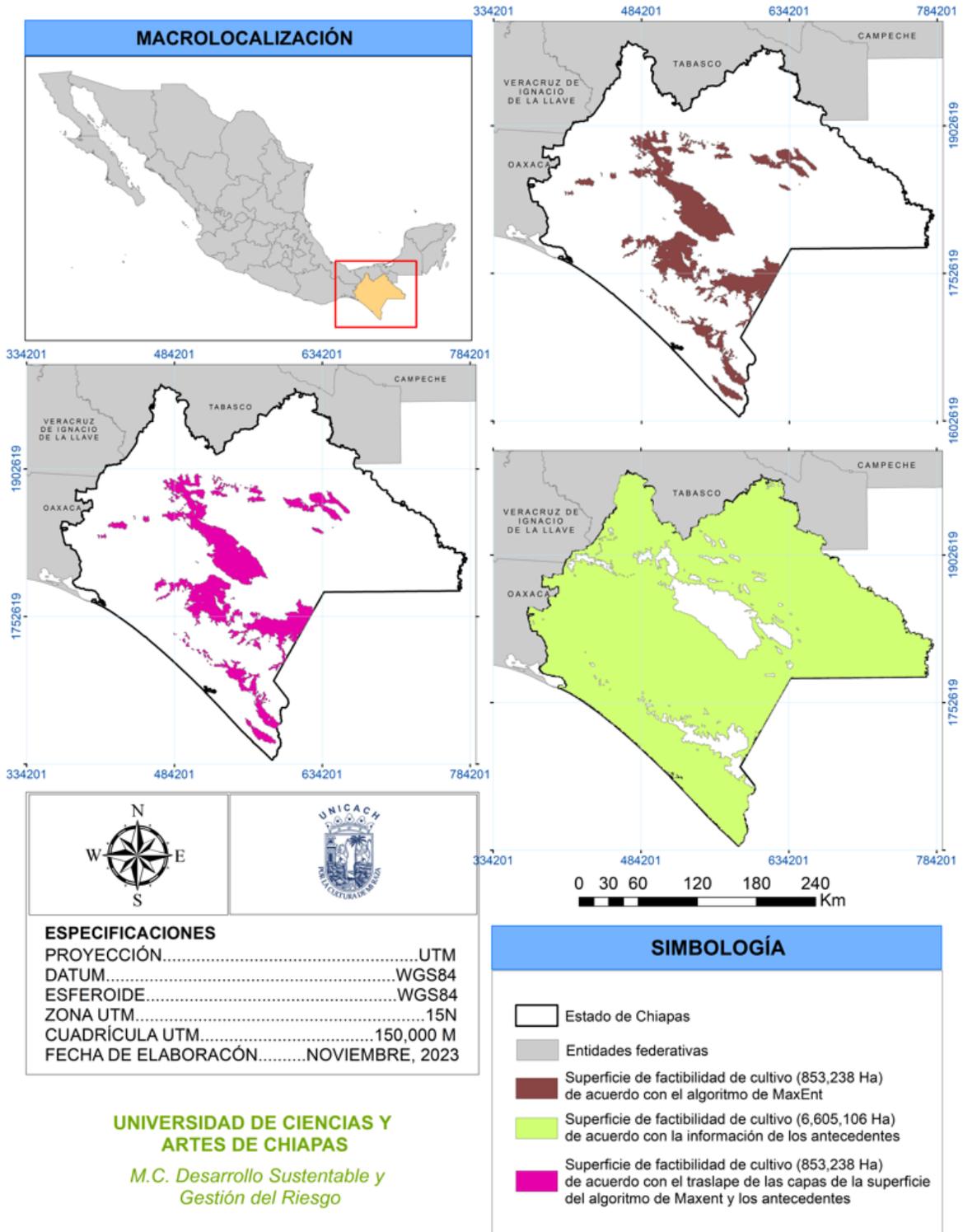


Figura 8. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Cubano Amarillo en Chiapas, México.

Cuadro 9. Condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal del grupo de maíz Dentados Tropicales a partir de MaxEnt.

RAZA	ELEVACION (msnm)		PRECIPITACIÓN (mm)		TEMPERATURA (°C)		SUPERFICIE (Ha)
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	
Cubano Amarillo	3.8414	1591	205.4286	2888	4.9381	28.2833	853238
Tepecintle	1.8475	2059	165.5534	3341	4.8634	28.7833	3401913
Tuxpeño	5.28	2033	127.8615	3341	2.5297	28.7333	1242256
Vandefío	4.0609	2001	237.3013	3341	7.7937	28.4833	1953746
Zapalote Grande	2.7692	1532	259.1934	3106	2.6386	28.7833	1969184

Cuadro 10. Variables con mayor contribución en el modelo de MaxEnt de factibilidad de cultivo de temporal para la raza de maíz Cubano Amarillo.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Rango medio diurno (BIO2)	21.4
Temperatura máxima media para el mes de mayo	13.1
Estacionalidad de las precipitaciones (BIO15)	12.2
Elevación	11.6
Precipitación media para el mes de diciembre	6.9
Precipitación media para el mes de junio	5.1
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	4.3
Temperatura mínima media para el mes de junio	4.2
Precipitación media para el mes de mayo	3.2
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.6
Temperatura mínima media para el mes de julio	2.4
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.1
Precipitación media para el mes de julio	2

10.1.2.2 Tepecintle

De acuerdo a los resultados con MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 1.8 y 2,059 msnm, una

precipitación acumulada de 165.55 a 3,341 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 4.8 y 28.7 °C (Cuadro 9).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de factibilidad de cultivo de temporal de 7,005,466 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 3,401,913 ha (Figura 8). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue la elevación con 15.4% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de junio con 2% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de temporal para la raza de maíz Tepecintle.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Elevación	15.4
Precipitación media para el mes de diciembre	11.2
Rango medio diurno (BIO2)	10.3
Precipitación media para el mes de octubre	8.3
Temperatura máxima media para el mes de junio	6.3
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	5.7
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	5.6
Precipitación media para el mes de noviembre	5.4
Precipitación media para el mes de agosto	5.1
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	4.5
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	3.3
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	2.5
Temperatura media del mes de noviembre	2.3
Precipitación media para el mes de julio	2.3
Precipitación media para el mes de junio	2

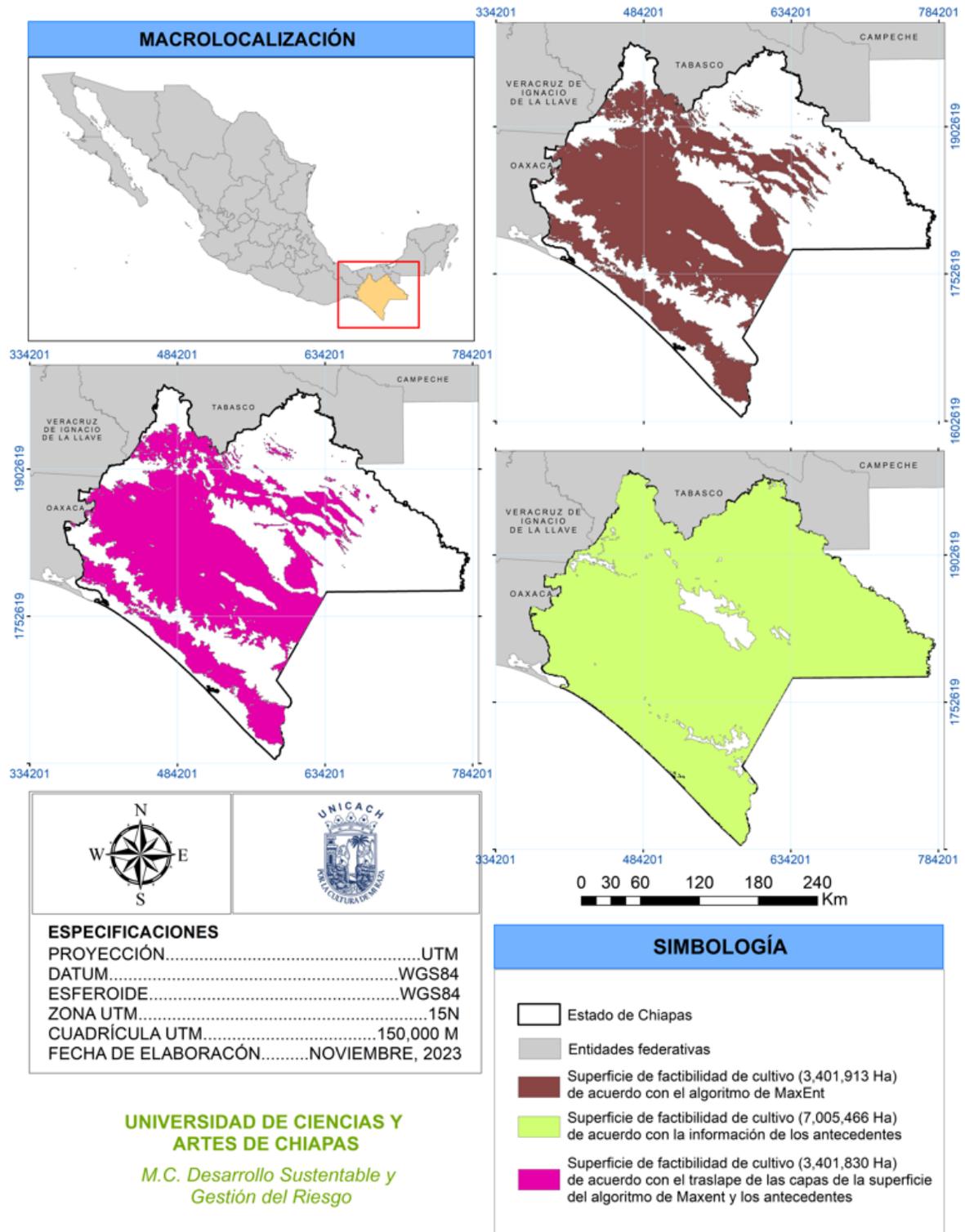


Figura 9. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Tepecintle en Chiapas, México.

10.1.2.3 Tuxpeño

De acuerdo con MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 5.2 y 2,033 msnm, una precipitación acumulada de 127.86 a 3,341 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 2.5 y 28.7 °C (Cuadro 9).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 6,970,863 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 1,242,256 ha (Figura 9). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue el rango medio diurno o media mensual (BIO2) con 32.04% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de octubre con 3.4% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Tuxpeño.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Rango medio diurno (BIO2)	32.4
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	14.7
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	5.4
Precipitación media para el mes de septiembre	4.9
Isotermalidad (BIO3)	4.4
Temperatura máxima media para el mes de junio	3.9
Elevación	3.4
Precipitación media para el mes de octubre	3.4
Otras	18.7

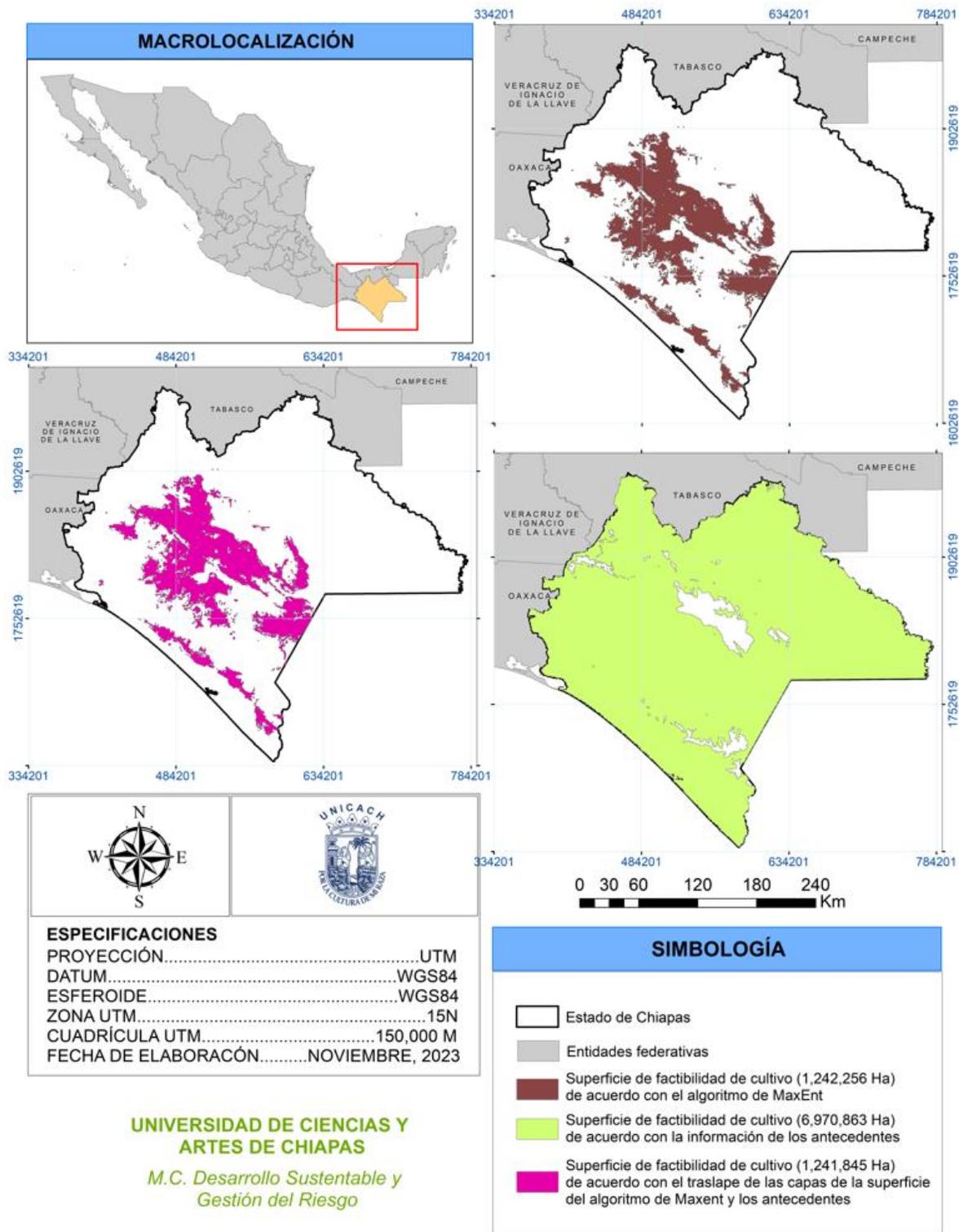


Figura 10. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Tuxpeño en Chiapas, México.

10.1.2.4 Vandeño

De acuerdo con los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 4.06 y 2,001 msnm, una precipitación acumulada de 237.30 a 3,341 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 7.7 y 28.4 °C (Cuadro 9).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 6,911,870 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 1,953,746 ha (Figura 10). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue el rango medio diurno o media mensual (BIO2) con 29.06% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de octubre con 1.8% (Cuadro 13).

Cuadro 13. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad para el cultivo de temporal de la raza de maíz Vandeño.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Rango medio diurno (BIO2)	29.6
Precipitación media para el mes de diciembre	19.3
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.7
Elevación	5.9
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.5
Temperatura máxima media para el mes de mayo	4.8
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	4.1
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	3.6
Precipitación media para el mes de agosto	3.2
Precipitación media para el mes de septiembre	2.4
Temperatura mínima media para el mes de mayo	2.1
Precipitación media para el mes de octubre	1.8

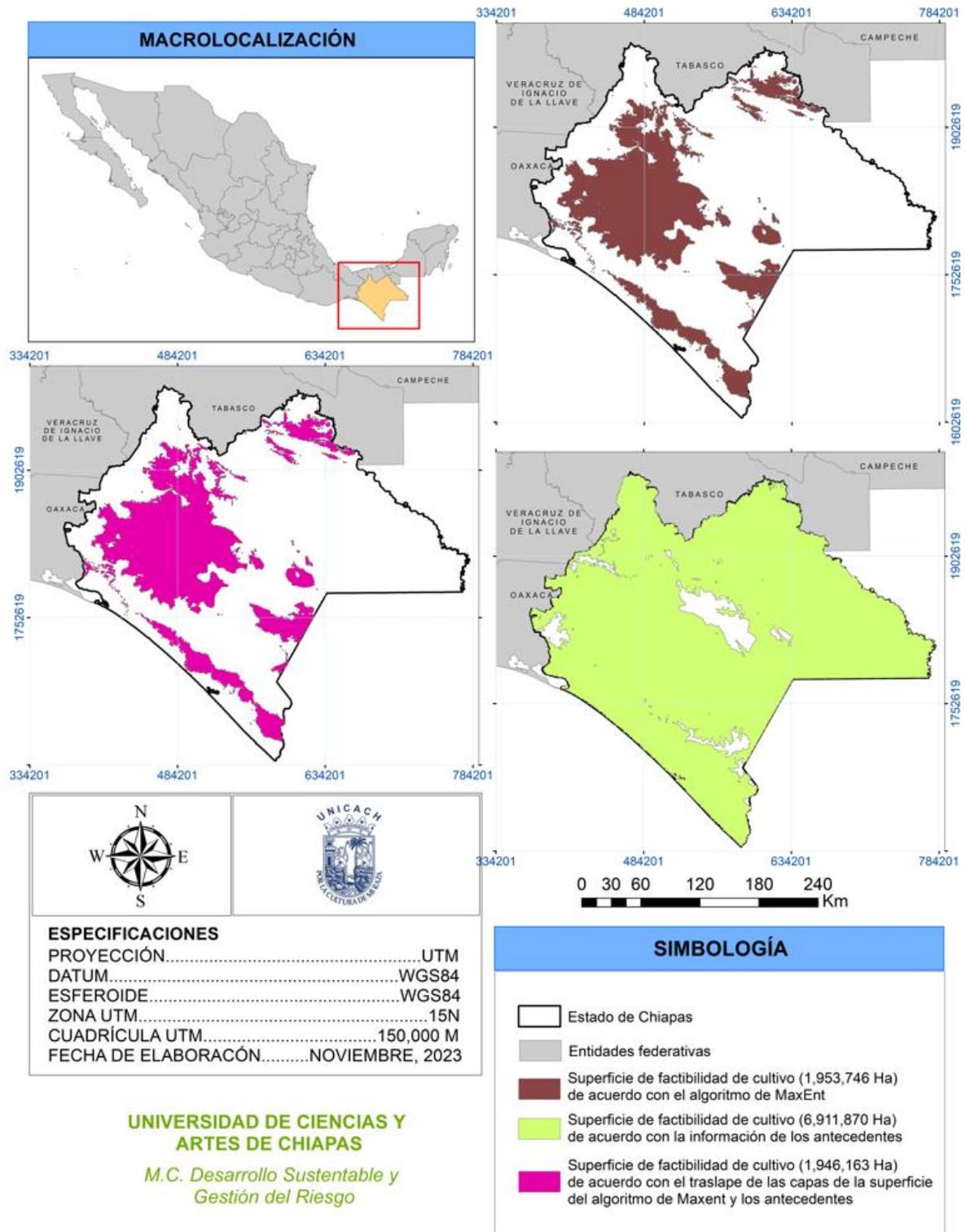


Figura 11. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Vandeano en Chiapas, México.

10.1.2.5 Zapalote Grande

De acuerdo con los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 2.7 y 1,532 msnm, una precipitación acumulada de 259.19 a 3,106 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 2.6 y 28.7 °C (Cuadro 9).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 5,053,528 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 1,969,184 ha (Figura 11). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue el rango medio diurno o media mensual (BIO2) con 21% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de julio con 3.1% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de la raza de maíz Zapalote Grande.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Rango medio diurno (BIO2)	21
Precipitación media para el mes de diciembre	15
Precipitación media para el mes de septiembre	12.3
Elevación	8.9
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	8.6
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.6
Precipitación media para el mes de octubre	6.8
Temperatura máxima media para el mes de mayo	5.6
Precipitación media para el mes de noviembre	3.3
Precipitación media para el mes de julio	3.1

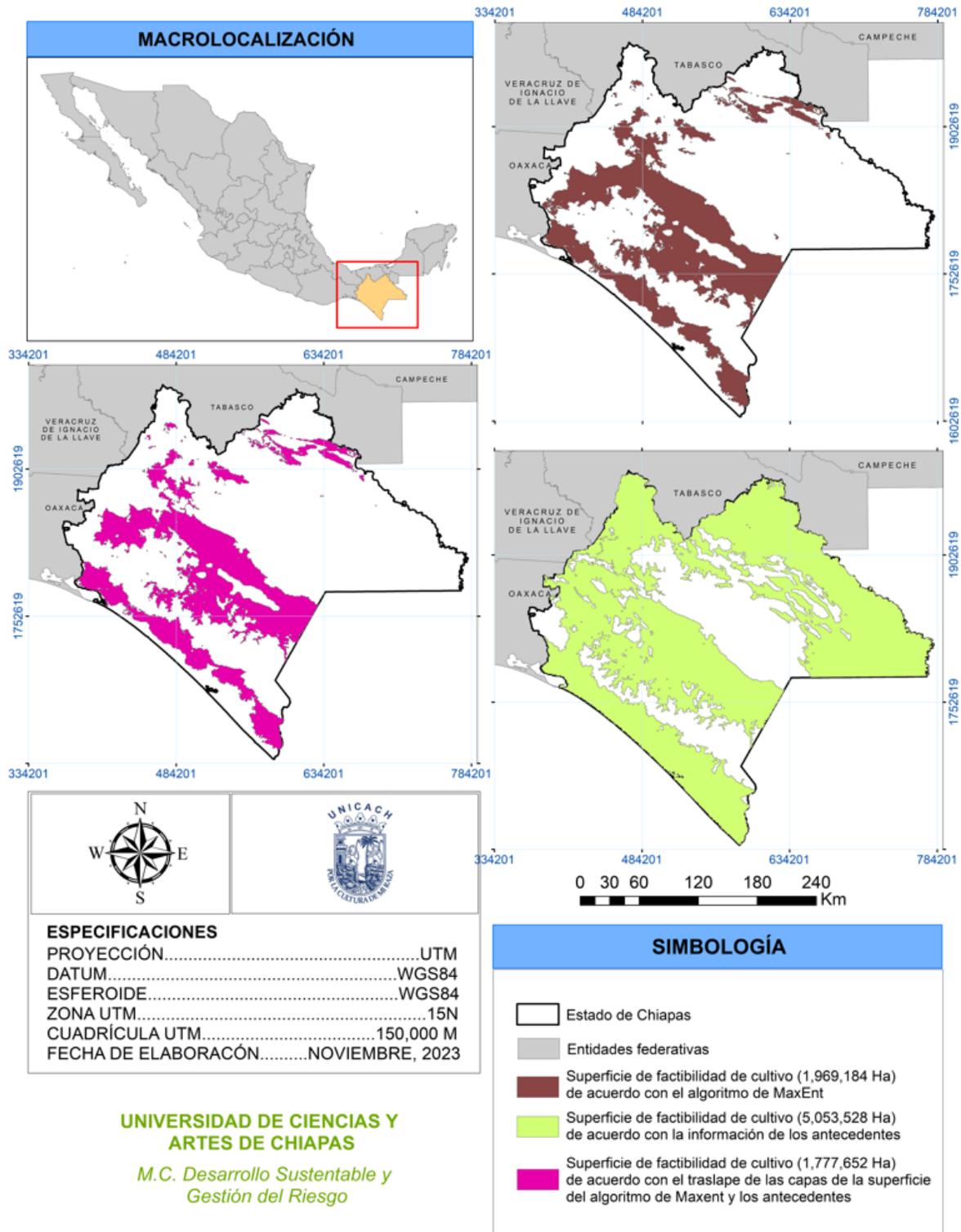


Figura 12. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Zapalote Grande en Chiapas, México.

10.1.3 Grupo Maduración Tardía (Comiteco, Olotillo y Olotón)

10.1.3.1 Comiteco

De acuerdo con los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 172.6 y 2,289 msnm, una precipitación acumulada de 242.45 a 1,747 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 4.8 y 24.9 °C (Cuadro 15).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 2,574,479 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 314,691 ha (Figura 12). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue el rango medio diurno o media mensual (BIO2) con 17.6% y la de menor contribución fue la temperatura mínima media para el mes de octubre con 3.3% (Cuadro 16).

Cuadro 15. Condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal del grupo de maíz Maduración Tardía, a partir de MaxEnt.

RAZA	ELEVACION (msnm)		PRECIPITACIÓN (mm)		TEMPERATURA (°C)		SUPERFICIE (Ha)
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	
Comiteco	172.6123	2289	242.4521	1747	4.8411	24.925	314691
Olotillo	112.7245	2302	196.1693	1695	4.706	26.15	632659
Olotón	384.0055	2732	282.2945	1630	4.495	21.1375	286507

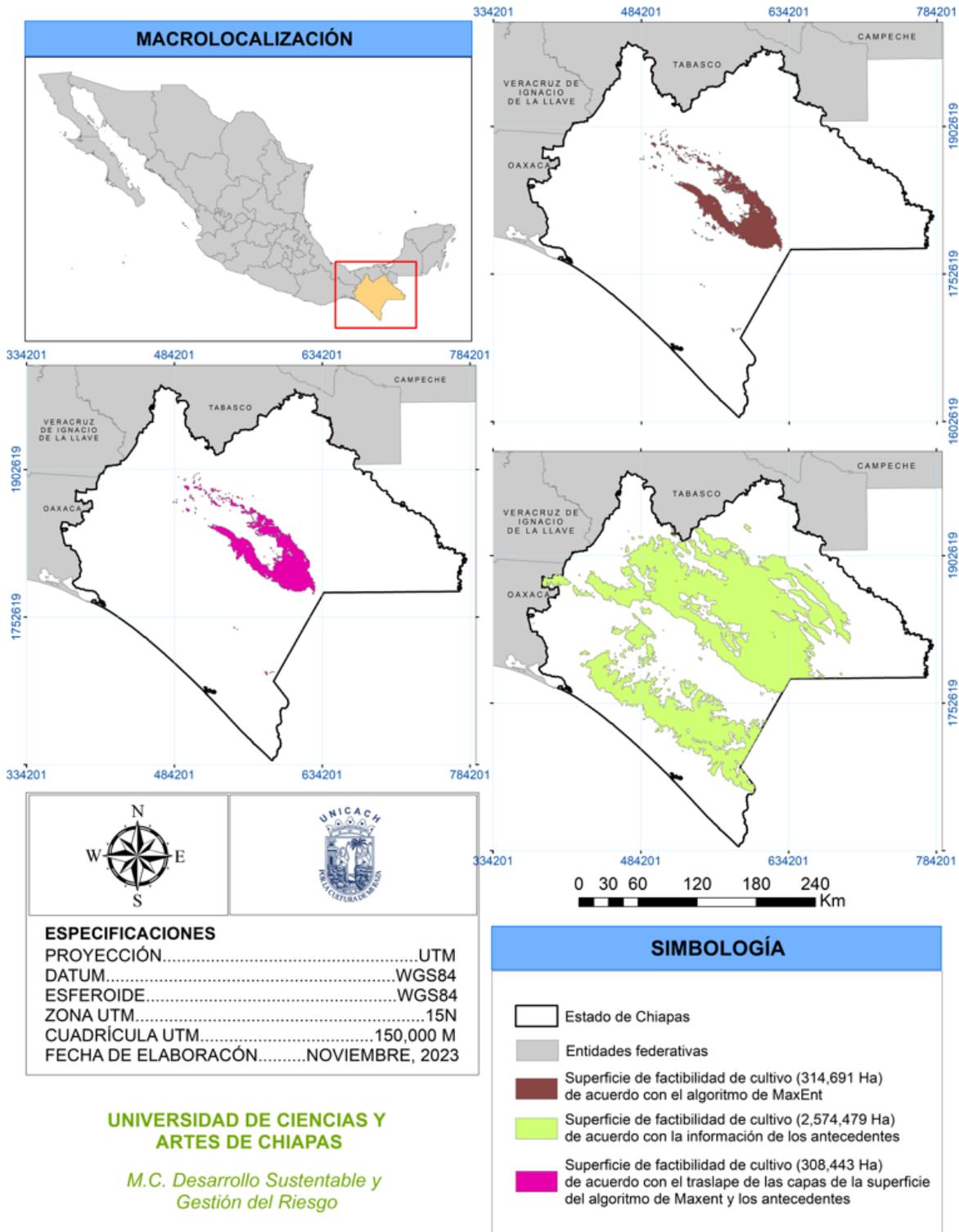


Figura 13. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Comiteco en Chiapas, México.

Cuadro 16. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de la raza de maíz Comiteco.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Rango medio diurno (BIO2)	17.6
Precipitación media para el mes de mayo	10
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	8.1
Precipitación media para el mes de octubre	6.1
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	5.7
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	5.5
Elevación	3.6
Isotermalidad (BIO3)	3.4
Temperatura mínima media para el mes de octubre	3.3
Otras	27.6

10.1.3.2 Olotillo

De acuerdo con los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 112.7 y 2,302 msnm, una precipitación acumulada de 196.16 a 1,695 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 4.7 y 26.15 °C (Cuadro 15).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 6,851,481 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 632,659 ha (Figura 13). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue la estacionalidad de las precipitaciones (BIO15) con 19.3% y la de menor contribución fue la precipitación media para el mes de noviembre con 1.9% (Cuadro 17).

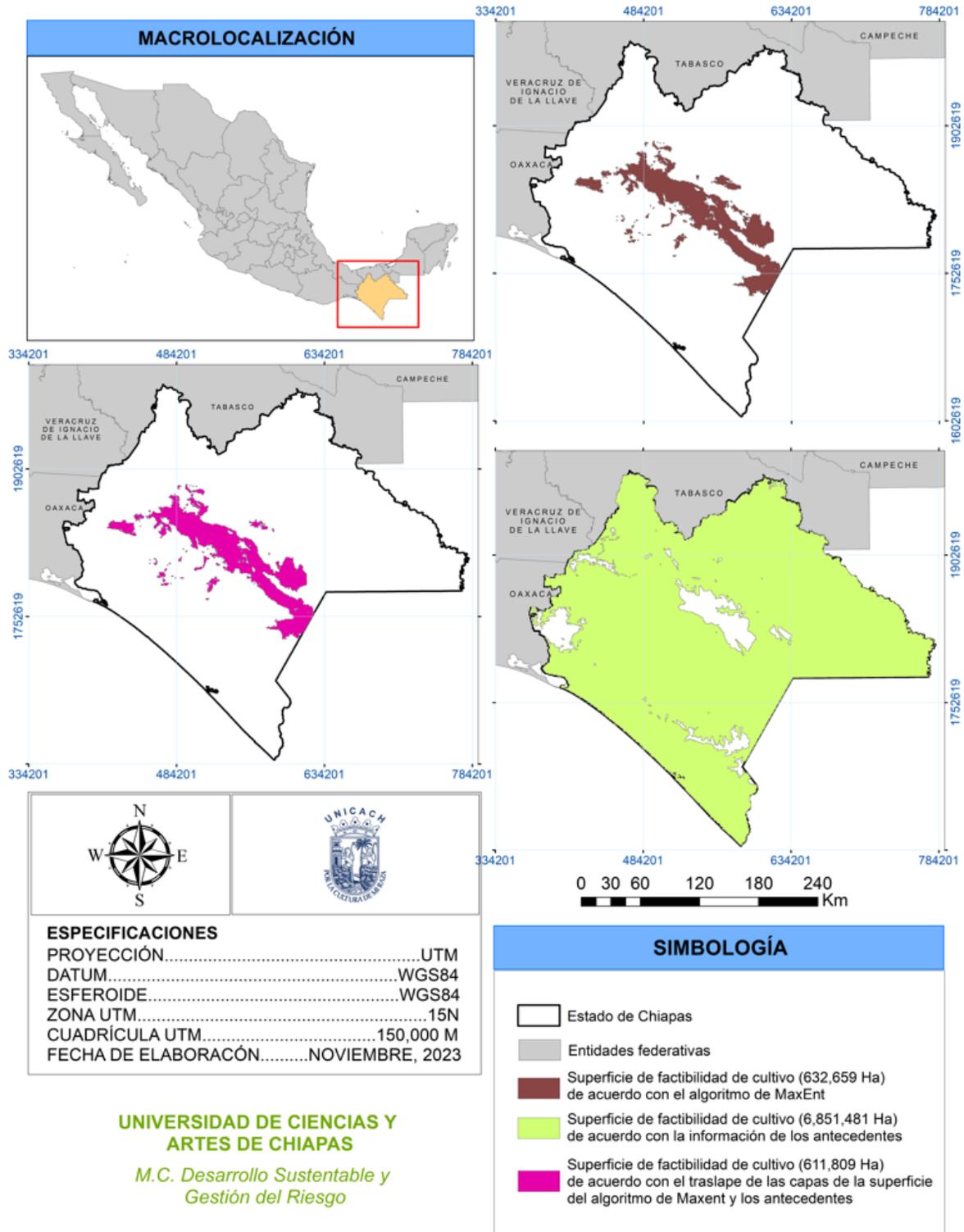


Figura 14. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Olotillo en Chiapas, México.

Cuadro 17. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de la raza de maíz Olotillo.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	19.3
Rango medio diario (BIO2)	15.1
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	14.9
Elevación	10.3
Precipitación media para el mes de diciembre	9.3
Precipitación media para el mes de octubre	8.6
Temperatura máxima media para el mes de junio	4.2
Precipitación media para el mes de julio	3.1
Precipitación media para el mes de mayo	2.8
Precipitación media para el mes de noviembre	1.9
Otras	1.4

10.1.3.3 Olotón

De acuerdo con los resultados de MaxEnt, las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de esta raza son: Una elevación de entre 384 y 2,732 msnm, una precipitación acumulada de 282.2 a 1,630 mm y una temperatura ambiental mensual de entre 4.4 y 21.13 °C (Cuadro 15).

De acuerdo con el análisis geográfico a partir de la literatura científica, esta raza tiene una superficie de cultivo de temporal de 2,320,887 ha, mientras que el modelo MaxEnt arrojó una factibilidad actual de superficie de cultivo de 286,507 ha (Figura 14). La variable que más contribuyó al modelo MaxEnt fue la elevación con 31.8% y la de menor contribución fue la precipitación del trimestre más cálido (BIO18) con 1.1% (Cuadro 18).

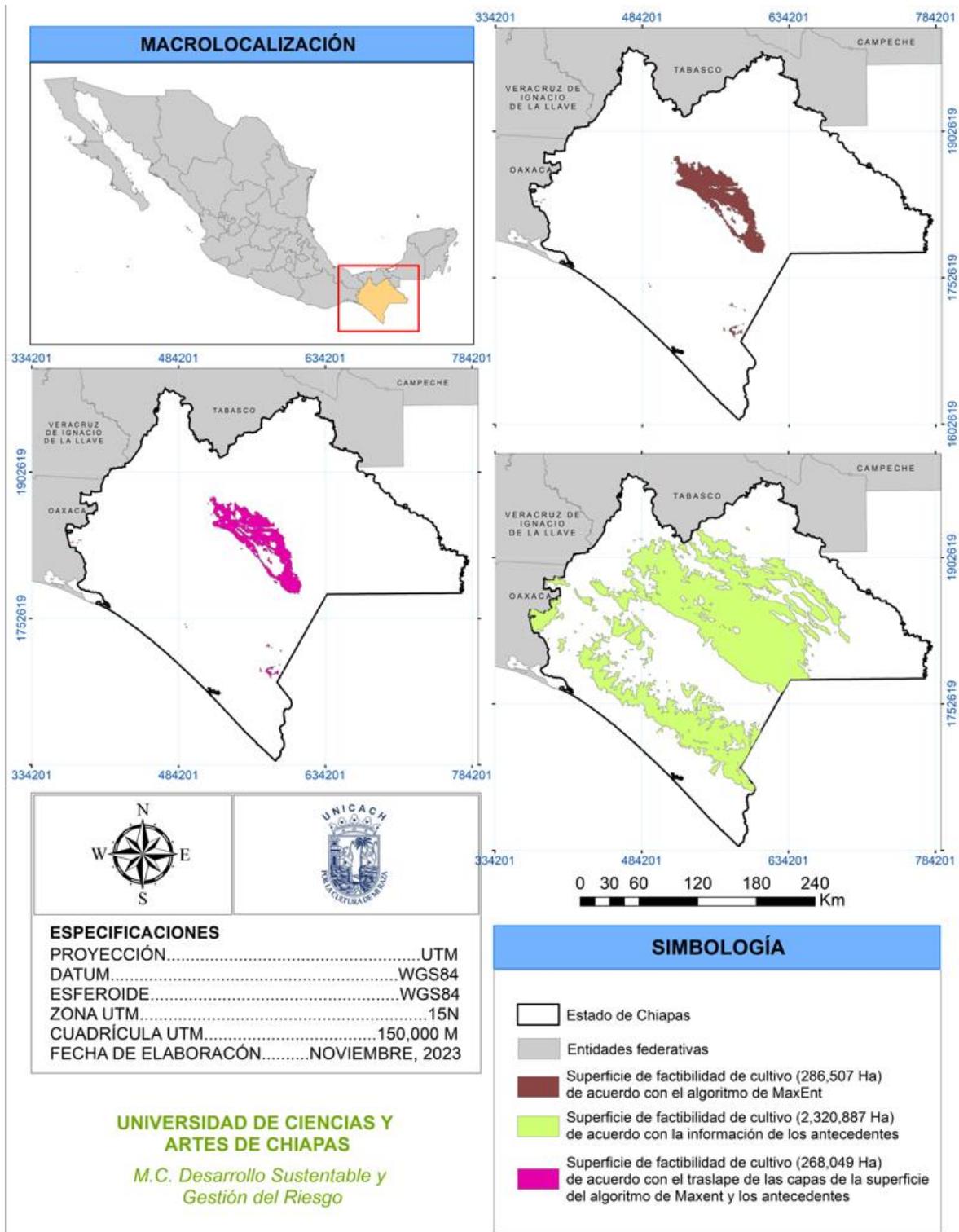


Figura 15. Mapa de factibilidad de cultivo de temporal de la raza de maíz Olotón en Chiapas, México.

Cuadro 18. Variables con mayor contribución en el modelo MaxEnt de factibilidad de cultivo de la raza de maíz Olotón.

VARIABLE	PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN
Elevación	31.8
Precipitación media para el mes de julio	22.4
Temperatura mínima media para el mes de junio	10
Rango medio diurno (BIO2)	7.3
Precipitación media para el mes de diciembre	6.7
Precipitación media para el mes de mayo	3.4
Temperatura máxima media para el mes de junio	3.4
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.5
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1.2
Precipitación media para el mes de agosto	1.1
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.1

10.2 Factibilidad de cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas, bajo escenarios de cambio climático antropogénico.

10.2.1 Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico)

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 (SSP 245) para la raza Zapalote Chico, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 728,708 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5 (SSP 585), la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 1,267,441 (Figura 16).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 74%, y la de menor contribución fue la temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.5% ; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 92.6%, y la de menos contribución fue la temperatura máxima media para el mes de julio con un 0.1% (Cuadro 19).

Cuadro 19. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Zapalote Chico al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	74	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	92.6
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	9.8	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	4.7
Temperatura mínima media para el mes de mayo	6.3	Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.3
Precipitación media para el mes de agosto	5.8	Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.3
Temperatura máxima media para el mes de mayo	3.7	Temperatura máxima media para el mes de julio	0.1
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.5		

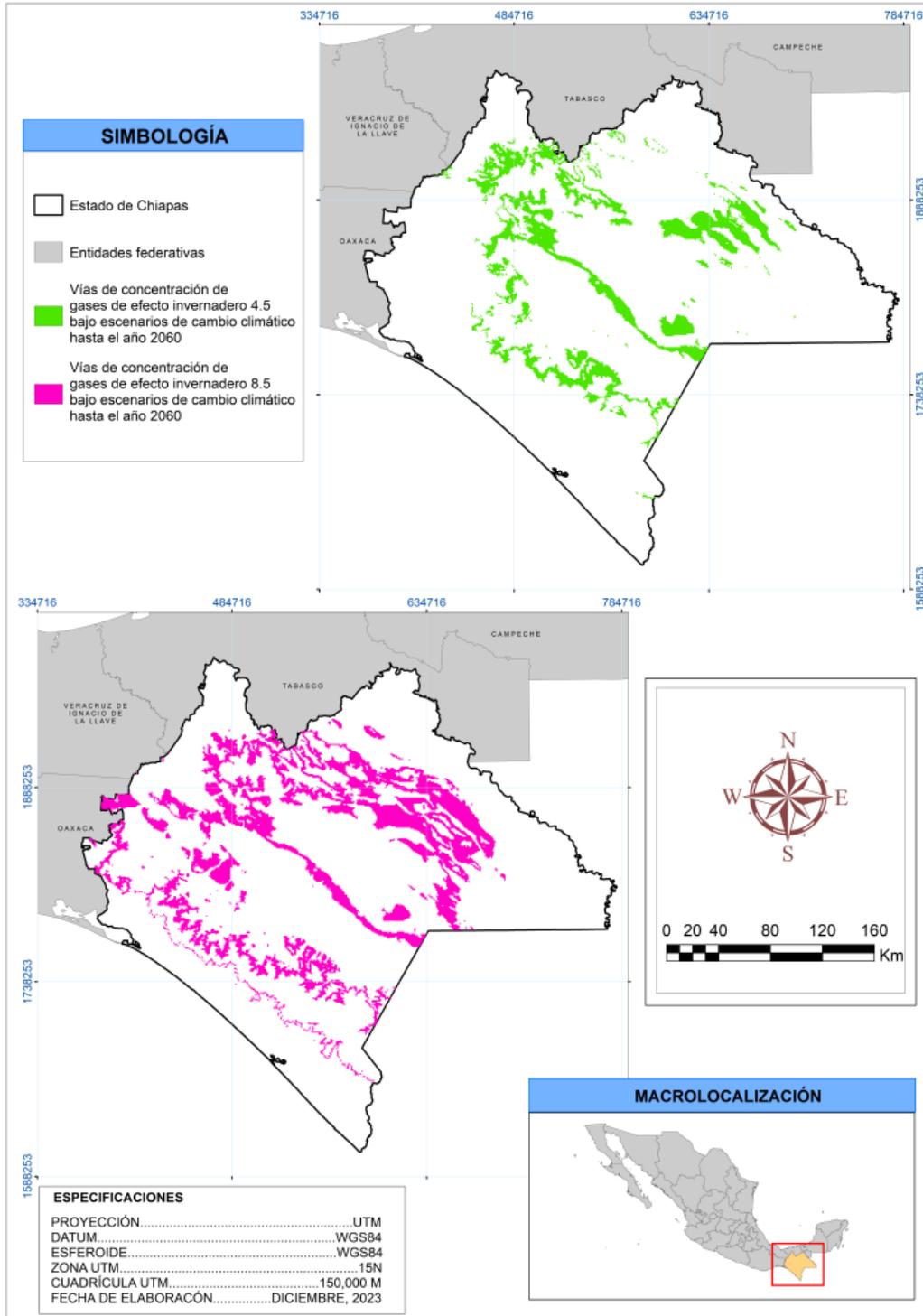


Figura 16. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Zapalote Chico de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 (SSP 245) para la raza Zapalote Chico, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 368,273 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5 (SSP 585), la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 490,703 ha (Figura 17).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 59.3%, y la de menor contribución fue la temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.3%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 89.1%, y la de menor contribución fue la temperatura máxima media para el mes de agosto con un 0.1% (Cuadro 20).

Cuadro 20. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Zapalote Chico al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	59.3	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	89.1
Precipitación media para el mes de agosto	16.9	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	10.6
Temperatura máxima media para el mes de mayo	10	Precipitación media del mes de agosto	0.1
Temperatura mínima media para el mes de mayo	7	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.1

Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	6.5	Temperatura máxima media para el mes de agosto	0.1
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.3		

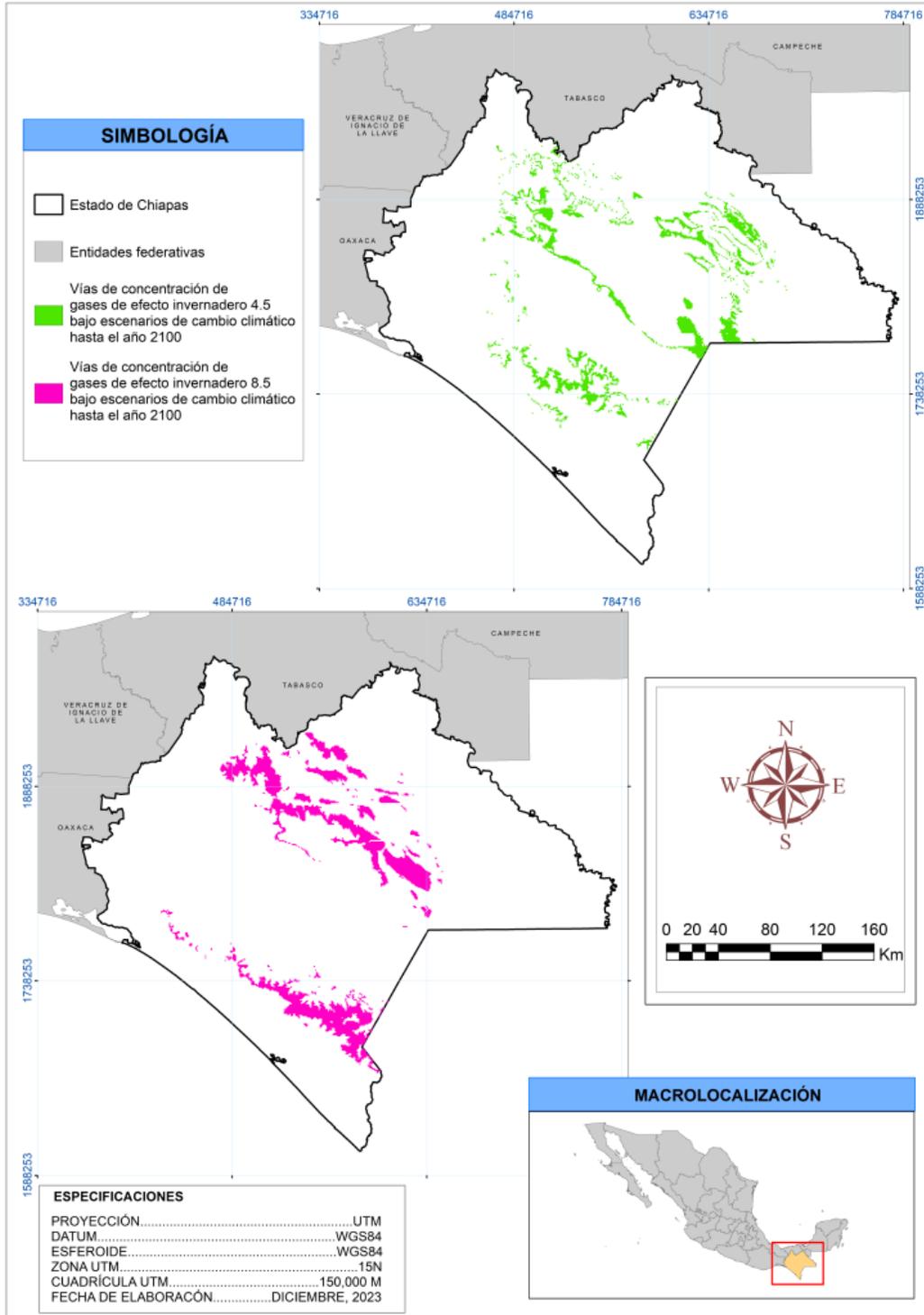


Figura 17. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Zapalote Chico de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.2 Grupo Dentados Tropicales (Cubano Amarillo, Tepecintle, Tuxpeño, Vandeño y Zapalote Grande)

10.2.2.1 Cubano Amarillo

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Cubano Amarillo, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 439,710 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 218,085 ha (Figura 18).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 22.8%, y la de menor contribución fue la temperatura mínima media para el mes de septiembre con un 0.2%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060; en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 27%, y la de menor contribución fue la Temperatura mínima media para el mes de septiembre con un 0.1% (Cuadro 21).

Cuadro 21. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Cubano Amarillo al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diurno (BIO2)	22.8	Rango medio diurno (BIO2)	27
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	15.3	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	18
Temperatura máxima media para el mes de mayo	13.6	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	12.9
Precipitación media para el mes de diciembre	6.1	Temperatura mínima media para el mes de junio	10.7
Temperatura mínima media para el mes de julio	5.9	Precipitación media para el mes de diciembre	6.9
Precipitación media para el mes de junio	5.5	Temperatura mínima media para el mes de julio	6.2
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.4	Precipitación media para el mes de junio	4.6
Temperatura mínima media para el mes de junio	5.3	Temperatura máxima media para el mes de mayo	3
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	3.8	Precipitación media para el mes de julio	2.2
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.4	Precipitación media para el mes de mayo	1.7
Temperatura máxima media para el mes de junio	2.2	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.4
Temperatura mínima media para el mes de mayo	2.1	Precipitación media para el mes de agosto	1.2
Precipitación media para el mes de julio	2	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.1
Precipitación media para el mes de mayo	1.9	Temperatura máxima media para el mes de junio	0.7
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.9	Precipitación media para el mes de septiembre	0.7

Precipitación media para el mes de agosto	1.2	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.7
Precipitación media para el mes de noviembre	0.9	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	0.6
Precipitación media para el mes de octubre	0.6	Precipitación media para el mes de octubre	0.2
Temperatura mínima media para el mes de agosto	0.5	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.1
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.2	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.1
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.2		
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.2		

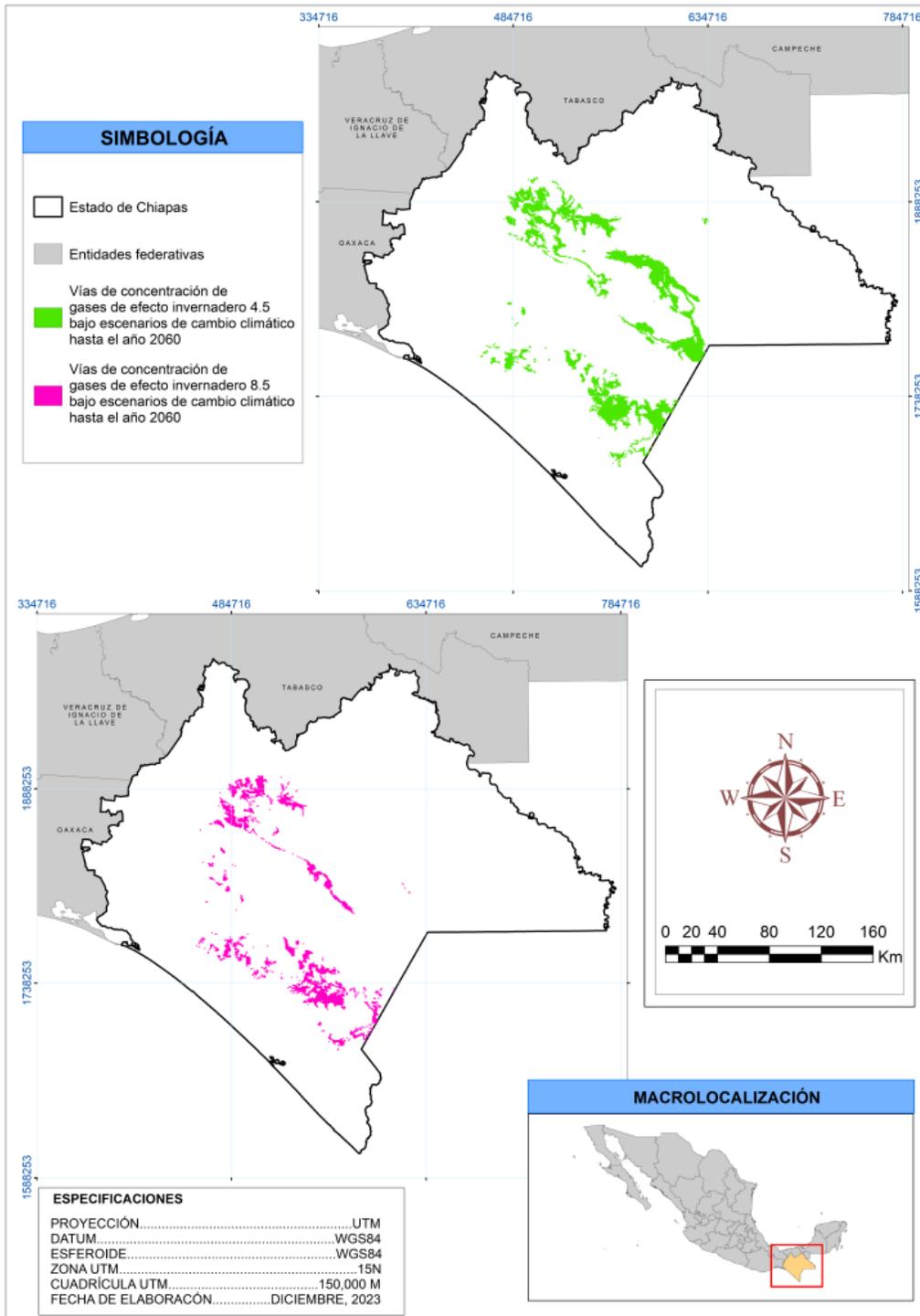


Figura 18. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Cubano Amarillo de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 (SSP 245) para la raza Cubano Amarillo, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 363,489 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5 (SSP 585), la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 19,167 ha (Figura 19).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 22.2%, y la de menor contribución fue la Temperatura máxima media para el mes de octubre con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 25.9%, y la de menor contribución fue la Temperatura máxima media para el mes de octubre con un 0.1% (Cuadro 22).

Cuadro 22. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Cubano Amarillo al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diario (BIO2)	22.2	Rango medio diario (BIO2)	25.9
Temperatura máxima media para el mes de junio	10.5	Temperatura mínima media para el mes de junio	13
Temperatura mínima media para el mes de julio	9.8	Temperatura máxima media para el mes de junio	10.5
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.9	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	9

Temperatura máxima media para el mes de mayo	6.8	Precipitación media para el mes de junio	6.4
Precipitación media para el mes de junio	6.1	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.8
Temperatura mínima media para el mes de junio	6	Temperatura mínima media para el mes de mayo	4.9
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.3	Temperatura mínima media para el mes de julio	3.6
Precipitación media para el mes de diciembre	4.9	Precipitación media para el mes de diciembre	3.5
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	4.3	Precipitación media para el mes de julio	3.5
Precipitación media para el mes de mayo	2.9	Temperatura máxima media para el mes de mayo	2.9
Precipitación media para el mes de julio	2.8	Precipitación media para el mes de mayo	2.3
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.9	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.6
Precipitación media para el mes de agosto	1.8	Precipitación media para el mes de octubre	1.5
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.7	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.3
Precipitación media para el mes de noviembre	1.6	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	1.2
Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.4	Temperatura mínima media para el mes de agosto	1
Precipitación media para el mes de octubre	1.4	Precipitación media para el mes de agosto	0.8
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.3	Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.5
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.1	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.4
Temperatura mínima media para el mes de agosto	0.1	Precipitación media para el mes de septiembre	0.4
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.1	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.1

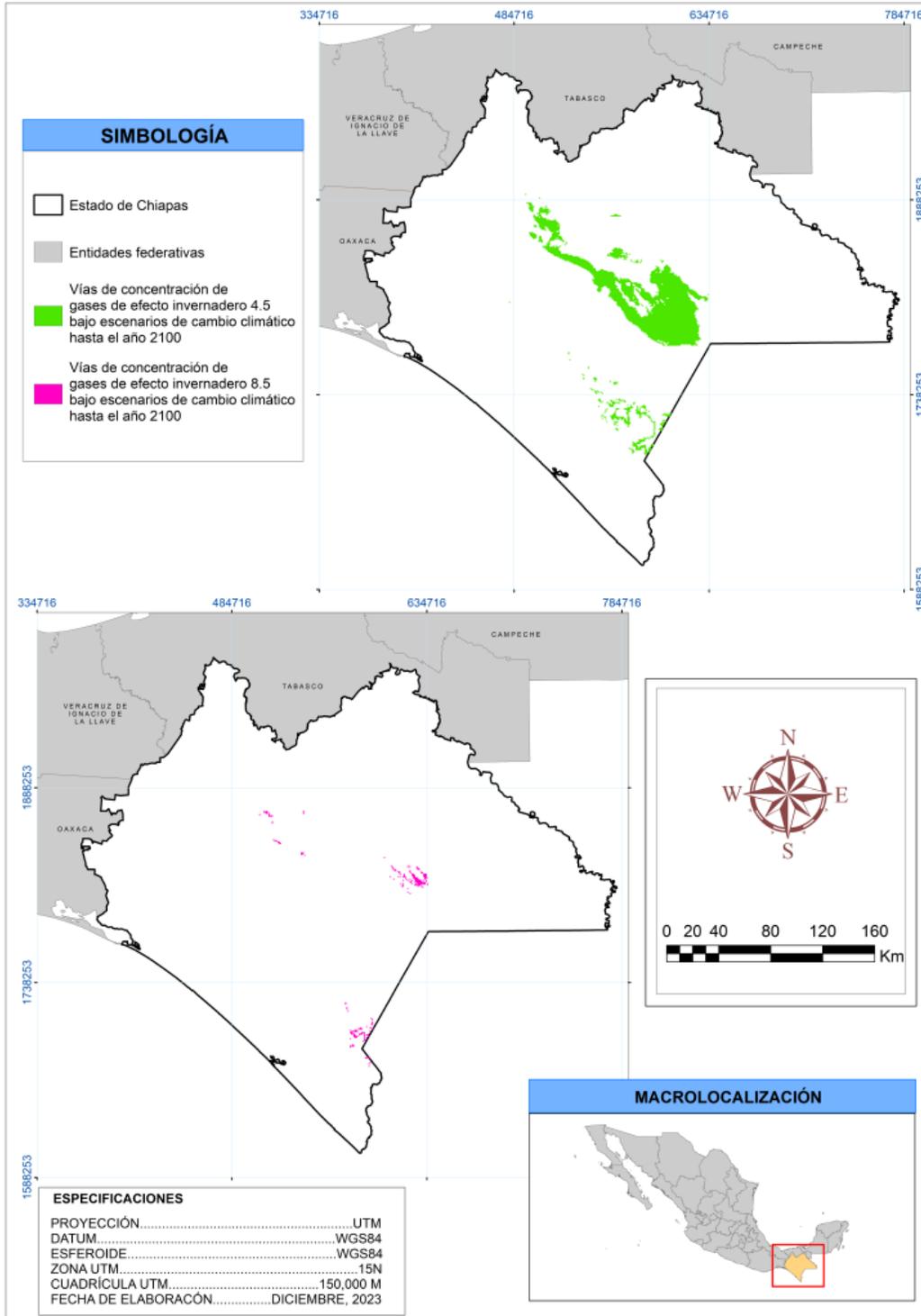


Figura 19. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Cubano Amarillo de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.2.2 Tepecintle

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 (SSP 245) para la raza Tepecintle, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 383,029 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 319,876 ha (Figura 20).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 20.4%, y la de menor contribución fue la temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 19.2%, y la de menor contribución fue temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.1% (Cuadro 23).

Cuadro 23. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Tepecintle al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Precipitación media para el mes de diciembre	20.4	Precipitación media para el mes de diciembre	19.2
Precipitación media para el mes de octubre	12.6	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	10.4
Rango medio diurno (BIO2)	11.9	Rango medio diurno (BIO2)	9.7
Temperatura máxima media para el mes de junio	11.8	Precipitación media para el mes de noviembre	7.8

Precipitación media para el mes de noviembre	8	Precipitación media para el mes de agosto	7.3
Precipitación media para el mes de agosto	6.5	Temperatura máxima media para el mes de junio	6.9
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	4.7	Precipitación media para el mes de octubre	6.5
Temperatura mínima media para el mes de mayo	3.9	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	5.6
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	3.8	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	5.3
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	3.8	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	3.3
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	3.5	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	3
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	2.7	Temperatura mínima media para el mes de mayo	2.4
Precipitación media para el mes de julio	1.6	Precipitación media para el mes de julio	1.8
Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.9	Isotermalidad	1.8
Isotermalidad	0.8	Temperatura mínima media para el mes de junio	1.7
Precipitación media para el mes de junio	0.8	Precipitación media para el mes de junio	1.7
Temperatura mínima media para el mes de junio	0.5	Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.5
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.5	Temperatura mínima media para el mes de octubre	1
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.5	Precipitación media para el mes de septiembre	0.9
Precipitación media para el mes de mayo	0.2	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.7
Precipitación media para el mes de septiembre	0.2	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.7
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.1	Temperatura máxima media para el mes de julio	0.3
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.1	Temperatura media del trimestre más frío (BIO10)	0.3
		Precipitación media para el mes de mayo	0.3

	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.1
--	---	-----

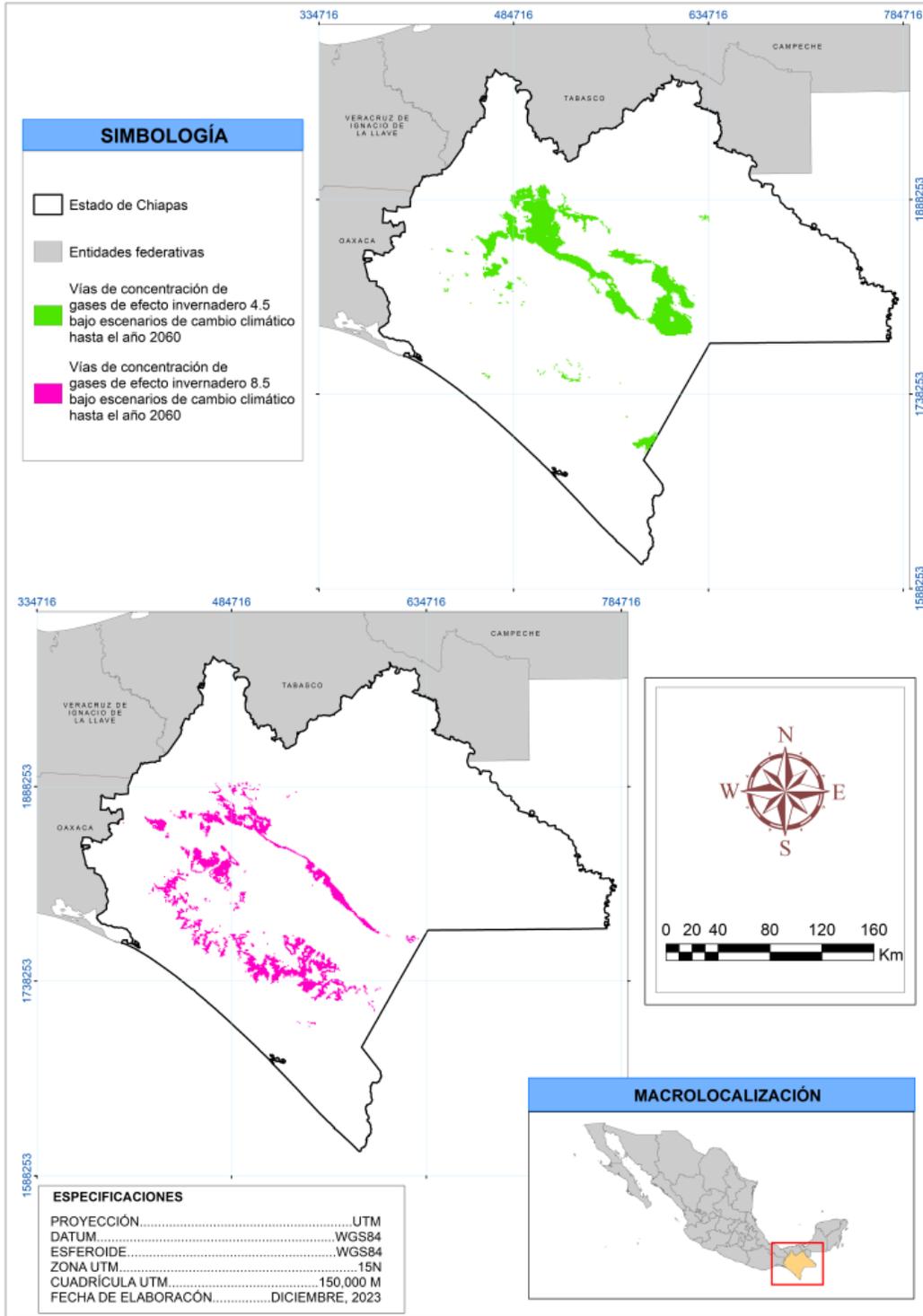


Figura 20. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Tepecintle de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Tepecintle, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 287,384 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 264,114 ha (Figura 21).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 21.7%, y la de menor contribución fue la temperatura máxima media para el mes de noviembre con un 0.3%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 13.4%, y la de menor contribución fue temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.1% (Cuadro 24).

Cuadro 24. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Tepecintle al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Precipitación media para el mes de diciembre	21.7	Precipitación media para el mes de diciembre	13.4
Precipitación media para el mes de octubre	12	Precipitación media para el mes de octubre	11.8
Temperatura máxima media para el mes de junio	11.1	Rango medio diurno (BIO2)	9.9
Precipitación media para el mes de noviembre	9.8	Precipitación media para el mes de noviembre	8.2
Rango medio diurno (BIO2)	9.5	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	8

Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	5	Temperatura mínima media para el mes de mayo	7.6
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	4.5	Temperatura máxima media para el mes de junio	7.5
Precipitación media para el mes de agosto	4.5	Precipitación media para el mes de agosto	5.8
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	3.8	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	5.4
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	2.8	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	4.6
Isotermalidad (BIO3)	2	Precipitación media para el mes de julio	2.5
Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.9	Temperatura mínima media para el mes de octubre	2.4
Precipitación media para el mes de julio	1.8	Precipitación media para el mes de septiembre	2.2
Temperatura mínima media para el mes de octubre	1.5	Precipitación media para el mes de junio	2.1
Precipitación media para el mes de septiembre	1.2	Temperatura máxima para el mes más cálido (BIO5)	2
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.1	Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.4
Precipitación media para el mes de junio	1	Isotermalidad (BIO3)	1.2
Temperatura mínima media para el mes de junio	0.9	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.9	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.8
Precipitación media del mes de mayo	0.8	Temperatura máxima media para el mes de julio	0.7
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.8	Precipitación media para el mes de mayo	0.6
Temperatura máxima media del mes de julio	0.5	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.3
Temperatura máxima media para el mes de agosto	0.5	Temperatura mínima media para el mes de junio	0.2
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.3	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.1

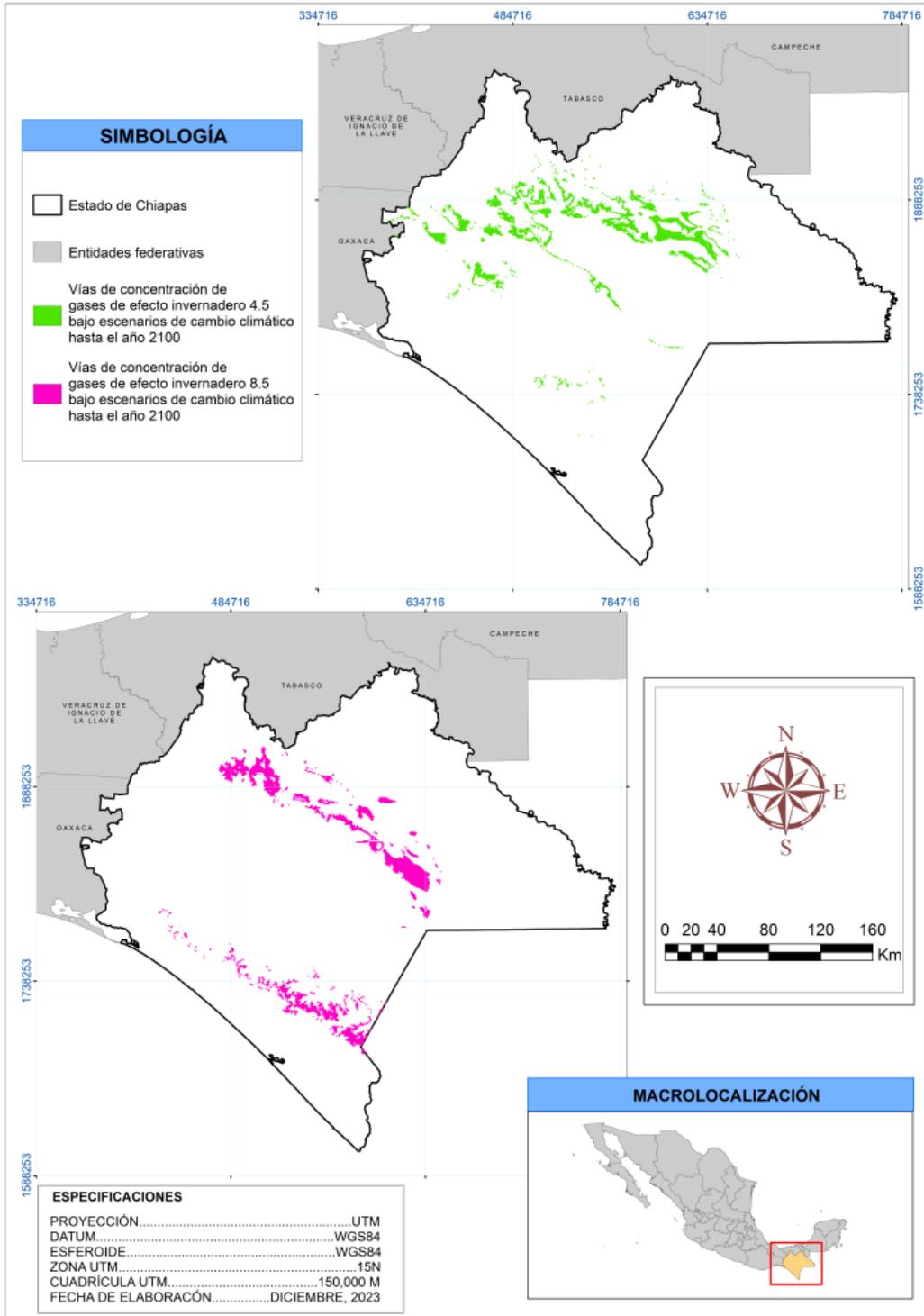


Figura 21. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Tepecintle de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.2.3 Tuxpeño

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Tuxpeño, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 622,971 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 454,994 ha (Figura 22).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diurno (BIO2) con un 26.9%, y la de menor contribución fue la temperatura media del trimestre más cálido (BIO8) con un 0.5%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue el Rango medio diurno (BIO2) con un 34.5%, y la de menor contribución fue la temperatura mínima media para el mes de julio con un 0.4% (Cuadro 25).

Cuadro 25. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Tuxpeño al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diurno (BIO2)	26.9	Rango medio diurno (BIO2)	34.5
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	21.5	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	14.6
Temperatura máxima media para el mes de junio	4.8	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	4.9
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	4.4	Temperatura máxima media para el mes de junio	4.5

Precipitación media para el mes de septiembre	3.7	Precipitación media para el mes de diciembre	3.6
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	3.4	Precipitación media para el mes de septiembre	3.1
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	3.2	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	3
Isotermalidad (BIO3)	2.9	Isotermalidad (BIO3)	3
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	2.8	Precipitación anual (BIO12)	2.8
Precipitación media para el mes de octubre	2.7	Precipitación media para el mes de mayo	2.7
Precipitación media para el mes de julio	2.3	Precipitación media para el mes de julio	2.5
Precipitación media para el mes de diciembre	2	Temperatura máxima media para el mes de julio	2.2
Temperatura máxima media para el mes de agosto	2	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.2
Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.9	Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.8
Precipitación media para el mes de junio	1.7	Precipitación media para el mes de agosto	1.7
Precipitación anual (BIO12)	1.4	Precipitación media para el mes de junio	1.6
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	1.4	Precipitación del mes más cálido (BIO13)	1.4
Temperatura mínima media para el mes de octubre	1.3	Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.1
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1.3	Temperatura media del trimestre más cálido (BIO8)	1
Precipitación media para el mes de agosto	1.1	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.9
Temperatura mínima media para el mes de julio	1.1	Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.9
Temperatura máxima media para el mes de julio	1	Precipitación media para el mes de octubre	0.9
Temperatura media anual (BIO1)	0.8	Temperatura máxima media para el mes de mayo	0.9
Precipitación del mes más cálido (BIO13)	0.7	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.8

Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.7	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.4
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO8)	0.5	Temperatura media anual (BIO1)	0.4
		Temperatura mínima media para el mes de julio	0.4

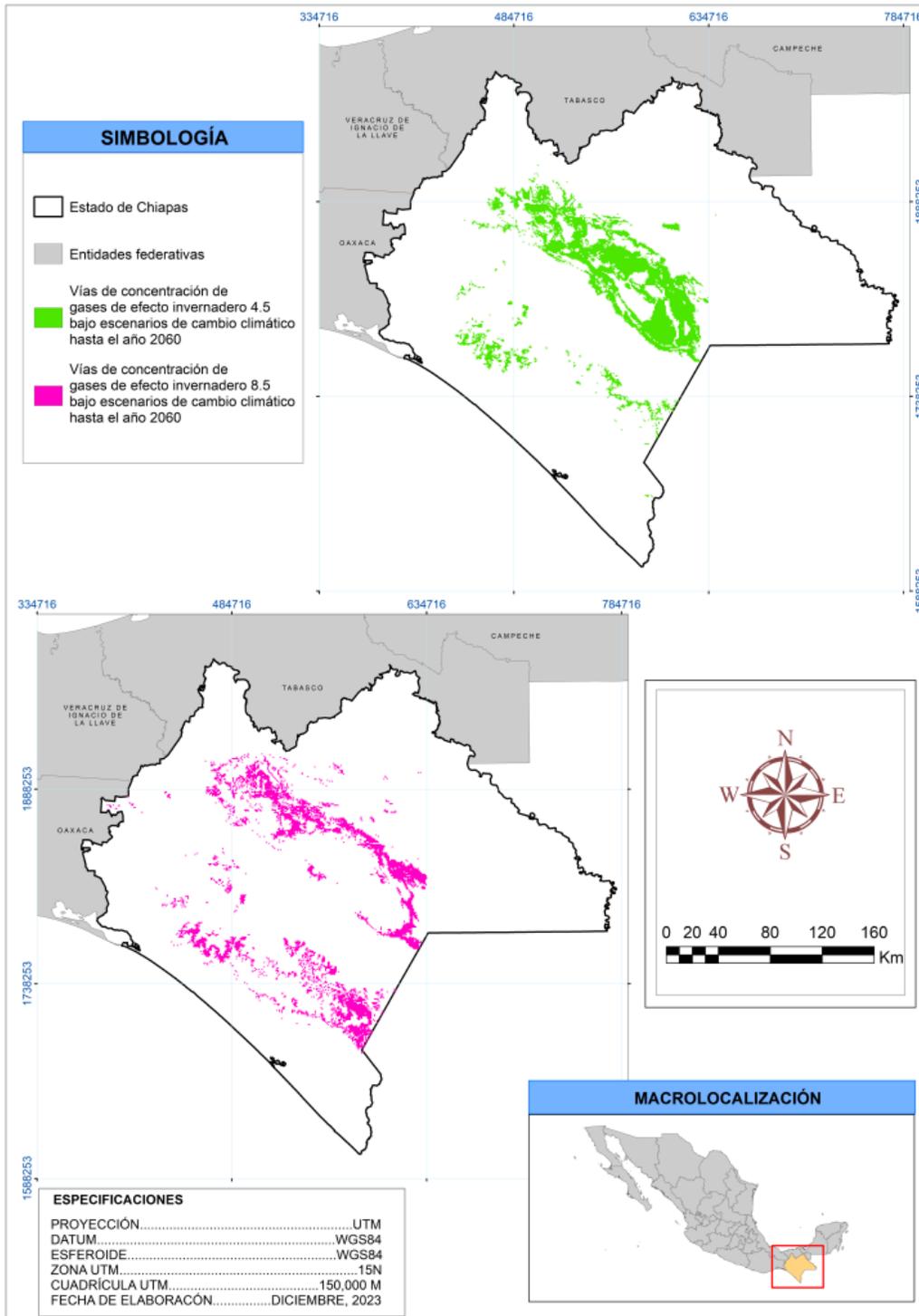


Figura 22. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Tuxpeño de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Tuxpeño, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 591,708 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 172,365 ha (Figura 23).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 34.7%, y la de menor contribución fue la Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8) con un 0.3%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 31.5%, y la de menor contribución fue la temperatura mínima media para el mes de octubre con un 0.3% (Cuadro 26).

Cuadro 26. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Tuxpeño al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diario (BIO2)	34.7	Rango medio diario (BIO2)	31.5
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	14.3	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	14.1
Precipitación media para el mes de septiembre	5.5	Temperatura máxima media para el mes de junio	5.5
Temperatura máxima media para el mes de junio	5	Isotermalidad (BIO3)	4.8
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.7	Precipitación media para el mes de septiembre	4.5

Precipitación Anual (BIO12)	3.7	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	4.3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	3.5	Precipitación media para el mes de octubre	3.3
Isotermalidad (BIO3)	3.2	Precipitación media para el mes de mayo	2.9
Precipitación media para el mes de octubre	2.7	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.8
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.6	Precipitación Anual (BIO12)	2.6
Precipitación media para el mes de mayo	2.5	Precipitación media para el mes de junio	2.3
Precipitación media para el mes de julio	2.3	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	2.3
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	1.9	Precipitación media para el mes de diciembre	2.2
Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.8	Temperatura máxima media para el mes de julio	2.1
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	1.8	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1.9
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.7	Precipitación media para el mes de julio	1.8
Precipitación media para el mes de junio	1.5	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	1.6
Precipitación media para el mes de diciembre	1.5	Temperatura máxima media para el mes de agosto	1.6
Temperatura máxima media para el mes de mayo	1	Precipitación media para el mes de agosto	1.4
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.8	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	1.1
Precipitación del trimestre más húmedo	0.8	Temperatura mínima media para el mes de mayo	1
Temperatura mínima media para el mes de julio	0.6	Temperatura máxima media para el mes de mayo	0.9
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.6	Temperatura mínima media para el mes de julio	0.9
Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.5	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.8
Precipitación del mes más húmedo (BIO16)	0.5	Temperatura media anual (BIO1)	0.8

Precipitación media para el mes de agosto	0.5	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.6
Temperatura media anual (BIO1)	0.4	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.4
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.3	Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.3

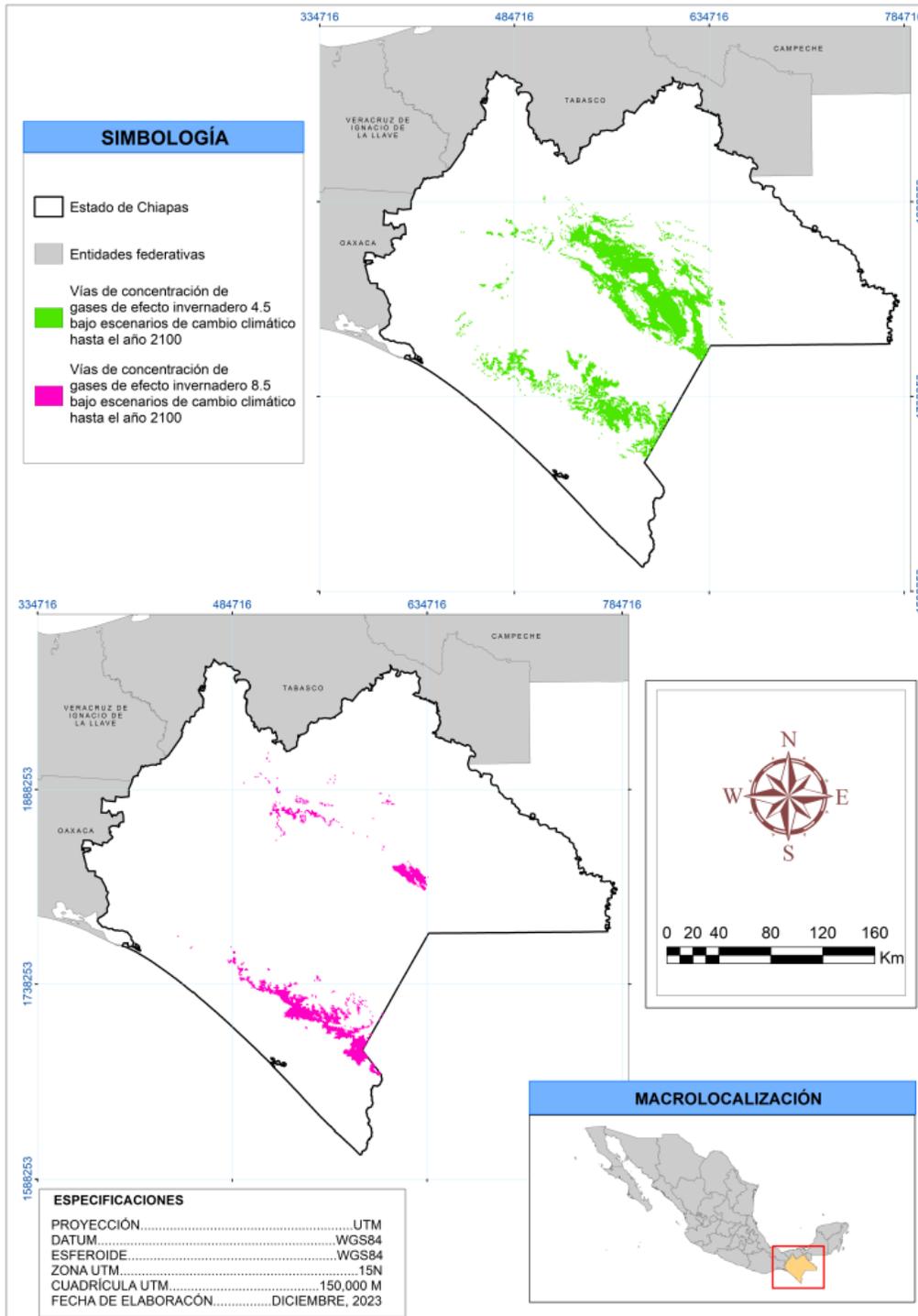


Figura 23. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Tuxpeño de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.2.4 Vandeño

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Vandeño, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 305,520 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 184,916 ha (Figura 24).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diurno (BIO2) con un 30.2%, y la de menor contribución fue precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.2%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue el Rango medio diurno (BIO2) con un 31.3%, y la de menor contribución fue la Temperatura mínima media para el mes de mayo con un 0.1% (Cuadro 27).

Cuadro 27. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Vandeño al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diurno (BIO2)	30.2	Rango medio diurno (BIO2)	31.3
Precipitación media para el mes de diciembre	18.1	Precipitación media para el mes de diciembre	19.9
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	10.3	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	8.5
Temperatura máxima media para el mes de mayo	7.4	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	6.4

Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	6.7	Temperatura máxima media para el mes de agosto	3.9
Temperatura máxima media para el mes de agosto	3.9	Temperatura máxima media para el mes de mayo	3.8
Precipitación media para el mes de agosto	3.4	Precipitación media para el mes de octubre	3.3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	3.3	Precipitación media para el mes de octubre	3.1
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	2.6	Temperatura máxima media para el mes de junio	2.9
Precipitación del trimestre más cálido	2	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.7
Temperatura mínima media para el mes de junio	1.7	Precipitación media para el mes de noviembre	2.2
Precipitación media para el mes de octubre	1.5	Precipitación media para el mes de julio	1.9
Temperatura máxima media para el mes de junio	1.3	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO18)	1.3
Precipitación media para el mes de septiembre	1.3	Precipitación media del mes de mayo	1.2
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.9	Temperatura máxima media para el mes de julio	1.1
Precipitación media para el mes de mayo	0.9	Precipitación media para el mes de septiembre	1
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.8	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	0.9
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.8	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.8
Precipitación media para el mes de noviembre	0.7	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.8
Precipitación media para el mes de junio	0.7	Precipitación media para el mes de junio	0.7
Precipitación media para el mes de julio	0.5	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.6
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.4	Temperatura mínima media para el mes de junio	0.6
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.3	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.5
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.2	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.3

	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.2
	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.1

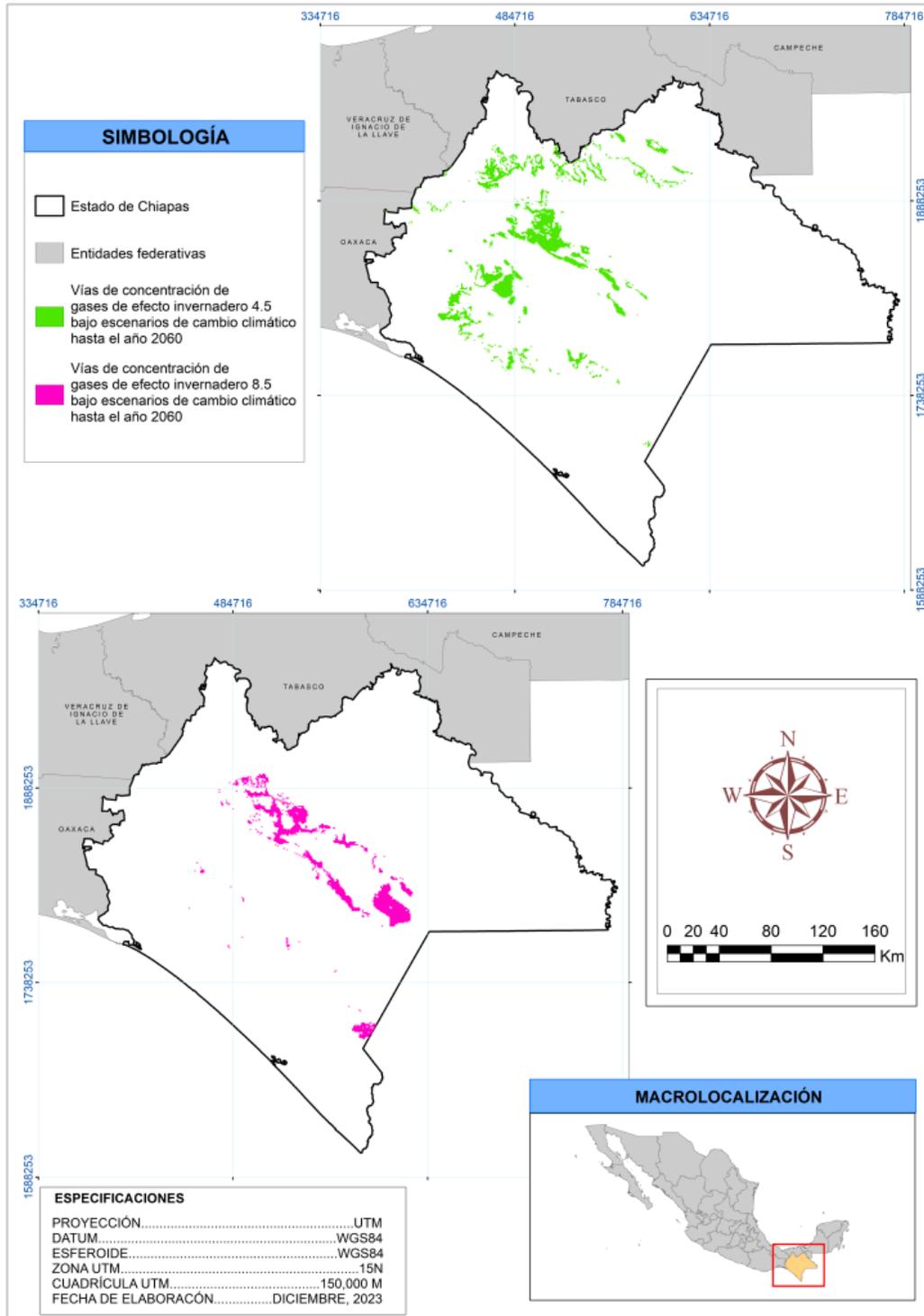


Figura 24. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Vandeño de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Vandeano, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 921,418 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 164 ha (Figura 25).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 34.9%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 27.2%, y la de menor contribución fue la Precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.2% (Cuadro 28).

Cuadro 28. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Vandeano al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diario (BIO2)	34.9	Rango medio diario (BIO2)	27.2
Precipitación media para el mes de diciembre	21.8	Precipitación media para el mes de diciembre	17
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	5.8	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	14.7
Temperatura máxima media para el mes de mayo	5.6	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.7
Temperatura máxima media para el mes de agosto	4.4	Temperatura máxima media para el mes de agosto	5.3
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	3.9	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	4.2

Precipitación media para el mes de agosto	3.8	Precipitación media para el mes de octubre	3.5
Precipitación media para el mes de octubre	3.4	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.7
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	3.2	Precipitación media para el mes de agosto	2.3
Precipitación media para el mes de julio	2.5	Temperatura máxima media para el mes de julio	2.3
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2	Temperatura máxima media para el mes de junio	2.1
Precipitación media para el mes de noviembre	1.2	Precipitación media para el mes de julio	1.9
Temperatura mínima media para el mes de junio	1	Temperatura mínima media para el mes de junio	1.6
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	0.9	Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.5
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.9	Precipitación media para el mes de noviembre	1.3
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.8	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.1
Precipitación media para el mes de septiembre	0.6	Precipitación media para el mes de junio	0.7
Precipitación media para el mes de mayo	0.6	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.7
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.5	Precipitación media para el mes de septiembre	0.6
Precipitación media para el mes de junio	0.4	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.5
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.4	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.3
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.4	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.3
Temperatura máxima media para el mes de junio	0.2	Precipitación media para el mes de mayo	0.2
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.2	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.2
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.1	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.2

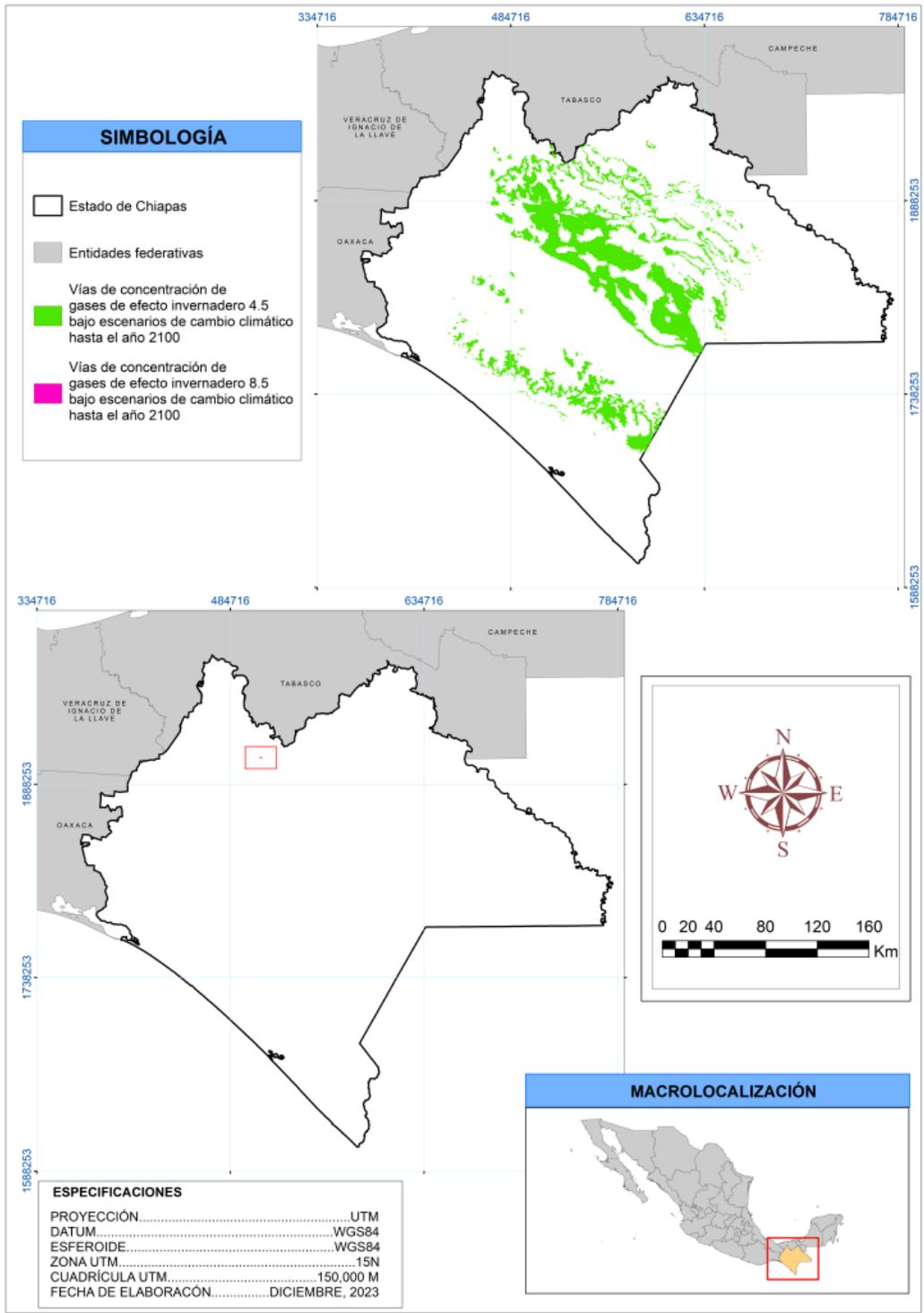


Figura 25. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Vandeño de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.2.5 Zapalote Grande

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Zapalote Grande, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 913,752 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 760,014 ha (Figura 26).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 21.9%, y la de menor contribución fue la Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10) con un 0.4%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue la precipitación media para el mes de diciembre con un 21.8%, y la de menor contribución fue la Temperatura media anual (BIO1) con un 0.1% (Cuadro 29).

Cuadro 29. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Zapalote Grande al 2060.

2060			
SSP245		SSP585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Precipitación media para el mes de diciembre	21.9	Precipitación media para el mes de diciembre	21.8
Rango medio diurno (BIO2)	16.2	Rango medio diurno (BIO2)	18.5
Precipitación media para el mes de octubre	10.6	Precipitación media para el mes de octubre	16

Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	10.5	Temperatura máxima media para el mes de mayo	12.8
Precipitación media para el mes de noviembre	8.4	Precipitación media para el mes de septiembre	8.4
Precipitación media para el mes de septiembre	6.1	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.1
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	4.6	Precipitación media para el mes de mayo	3.6
Temperatura máxima media para el mes de mayo	3.7	Temperatura máxima media para el mes de junio	3.1
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	3.3	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.8
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	3	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	1.9
Temperatura máxima media para el mes de junio	2.7	Precipitación media para el mes de noviembre	1.5
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.7	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.9
Precipitación media para el mes de julio	1.9	Precipitación media para el mes de julio	0.8
Precipitación media para el mes de mayo	1.2	Precipitación media para el mes de agosto	0.4
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	1.1	Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.2
Precipitación media para el mes de agosto	0.8	Isotermalidad (BIO3)	0.1
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.7	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.1
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.5	Temperatura media anual (BIO1)	0.1
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.4		

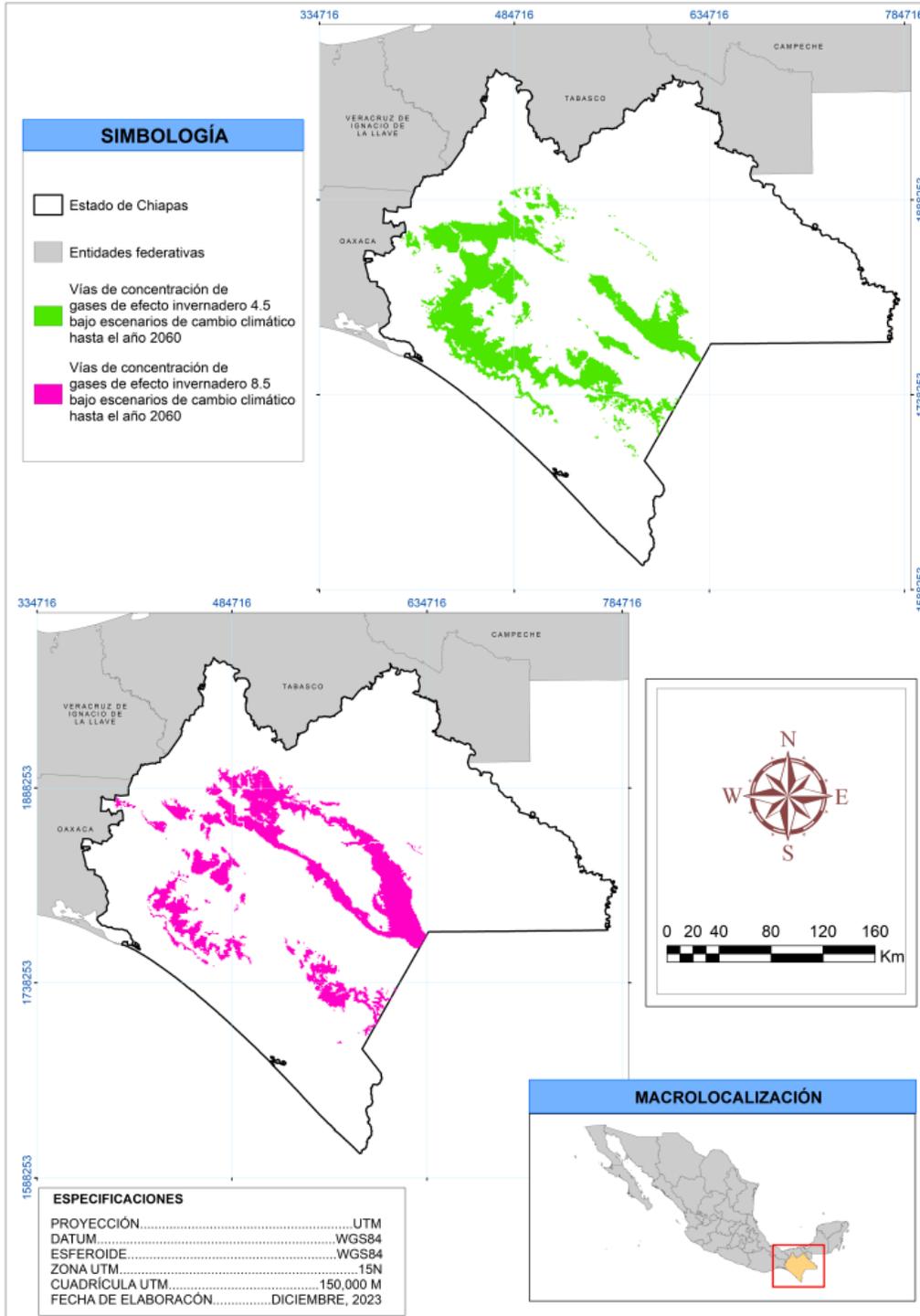


Figura 26. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Zapalote Grande de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Zapalote Grande, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 84,283 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 16,568 ha (Figura 27).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la precipitación media para el mes de octubre con un 21.5%, y la de menor contribución fue la temperatura máxima media para el mes de julio con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue la precipitación media para el mes de octubre con un 23.4%, y la de menor contribución fue la Precipitación media para el mes de julio con un 0.2% (Cuadro 30).

Cuadro 30. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Zapalote Grande al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Precipitación media para el mes de octubre	21.5	Precipitación media para el mes de octubre	23.4
Rango medio diurno (BIO2)	14.9	Precipitación media para el mes de diciembre	16.3
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	12.2	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	13.7
Precipitación media para el mes de diciembre	12	Rango medio diurno (BIO2)	13.5

Precipitación media para el mes de septiembre	7.9	Precipitación media para el mes de septiembre	8.7
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.5	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	4.9
Precipitación media para el mes de noviembre	5.3	Precipitación media para el mes de noviembre	4.7
Temperatura máxima media para el mes de mayo	5.3	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	3.1
Temperatura máxima media para el mes de junio	3.2	Temperatura máxima media para el mes de mayo	3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.6	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.7
Temperatura media anual (BIO1)	2.6	Temperatura máxima media para el mes de junio	2.3
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2.3	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1.3
Precipitación media para el mes de mayo	1.9	Precipitación media para el mes de mayo	0.5
Precipitación media para el mes de julio	0.9	Temperatura media anual (BIO1)	0.5
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	0.6	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.4
Precipitación media para el mes de agosto	0.5	Precipitación anual (BIO12)	0.3
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.4	Precipitación media para el mes de agosto	0.2
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.3	Temperatura máxima media para el mes de julio	0.2
Temperatura máxima media para el mes de julio	0.1	Precipitación media para el mes de julio	0.2

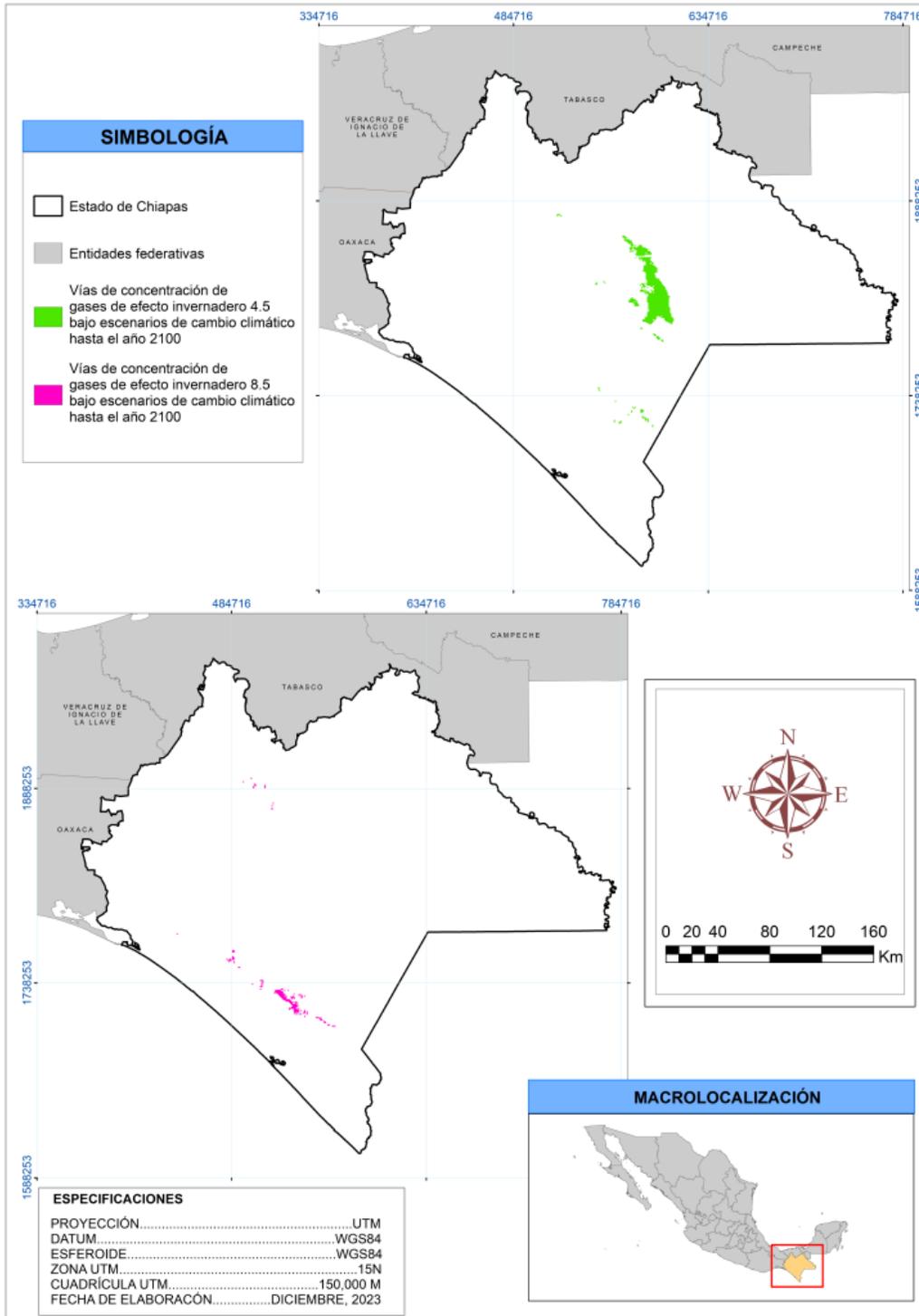


Figura 27. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Zapalote Grande de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.3 Grupo Maduración Tardía (Comiteco, Olotillo y Olotón)

10.2.3.1 Comiteco

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Comiteco, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 79,303 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5 la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 94,946 ha (Figura 28).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diurno (BIO2) con un 16.4%, y la de menor contribución fue la Temperatura máxima media para el mes de noviembre con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue el Rango medio diurno (BIO2) con un 15.4%, y la de menor contribución fue la Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) con un 0.1% (Cuadro 31).

Cuadro 31. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Comiteco al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diurno (BIO2)	16.4	Rango medio diurno (BIO2)	15.4
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	10.6	Temperatura mínima media para el mes de diciembre	14.7
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	6.5	Precipitación media para el mes de mayo	8.8
Precipitación media para el mes de mayo	6.4	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	7.4
Precipitación media para el mes de junio	5	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	7
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	5	Precipitación media para el mes de junio	4.4
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	4.2	Precipitación media para el mes de octubre	3.3
Temperatura mínima media para el mes de octubre	3.8	Precipitación media para el mes de septiembre	3.2
Temperatura mínima media para el mes de agosto	3.6	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	3.1
Precipitación Anual (BIO12)	3.4	Temperatura máxima media para el mes de junio	3.1
Precipitación media para el mes de octubre	3	Precipitación anual (BIO12)	2.7
Temperatura máxima media para el mes de junio	2.9	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	2.7
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	2.8	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	2.7
Precipitación media para el mes de noviembre	2.5	Precipitación media para el mes de noviembre	2.4
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	2.3	Temperatura mínima media para el mes de agosto	2.3
Precipitación media para el mes de julio	2.2	Isotermalidad (BIO3)	1.9

Precipitación media para el mes de septiembre	2.2	Temperatura mínima media para el mes de octubre	1.7
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	2	Precipitación media para el mes de agosto	1.6
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	2	Temperatura máxima media para el mes de octubre	1.6
Isotermalidad (BIO3)	1.9	Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.4
Precipitación media para el mes de agosto	1.9	Precipitación media para el mes de diciembre	1.4
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1.9	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.4
Temperatura media anual (BIO1)	1.2	Precipitación media para el mes de julio	1.2
Precipitación media para el mes de diciembre	0.9	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	1
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.5	Temperatura máxima media para el mes de mayo	0.9
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.5	Temperatura máxima media para el mes de julio	0.9
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.5	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.9
Temperatura máxima media para el mes de mayo	0.5	Temperatura media anual (BIO1)	0.5
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.3	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.3
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.1	Precipitación del trimestre más húmedo (Bio16)	0.2
		Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.1

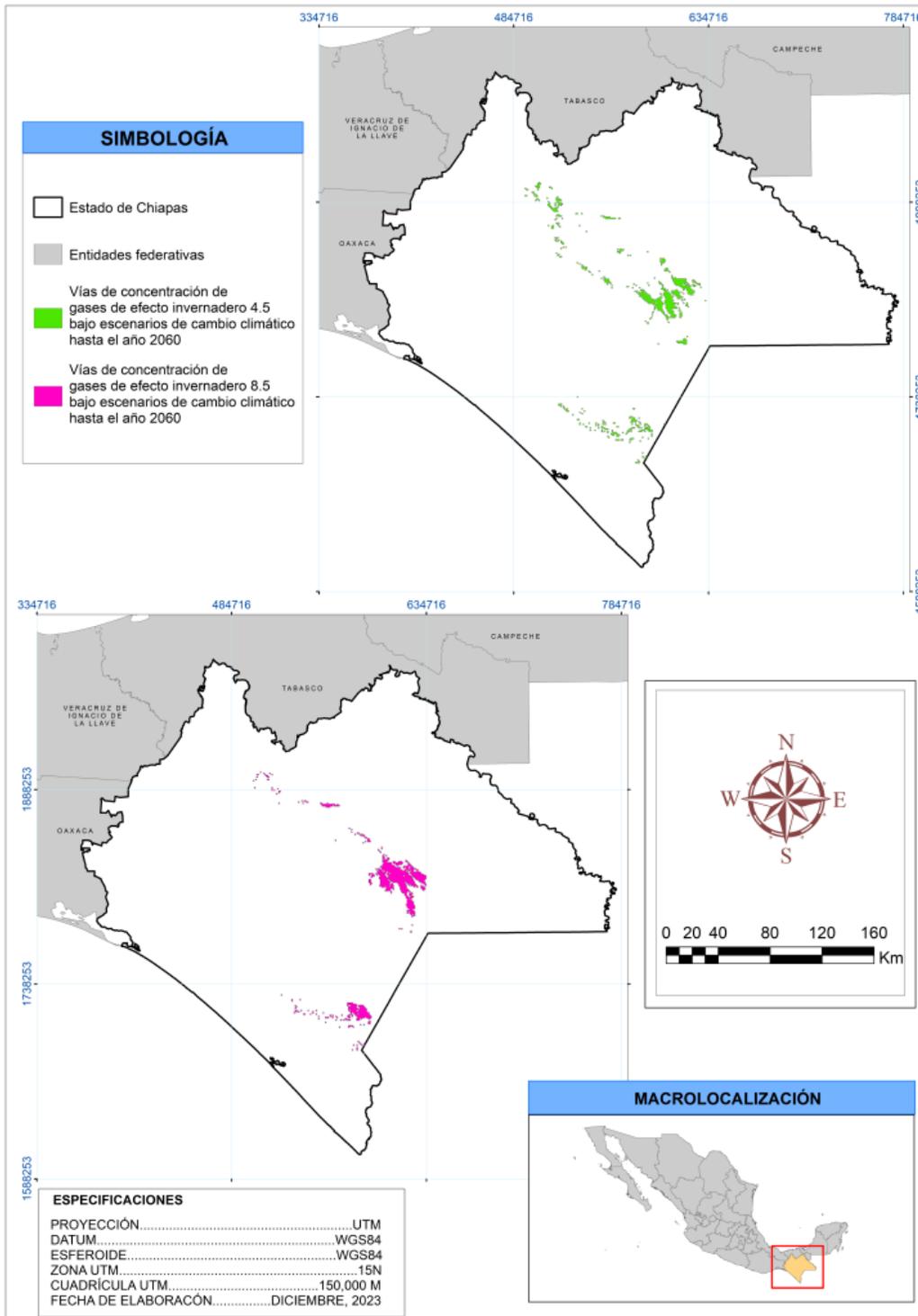


Figura 28. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Comiteco de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Comiteco, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 155,059 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 6,440 ha (Figura 29).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 16.9%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.3%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 17.2%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.3% (Cuadro 32).

Cuadro 32. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Comiteco al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diario (Media mensual (BIO2))	16.9	Rango medio diario (Media mensual (BIO2))	17.2
Precipitación media para el mes de mayo	8.4	Temperatura mínima media para el mes de diciembre	10.4
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	7.1	Precipitación media para el mes de mayo	8.8
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	7.1	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	6.2
Temperatura mínima media para el mes de agosto	6.1	Temperatura mínima media para el mes de agosto	5.6
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	5.7	Precipitación media para el mes de octubre	5

Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	5.5	Precipitación media para el mes de junio	4.7
Precipitación media para el mes de octubre	4.1	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	4.5
Precipitación media para el mes de junio	4	Precipitación Anual (BIO12)	3
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.7	Temperatura máxima media para el mes de junio	3
Precipitación Anual (BIO12)	3.7	Temperatura mínima media para el mes de octubre	2.9
Temperatura máxima media para el mes de junio	3	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	2.9
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	2.7	Precipitación media para el mes de noviembre	2.7
Isotermalidad (BIO3)	2.6	Precipitación media para el mes de septiembre	2.7
Temperatura mínima media para el mes de octubre	2.2	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	2.2
Precipitación media para el mes de septiembre	2.1	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	2
Temperatura máxima media para el mes de julio	2	Temperatura mínima media para el mes de mayo	2
Precipitación media para el mes de noviembre	1.9	Temperatura máxima media para el mes de diciembre	2
Precipitación media para el mes de agosto	1.2	Isotermalidad (BIO3)	1.9
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	1.2	Temperatura máxima media para el mes de julio	1.8
Temperatura mínima media para el mes de mayo	1.1	Precipitación media para el mes de diciembre	1.7
Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.1	Temperatura máxima media para el mes de octubre	1.3
Precipitación media para el mes de julio	1	Precipitación media para el mes de agosto	1.3
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.7	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.7
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.7	Temperatura máxima media para el mes de mayo	0.6
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.7	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.6
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.6	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.6
Temperatura media anual (BIO1)	0.4	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.5
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.3	Temperatura media anual (BIO1)	0.5

Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.3	Precipitación media para el mes de julio	0.5
		Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.3

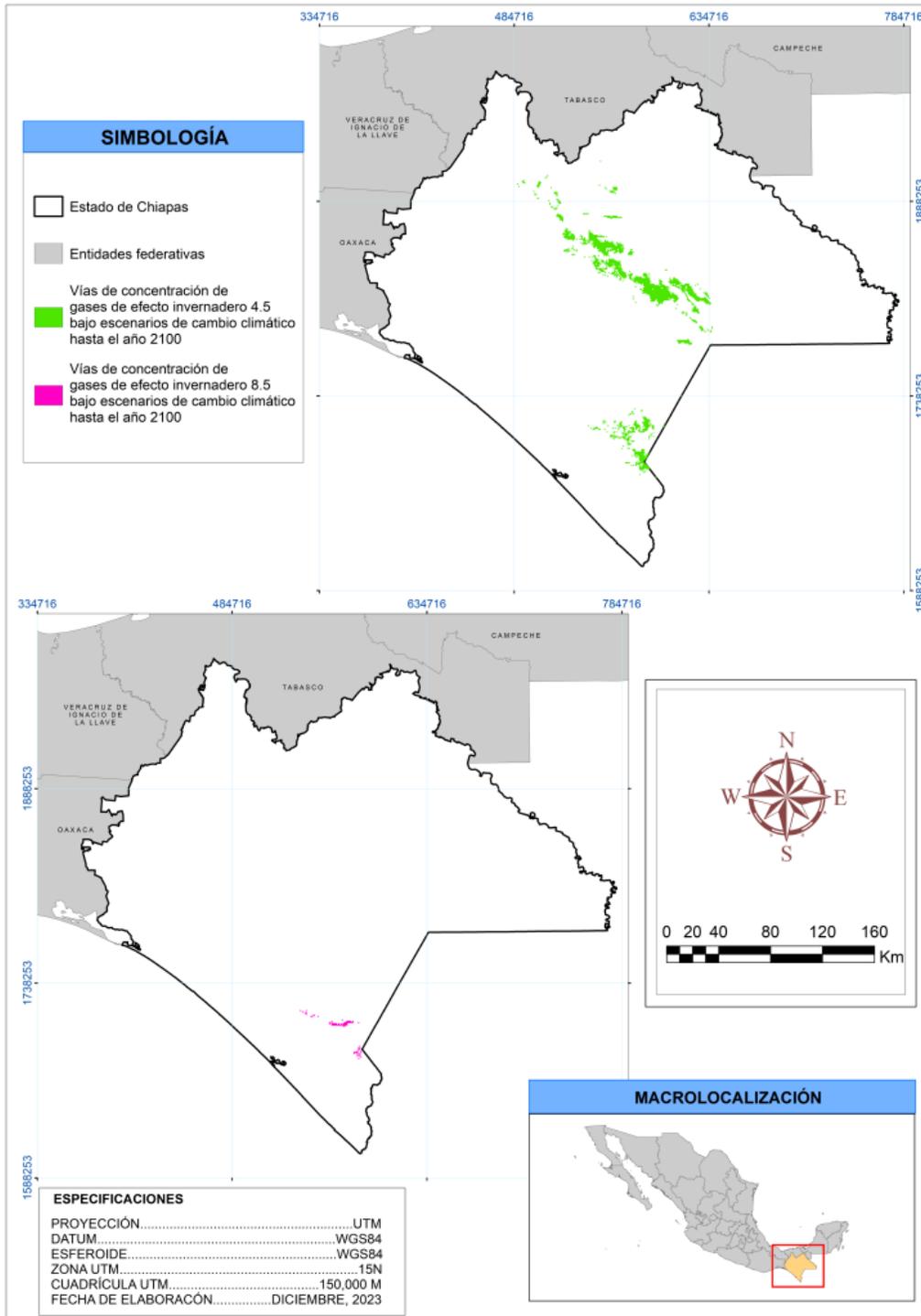


Figura 29. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Comiteco de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.3.2 Olotillo

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Olotillo, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 294,904 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 61,246 ha (Figura 30).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la estacionalidad de las precipitaciones (BIO15) con un 22.2%, y la de menor contribución fue la temperatura máxima media para el mes de noviembre con un 0.2%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue la estacionalidad de las precipitaciones (BIO15) con un 21.5%, y la de menor contribución fue la Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) con un 0.1% (Cuadro 33).

Cuadro 33. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Olotillo al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	22.2	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	21.5
Rango medio diurno (BIO2)	14.5	Rango medio diurno (BIO2)	19.3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	14.2	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	14.5
Precipitación media para el mes de diciembre	8.5	Precipitación media para el mes de octubre	10.8
Precipitación media para el mes de octubre	8.3	Precipitación media para el mes de diciembre	7.5

Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	8.2	Temperatura máxima media para el mes de junio	3.4
Precipitación media para el mes de mayo	4.2	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	3
Temperatura mínima media para el mes de junio	3.7	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.4	Precipitación media para el mes de mayo	3
Precipitación media para el mes de julio	3	Temperatura mínima media para el mes de junio	2.2
Precipitación media para el mes de agosto	2.4	Precipitación media para el mes de julio	1.8
Temperatura máxima media para el mes de junio	1.5	Precipitación media para el mes de agosto	1.7
Precipitación media para el mes de junio	1.3	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	1.2
Temperatura máxima para el mes de octubre	0.8	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	1.1
Precipitación media para el mes de noviembre	0.8	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	1
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.6	Precipitación media para el mes de septiembre	0.9
Precipitación anual (BIO12)	0.5	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.8
Precipitación media para el mes de septiembre	0.5	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.7
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.5	Precipitación anual (BIO12)	0.7
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.4	Precipitación media para el mes de noviembre	0.6
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	0.4	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.5
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.2	Precipitación media para el mes de junio	0.4
		Temperatura máxima media para el mes de diciembre	0.2
		Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.1

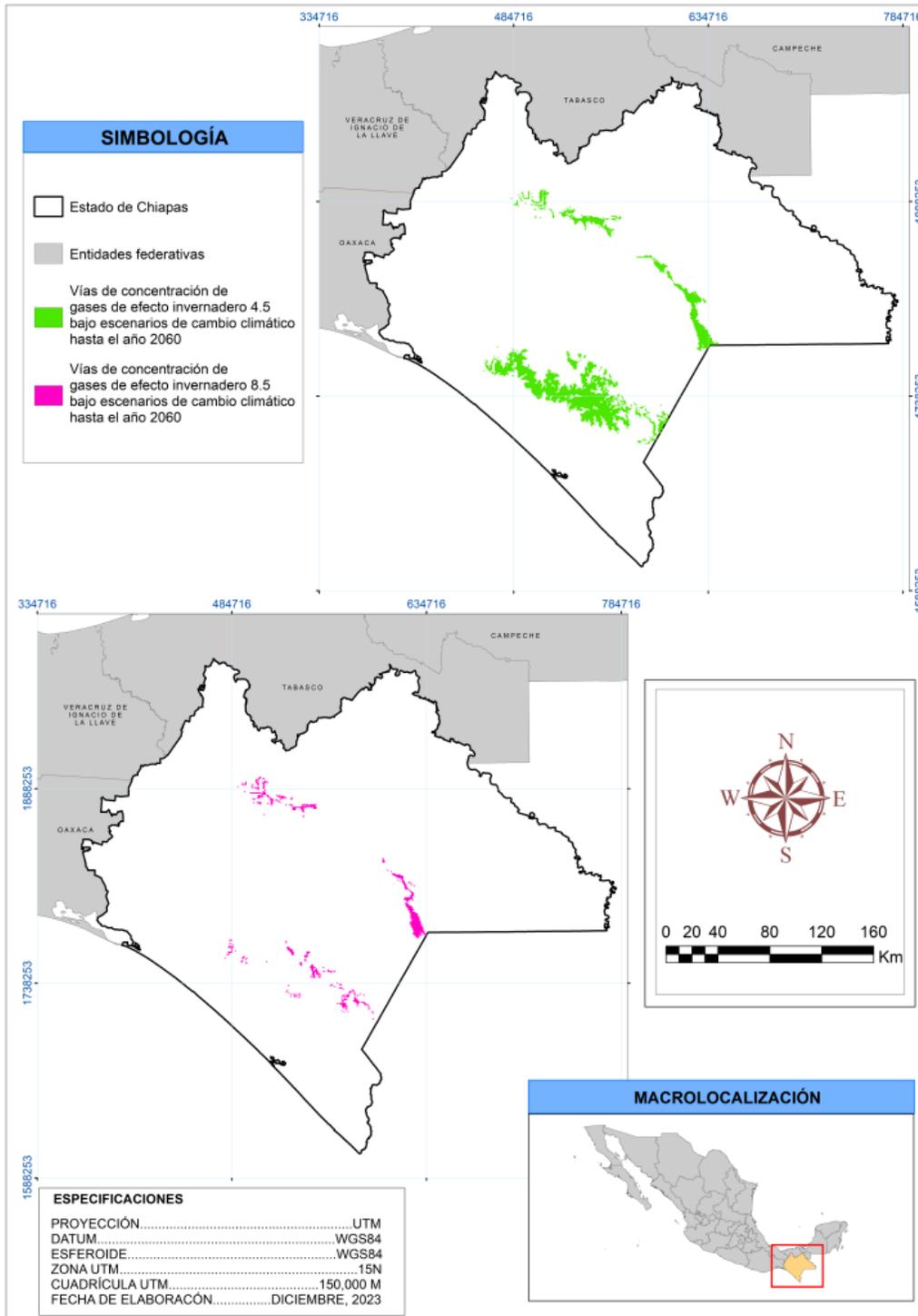


Figura 30. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Olotillo de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 (SSP 245) para la raza Olotillo, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 34,086 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5 (SSP 585), la raza desaparecerá (Figura 31).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 23%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue el rango medio diario (BIO2) con un 19.8%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.1% (Cuadro 34).

Cuadro 34. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Olotillo al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Rango medio diario (BIO2)	23	Rango medio diario (BIO2)	19.8
Precipitación media para el mes de diciembre	15.4	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	18.2
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	12.5	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	14.1
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	11.4	Precipitación media para el mes de diciembre	12.4
Precipitación media para el mes de octubre	9.1	Precipitación media para el mes de octubre	6
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	7.5	Temperatura máxima media para el mes de noviembre	4

Temperatura mínima media para el mes de septiembre	4.3	Temperatura máxima media para el mes de junio	4
Precipitación media para el mes de mayo	2.7	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	3.9
Precipitación media para el mes de julio	2.7	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.5
Temperatura máxima media para el mes de junio	2.3	Precipitación media para el mes de julio	3.4
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	1.8	Precipitación media para el mes de mayo	2.2
Precipitación media para el mes de junio	1.5	Precipitación media para el mes de agosto	1.6
Precipitación media para el mes de agosto	1	Precipitación media para el mes de junio	1.4
Temperatura mínima media para el mes de junio	0.9	Precipitación media para el mes de noviembre	1.1
Precipitación media para el mes de septiembre	0.8	Precipitación media para el mes de septiembre	0.9
Precipitación media para el mes de noviembre	0.7	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.8
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.5	Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.5
Temperatura máxima media para el mes de noviembre	0.5	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.5
Temperatura máxima media para el mes de diciembre	0.4	Temperatura mínima media para el mes de junio	0.5
Precipitación anual (BIO12)	0.3	Precipitación anual (BIO12)	0.4
Temperatura máxima media para el mes de octubre	0.2	Precipitación de trimestre más húmedo (BIO16)	0.4
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.2	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.1
Precipitación de trimestre más húmedo (BIO16)	0.2	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.1
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.1		

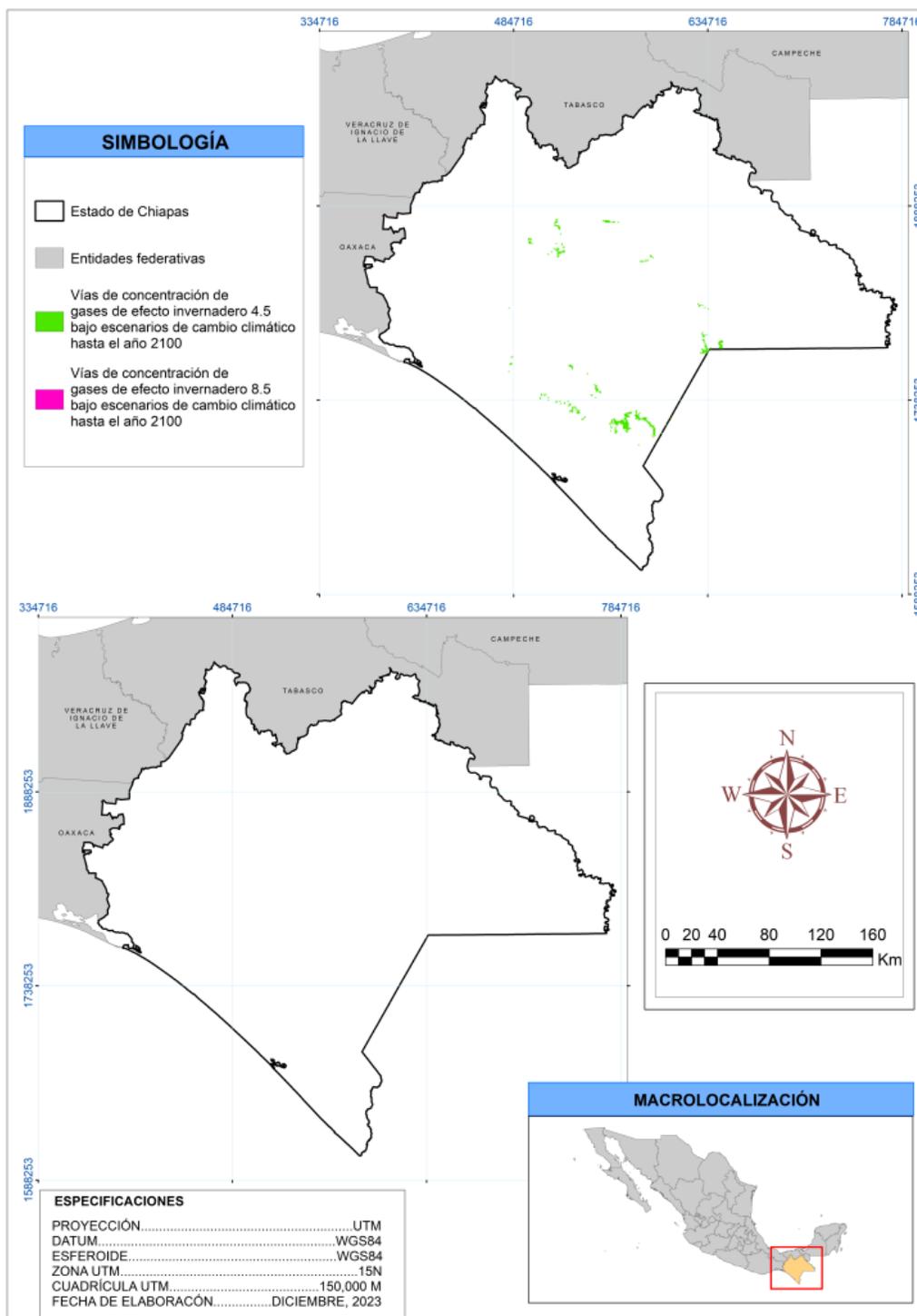


Figura 31. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Olotillo de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

10.2.3.3 Olotón

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2060, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Olotón, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 6,356 ha; mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 990 ha (Figura 32).

La variable que más contribuyó al modelo del 2060 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la temperatura mínima media para el mes de junio con un 39.3%, y la de menor contribución fue la temperatura mínima media para el mes de agosto con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2060, en el escenario de 8.5, fue la temperatura mínima media para el mes de junio con un 40.1%, y la de menor contribución fue la Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16) con un 0.1% (Cuadro 35).

Cuadro 35. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Olotón al 2060.

2060			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Temperatura mínima media para el mes de junio	39.3	Temperatura mínima media para el mes de junio	40.1
Precipitación media para el mes de julio	19.9	Precipitación media para el mes de julio	16.2
Rango medio diurno (BIO2)	9.1	Precipitación media para el mes de diciembre	9.7
Precipitación media para el mes de diciembre	8.5	Rango medio diurno (BIO2)	8.2

Precipitación media para el mes de mayo	3.9	Temperatura máxima media para el mes de junio	3.8
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.3	Precipitación media para el mes de mayo	3.4
Temperatura máxima media para el mes de junio	2.3	Temperatura máxima media para el mes de mayo	2.7
Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.8	Precipitación media para el mes de agosto	2.4
Temperatura mínima media para el mes de noviembre	1.5	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	2.3
Precipitación media para el mes de agosto	1.4	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	1.3
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	1.3	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.2
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	1.2	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.1	Precipitación anual (BIO12)	0.9
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	1	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.9
Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.9	Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.8
Temperatura mínima media para el mes de julio	0.7	Precipitación media para el mes de noviembre	0.7
Precipitación anual (BIO12)	0.6	Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.6
Precipitación media para el mes de noviembre	0.5	Temperatura mínima media para el mes de noviembre	0.6
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.3	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.5
Isotermalidad (BIO3)	0.3	Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.5
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.3	Isotermalidad (BIO3)	0.5
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.2	Temperatura mínima media para el mes de julio	0.5
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.1	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.5
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.1	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.3

Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8)	0.1	Temperatura mínima media para el mes de agosto	0.2
Temperatura mínima media para el mes de agosto	0.1	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.1

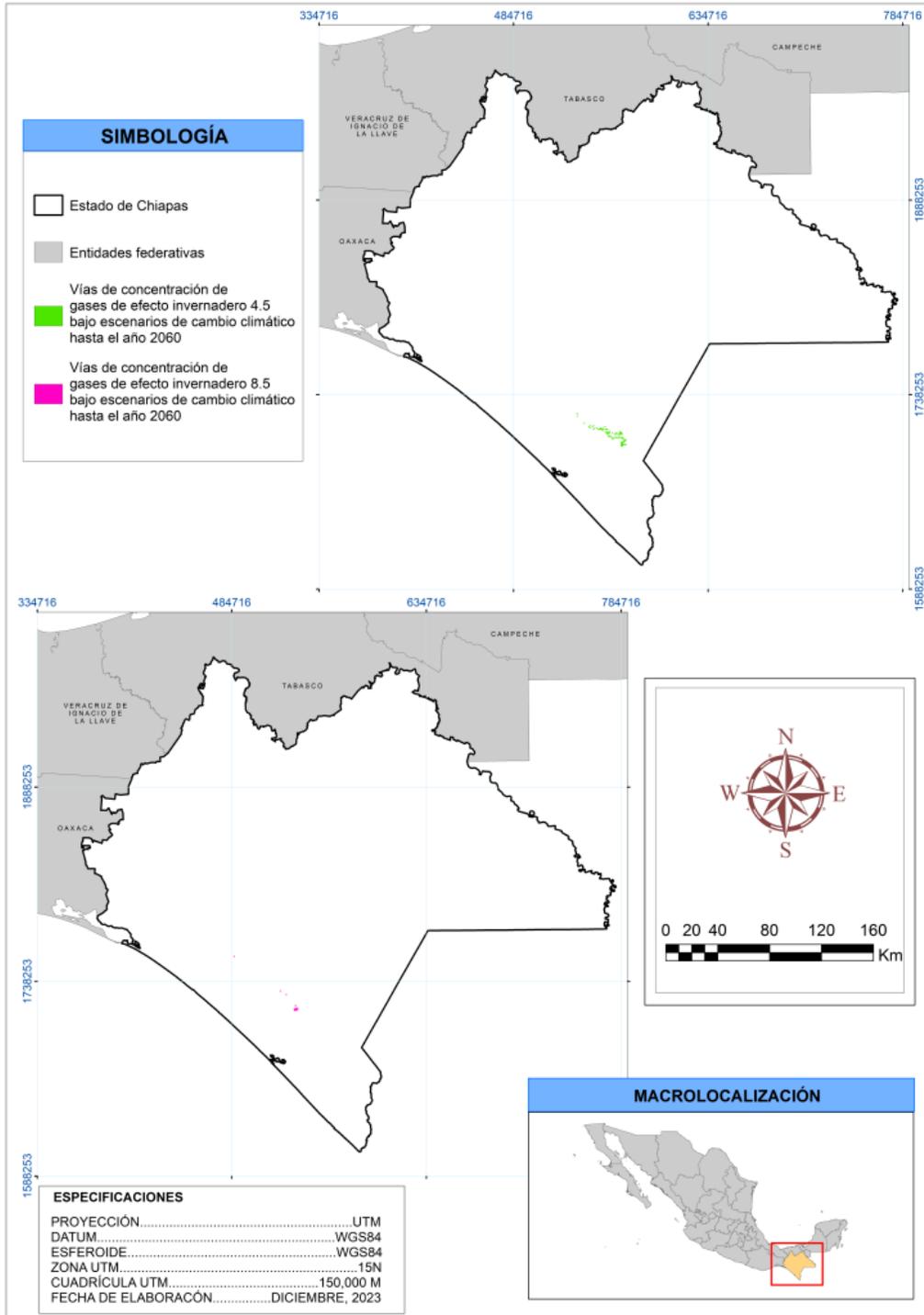


Figura 32. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Olotón de maíz (*Z. mays*) al año 2060, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

De acuerdo con el modelo de MaxEnt, para el año 2100, en el escenario de vía de concentración 4.5 para la raza Olotón, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de esta raza será de 16,425 ha, mientras que en el escenario de vía de concentración de 8.5, la raza desaparecerá (Figura 33).

La variable que más contribuyó al modelo del 2100 de esta raza, en el escenario de 4.5, fue la temperatura mínima media para el mes de junio con un 40.8%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.1%; mientras que la variable que más contribuyó al modelo del 2100 en el escenario de 8.5, fue la temperatura mínima media para el mes de junio con un 36.9%, y la de menor contribución fue la precipitación del mes más húmedo (BIO13) con un 0.1% (Cuadro 36).

Cuadro 36. Contribución de las variables ambientales para los escenarios de vía de concentración de 4.5 y 8.5 del modelo de cambio climático sobre la raza Olotón al 2100.

2100			
SSP 245		SSP 585	
VARIABLE	%	VARIABLE	%
Temperatura mínima media para el mes de junio	40.8	Temperatura mínima media para el mes de junio	36.9
Precipitación media para el mes de julio	21.4	Precipitación media para el mes de julio	18.8
Rango medio diurno (BIO2)	8.6	Precipitación media para el mes de diciembre	8.4
Precipitación media para el mes de diciembre	7.2	Rango medio diurno (BIO2)	7.4
Temperatura máxima media para el mes de septiembre	3.4	Precipitación media para el mes de mayo	3.9

Precipitación media para el mes de mayo	3	Temperatura máxima media para el mes de junio	3.6
Precipitación media para el mes de agosto	2	Precipitación media para el mes de agosto	2.2
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	1.9	Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	2
Temperatura máxima media para el mes de junio	1.8	Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	1.8
Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.7	Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	1.8
Precipitación media para el mes de noviembre	1.1	Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	1.7
Precipitación del trimestre más cálido (BIO18)	0.9	Temperatura máxima media para el mes de mayo	1.5
Temperatura mínima media para el mes de julio	0.8	Temperatura mínima media para el mes de julio	1.3
Estacionalidad de las Precipitaciones (BIO15)	0.8	Temperatura mínima media para el mes de octubre	1.2
Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.7	Temperatura mínima media para el mes de septiembre	1.1
Temperatura mínima media para el mes de septiembre	0.7	Temperatura máxima media para el mes de septiembre	1
Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.6	Temperatura mínima media para el mes de diciembre	0.9
Isotermalidad (BIO3)	0.6	Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.9
Temperatura mínima media para el mes de noviembre	0.4	Temperatura mínima media para el mes de mayo	0.6
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	0.3	Temperatura mínima media para el mes de noviembre	0.5
Precipitación anual (BIO12)	0.2	Precipitación anual (BIO12)	0.5
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	0.2	Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.3
Temperatura mínima media para el mes de agosto	0.2	Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO 8)	0.2
Temperatura mínima media para el mes de octubre	0.2	Isotermalidad (BIO3)	0.1
Temperatura media del trimestre más húmedo (BIO 8)	0.2	Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.1

Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	0.1		
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	0.1		

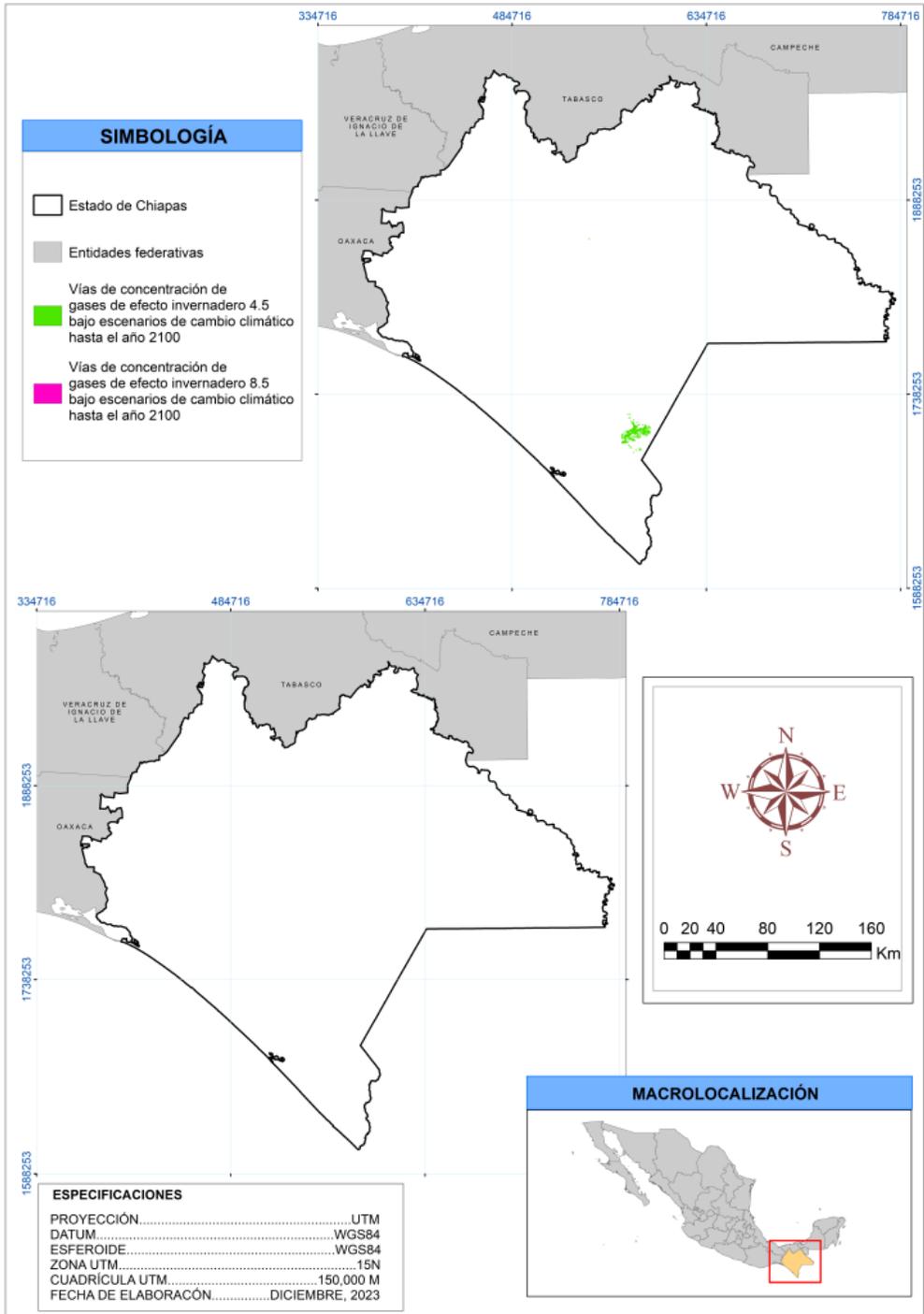


Figura 33. Factibilidad del cultivo de temporal de la raza Olotón de maíz (*Z. mays*) al año 2100, bajo dos escenarios de vías de concentración de gases de efecto invernadero (4.5 y 8.5) en Chiapas, México.

IX. DISCUSIONES

11.1 Condiciones ambientales adecuadas y factibilidad actual del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas

En términos generales, las condiciones ambientales adecuadas en Chiapas, obtenidas a partir del modelo MaxEnt, para el cultivo de temporal de las nueve razas de maíz, son diferentes con respecto a las propuestas a partir de la literatura.

Por ejemplo, las condiciones ambientales dadas por el modelo de MaxEnt para el cultivo de temporal del Grupo Tropicales Precoces (raza Zapalote Chico), son claramente diferentes a las propuestas por la literatura (Aragón *et al.*, 2006; Perales & Hernández, 2005; Brush & Perales, 2007; Kato *et al.*, 2009; Ruíz *et al.*, 2013 y CONABIO, 2020), ya que su rango de elevación se amplía desde -2 hasta mil msnm más de lo reportado por la literatura (pasa de 1,000 msnm a 2,155 msnm), lo mismo pasa con el rango de precipitación acumulada, ya que los resultados del modelo MaxEnt indican que puede cultivarse con precipitaciones desde los 80.3 y hasta los 2,009 mm, (mientras que los antecedentes señalan un rango más estrecho de 506 a 1,667 mm), y finalmente, el modelo MaxEnt indica que se puede cultivar en un rango de temperatura ambiental que va desde 8.2 a 29.1 °C, es decir, con temperaturas más bajas que las reportadas por la literatura científica (16.5 °C a 34.6 °C). No obstante, nuestros resultados coinciden con lo encontrado por Wellhausen *et al.* (1951), para la variable de elevación, ya que estos autores afirman que el Zapalote Chico, al ser un producto híbrido del Nal-Tel y, probablemente, del Tepecintle, puede cultivarse en altitudes mayores a mil metros sobre el nivel del mar, tal cual lo demuestra nuestro análisis.

Otro caso claro se puede observar con los resultados del modelo MaxEnt que indican que las condiciones ambientales adecuadas para todas las razas pertenecientes al Grupo Dentado Tropicales (razas Tuxpeño, Zapalote Grande, Vandeño, Tepecintle y Cubano Amarillo) también cambian respecto a lo que marcan Aragón *et al.*, 2006; Perales & Hernández, 2005; Brush & Perales, 2007; Kato *et al.*, 2009; Ruíz *et al.*, 2013 y CONABIO, 2020 (las cuales deberían oscilar entre temperaturas ambientales de 7.5 °C a 37 °C, con rangos de precipitación acumulada de entre 409 a 3,793 mm, y con elevaciones entre 0 y 2,050 msnm). En términos generales, los resultados del modelo señalan que estas cinco razas se presentan en elevaciones no mayores de 2,500 msnm, con mínimas de precipitación acumulada debajo de los 250 mm y con temperaturas ambientales cuya máxima no sobrepasa los 29°C. Específicamente, los resultados de MaxEnt indican que la elevación adecuada para el cultivo de la raza Cubano Amarillo (entre 3.8 y 1,591 msnm) no alcanza los 2,080 msnm propuestos por la literatura, y que su cultivo se da en rangos estrechos de precipitación pluvial acumulada (205.42 a 2,888 mm) que no llega a los 3,793 mm propuestos por la literatura, y bajo temperaturas ambientales (4.9 y 28.2 °C) menores a las señalan por los antecedentes (Aragón *et al.*, 2005; Perales & Hernández, 2005; Brush & Perales, 2007; Ruíz *et al.*, 2013). No obstante, Perales & Hernández (2005) mencionan que la raza Cubano Amarillo se dan en rangos de elevación entre 0 a 1,000 msnm, teniendo mayor presencia entre el rango de altitud de 500 a mil msnm.

Sin embargo, los resultados de MaxEnt, para la raza Cubano Amarillo, coinciden con lo encontrado por Brush & Perales (2007), para la variable de elevación, ya que estos autores mencionan que la raza Cubano Amarillo se da con mayor abundancia en los rangos de

elevación 0-900 msnm, seguido del rango 900-1,400 msnm y, por último, con una frecuencia relativa de 0.1, en los rangos de elevación de 1,400 a 2,000 msnm.

Otro ejemplo de esta diferencia entre los resultados del modelo MaxEnt y los antecedentes, lo tenemos con la raza Tepecintle, que si bien, de acuerdo al modelo, su cultivo abarca un rango de elevación más parecido al de la literatura (1.8 y 2,059 msnm), éste cuenta con un rango de precipitación acumulada que abarca una mínima de apenas 165.55 mm (muy por debajo de la precipitación mínima acumulada de 409 mm que propone la literatura), y con temperaturas ambientales menores (4.8 y 28.7 °C) a las propuestas por los antecedentes (7.5 °C a 37 °C) (Aragón *et al.*, 2005; Perales & Hernández, 2005; Brush & Perales, 2007 y Ruíz *et al.*, 2013).

Sin embargo, CONABIO (2020), menciona que la raza Tepecintle tiende a ser más precoz a comparación de las razas de Tuxpeño y Vandeño, es decir, necesita menos días para su maduración, por lo tanto, se adaptaría a regiones de poca precipitación explicando la baja precipitación acumulada necesaria para su desarrollo (Wellhausen *et al.* 1951).

Ahora bien, de acuerdo con Ruíz *et al.* (2013), la raza Tepecintle puede desarrollarse a temperaturas medias de 28.6 °C, coincidiendo así con los resultados de MaxEnt.

Finalmente, los resultados del modelo MaxEnt indican que las condiciones ambientales adecuadas para todas las razas pertenecientes al Grupo Maduración Tardía (razas Comiteco, Olotillo y Olotón) también son muy diferentes a las planteadas en la literatura científica (Aragón *et al.*, 2005; Perales & Hernández, 2005; Brush & Perales, 2007 y Ruíz *et al.*, 2013), con elevaciones mínimas de por lo menos 112 msnm (y no de 0 msnm como señala la literatura), con rangos menores de precipitación acumulada de entre 196 y 1,695 mm (y no

de 659 y 4,245 mm que indican los antecedentes), y con temperaturas ambientales de entre 4.4 y 26.15 °C, rango menor de temperatura a la propuesta por literatura (9.6 °C a 34.1 °C).

Todas estas diferencias entre los que reporta la literatura científica y lo obtenido por MaxEnt, para las condiciones ambientales adecuadas del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz, pueden tener su explicación en que existen muy pocos registros en campo para la mayoría de las razas en Chiapas, es decir, debe existir un submuestreo de éstas y por lo tanto es muy probable que las razas puedan cultivarse (como señala el modelo) en rangos más amplios de elevación, temperatura ambiental y precipitación pluvial que la reportada por la literatura. No obstante, el uso de pocos registros ocasiona una sobre-predicción en los modelos generados, usando menos de cinco (Pearson *et al.*, 2007), sin embargo, para este trabajo se usó como mínimo 15 registros de presencia para la raza Zapalote Chico y para el resto de las razas en estudio se utilizó mayor a 30 registros, número considerando como adecuado de acuerdo a Phillips *et al.* (2006).

Ahora bien, las nueve razas estudiadas presentaron una menor superficie de factibilidad actual de cultivo de temporal en MaxEnt que la obtenida por el análisis geográfico a partir de los antecedentes. Es probable que la explicación de la diferencia entre ambos análisis se deba no sólo al número de registros en campo sino también a la cantidad y tipo de variables ambientales utilizadas en cada análisis, es decir, como lo menciona Phillips (2006), hay supuestos ecológicos implícitos en el conjunto de variables ambientales utilizadas para el modelado, por lo que la selección de ese conjunto requiere mucho cuidado (conocer qué variables inciden en el nicho de la especie) En el primer caso (análisis geográfico), al realizarse con el método de superposición de capas, se combinan sólo tres capas ambientales (temperatura, precipitación y elevación) para realizar el análisis (Jaime *et al.*, 2011) o mapa

de factibilidad de cultivo de cada una de las razas de maíz (*Z. mays*) en estudio; dicho análisis está limitado por el uso de sólo esas tres variables, mientras que, el modelo de MaxEnt utiliza más variables para crear las capas ambientales, desde las variables ambientales mensuales de promedio de temperatura (máxima y mínima), de precipitación y de elevación (Fick & Hijmans, 2017), hasta 19 variables bioclimáticas más, lo que probablemente hace que los resultados de ambos análisis sean diferentes.

De acuerdo con Gil & Lobo (2012), la fiabilidad de las predicciones de los modelos como MaxEnt pueden ponerse a prueba a medida que avancen las prospecciones de las especies estudiadas, sin embargo, siempre hay que cuestionarse si existen localidades con inventarios fiables y suficientes, o localidades en las que no se haya muestreado a la especie, pero en las que el modelo prediga su presencia; en otras palabras, que los datos en campo pueden no ser fiables o ser pocos los registros, lo que claramente generará diferencias entre lo propuesto por los modelos y la literatura científica. Por ejemplo, los trabajos de documentación computarizada de las colectas de maíces nativos y Teocintle en México son escasos (Hernández & Díaz, 2010), pero MaxEnt es capaz de proporcionar buenas predicciones de éstos incluso cuando el número de presencias es escaso (Gil & Lobo, 2012); estos autores indican que los datos de los rangos obtenidos de los antecedentes fueron marcados sólo a partir de las pocas muestras de la presencia de la raza, mientras que, el modelo de MaxEnt toma en cuenta variables climáticas, bioclimáticas y topográficas, así como la presencia de la raza para determinar la distribución a través de la correlación de las variables ya mencionadas. Es por ello que los resultados a partir del algoritmo o modelo de MaxEnt se acerquen más a la realidad y nos den información más precisa tanto de las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal de las nueve razas de maíz, como de las

superficies de cultivo, que las que señalan los antecedentes con los pocos registros en campo, indicando así que estos modelos son herramientas precisas, rápidas y útiles para ello (Phillips & Dudik, 2008).

No obstante, debemos aclarar que estos modelos no son infalibles, ya que Cruz-Cárdenas *et al.* (2014) señalan que los modelos como MaxEnt pueden mejorarse a través de la inclusión de covariables de suelo, topografía y otros datos de sensores remotos. Por lo tanto, recomendamos que para una mejor determinación de áreas factibles de cultivo de temporal de estas razas, se utilice el uso de covariables auxiliares como la tasa de evapotranspiración, la evapotranspiración real anual, la evapotranspiración real de la temporada de lluvias del año, propiedades del suelo (materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, entre otros), índices de vegetación, información relativa al manejo de los cultivos (apropiación de la tierra, rotación de cultivos, uso agroquímicos), entre muchos más. Aunado a ello, la información relativa a las problemáticas sociales y económicas locales y regionales son clave para nutrir mejor a estos modelos, ya que las razas de maíz se hallan fuertemente influenciadas por la acción del hombre, que no sólo ha favorecido determinadas razas y eliminando otras tantas, sino que además ha seleccionado aquellas (recursos genéticos) según los tipos de usos (Toumi & Lumaret, 1998; Urbieta *et al.*, 2008, como se citó en Gutiérrez *et al.*, 2018).

11.2 Factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*), bajo escenarios de cambio climático antropogénico, en Chiapas

De acuerdo con el modelo MaxEnt, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de la raza Zapalote Chico, disminuye drásticamente bajo escenarios de cambio climático (por

ejemplo, pasa de 4,846,495 ha hasta 728,708 ha para el año 2060 y hasta 368,273 ha para el año 2100 con la vía de concentración 4.5) esto debido al aumento de temperatura máxima del mes más cálido (Bio 5) y la disminución de la precipitación del trimestre más cálido (Bio 18) y media para el mes de agosto.

Las condiciones ambientales adecuadas en Chiapas, obtenidas a partir del modelo de Maxent, para el escenario actual, para el cultivo de temporal de la raza Zapalote Chico son temperatura ambiental que va desde los 8,2 °C a 29.1 °C, una precipitación acumulada de 80.3 mm a 2,092 mm y a una elevación que va desde los -2 msnm a 2,155 msnm. Los espacios geográficos que cumplen con dichas condiciones ambientales permiten un desarrollo óptimo del cultivo de temporal de maíz, previniendo tanto el estrés hídrico como térmico (Pozo-Gómez *et al.*, 2022).

Sin embargo, el aumento de temperatura provoca una reducción en la duración del cultivo debido al aumento de las tasas de crecimiento (Kumar *et al.*, 2011). La exposición de las plantas a temperaturas muy altas resulta un severo daño y colapso a nivel celular (Chaves-Barrantes *et al.*, 2017), causando deterioros en la polinización, ya que la planta, como respuesta, aborta los frutos para reducir su carga y envía los asimilados al punto de crecimiento vegetativo de la planta (Dol & Huvermann 2020), teniendo como resultado final un aumento en la probabilidad de una producción deficiente de semillas y, por lo tanto, disminuye los rendimientos (Lawlor, 2005).

El agua es esencial para la supervivencia, el crecimiento y la actividad de las plantas (Azcón-Bieto & Talón, 2013), sin embargo, el estrés hídrico (disminución en la precipitación) provoca la muerte en las plantas, cuando la transpiración excede el agua absorbente (Luna-Flores *et al.*, 2012). La pérdida de agua desde las hojas hacia la atmósfera (transpiración) está asociada al intercambio de CO₂ lo que resulta indispensable para el crecimiento y desarrollo

de la planta, ya que en dicho proceso se transporta agua, minerales y nutrientes, pero al mismo tiempo se va perdiendo agua y absorbiendo CO₂ para la fotosíntesis (Santiago, 2010).

De acuerdo con el modelo MaxEnt, la superficie de factibilidad de cultivo de temporal de las razas Olotón y Olotillo disminuyen drásticamente bajo escenarios de CC; por ejemplo, la raza Olotón pasa de 286,507 ha hasta 6,356 ha para el año 2060 y hasta 16,425 ha para el año 2100 con la vía de concentración 4.5, mientras que para la raza de Olotillo pasa de 632,659 ha hasta 294,904 ha para el año 2060 y hasta 34,086 ha para el año 2100 con la vía de concentración de 4.5. Sin embargo, para el año 2100 con la vía de concentración de 8.5 estas razas desaparecerán del estado de Chiapas, México. Esto es debido a la aportación del rango medio diurno, el aumento de la temperatura mínima media del mes de junio. Tal como el caso de la raza anterior.

Las condiciones ambientales adecuadas en Chiapas, obtenidas a partir del modelo de Maxent, para el escenario actual, para el cultivo de temporal de la raza Olotón son temperatura ambiental que va desde los 4.4 °C a 21.1 °C, una precipitación acumulada de 282.2 mm a 1,630 mm y a una elevación que va desde los 384 msnm a 2,732 msnm; mientras que para la raza Olotillo las condiciones ambientales adecuadas para el cultivo de temporal son temperatura ambiental que va desde los 4.7 °C a 26.1 °C, una precipitación acumulada de 196.1 mm a 1,695 mm y a una elevación que va desde los 112.7 msnm a 2,302 msnm.

Sin embargo, el aumento de las temperaturas, en las razas anteriores, para los escenarios de vías de concentración 4.5 y 8.5 para los años 2060 y 2100 provocan grandes pérdidas en la acumulación de biomasa aérea, del rendimiento de grano (reducción en el número de granos por mazorca) y en consecuencia el índice de cosecha del maíz, durante la floración y polinización (Rincón-Tuexi *et al.*, 2006).

Por otro lado, la disminución de la precipitación (baja estacionalidad de precipitación, Bio 15) retrasa más la exposición de los estigmas que la liberación del polen, reduciendo de igual manera la tasa fotosintética (Zarco *et al.*, 2005).

El impacto del cambio climático podría limitar la producción (disminuir la superficie de cultivo) y amenazar la seguridad alimentaria (Ahumada *et al.*, 2014), es decir, las personas ya no podrán disponer de manera física, social y económicamente de la mayoría de las razas de maíz tal como se dispone en el presente. Disminuyendo así la cantidad de alimentos que no son dañinos y proporcionan nutrientes para satisfacer sus necesidades y llevar una vida sana y activa (Food and Agriculture Organization, FAO, 2008).

Finalmente, queremos destacar que el presente estudio proporciona por primera vez información de cómo el cambio climático las afectará de forma negativa, afectando así el desarrollo sustentable local y regional. Esta información permitirá en un futuro generar protocolos de manejo sustentable y/o acciones de conservación orientados en una estrecha coordinación entre las poblaciones locales, autoridades y la académica (Ibarra-Montoya *et al.*, 2012).

Es importante señalar que las especies cultivadas temporalmente como el maíz, constituye no sólo el stock de bienes y servicios naturales hacia el futuro, sino dando ese significado cultural que muchas veces es central para la cosmovisión de los pueblos nativos mexicanos (Kato *et al.*, 2009).

Si bien este estudio proporciona información básica clave, es indispensable llevar a cabo un estudio a largo plazo y de cohorte más integral, ya que los resultados abarcan sólo variables ambientales (elevación, climáticas y bioclimáticas) y no toma en cuenta variables sociales, económicas y culturales; por ello, es indispensable llevar a cabo un estudio multi e interdisciplinario a largo plazo que abarque las variables sociales, culturales y económicas

que rigen al cultivo de temporal de cada raza en Chiapas, y con ello se podrá contar con información más precisa para un plan de manejo sustentable, ya que al establecer la importancia del contexto social en dicho trabajo de investigación se valorará lo subjetivo como lo vivencial y conocer, y comprender la realidad sociocultural, en otras palabras, esto permitirá conocer las necesidades, problemas y una serie de circunstancias para la solución de las demandas (Noriega *et al.*, 2021).

X. CONCLUSIONES

Condiciones ambientales adecuadas del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas

Se rechaza la hipótesis propuesta, ya que los resultados del modelo MaxEnt indican que las condiciones ambientales adecuadas del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz (*Z. mays*) son diferentes a las propuestas por la literatura científica.

Factibilidad del cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas

Se acepta la hipótesis propuesta, ya que la superficie de factibilidad del cultivo de temporal de las nueve razas de maíz en Chiapas, México, fue distinta entre lo que arrojó el modelo MaxEnt y el producto del análisis geográfico a partir de la literatura científica.

El modelo de MaxEnt arrojó superficies menores de factibilidad de cultivo de temporal de ocho razas con respecto a las del análisis geográfico; sólo la raza Cubano Amarillo presentó una superficie mayor de factibilidad de cultivo con el Modelo MaxEnt.

Factibilidad de cultivo bajo escenarios de cultivo de temporal de nueve razas de maíz (*Z. mays*) en Chiapas, bajo escenarios de cambio climático antropogénico

Se rechaza la hipótesis, ya que todos los grupos raciales (Tropicales Precoces, Dentado Tropicales y Maduración Tardía) disminuirán drásticamente su superficie de factibilidad del

cultivo de temporal bajo escenarios de cambio climático antropogénico para los años 2060 y 2100.

XI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, G., Torres, H., Medina, J., & Nava, R. J. (2015). Conocimiento de la Diversidad y Distribución actual del Maíz nativo y sus parientes silvestres de México. Segunda etapa 2008-2009. *Proyecto FZ016*. (p. 35) [Informe de actividades].
- Ahumada, R., Velázquez, G., Flores, E., & Romero, J. (2014). *Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz Potential impacts of climate change on maize production*. 22(61), 48–53.
- Aiello-Lammens, M., Boria, R., Radosavljevic, A., Vilela, B., & Anderson, R. (2015). spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38, 541–545.
- Aragón, F., Taba, S., Hernández, J., Figueroa, J., & Serrano, V. (2006). *Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca*. Informe final* del Proyecto CS002 Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca
- Aviles, M., Montilla, Y., Nieto, C., & Yunda, F. (2022). Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) y su adaptabilidad a posibles cambios climáticos en el cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 6484–6501. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3900
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (2a ed.). McGRAW-HILL.

- Bárcena, A., Samaniego, J. L., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020a). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* (1a ed.). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45677-la-emergencia-cambio-climatico-america-latina-caribe-seguimos-esperando-la>
- Bárcena, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. (2020b). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45677-la-emergencia-cambio-climatico-america-latina-caribe-seguimos-esperando-la>
- Brush, S., & Perales, H. (2007). *Un paisaje de maíz: Etnicidad y agrobiodiversidad en Chiapas, México*. 121, 211–221.
- Bula, A. (2020). *Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico*. <https://observatorio.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2020/08/Importancia-de-la-agricultura-en-el-desarrollo-socio-econ%C3%B3mico.pdf>
- Castillo González, F. (2009). Reseña de nuevo libro: Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 1–2.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2019). *El cambio climático y el sector agropecuario en México*.
- Cervantes, R., Angulo, G., Tavizón, E., & González, J. (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia de la Universidad*

Chaves-Barrantes, N., & Gutiérrez-Soto, M. (2017). Respuesta al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 1, 255–271.

Chimborazo, E. (2020). *Modelación de nichos ecológicos bajo escenarios de cambio climático para maíz Chulpi (Zea mays), en la provincia de Cotopaxi, en el período 2019-2020*. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Clark, L., & Sanchez-Ken, G. (1999). Filogenia y evolución de las Poaceae. *ARNALDOA*, 6(2), 29–44.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Razas de maíz de México*. Biodiversidad Mexicana.
<https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2023). *Portal de Información Geográfica—CONABIO*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Costanza, R. (1991). Ecological economics: A research agenda. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2(2), 335–357. [https://doi.org/10.1016/S0954-349X\(05\)80007-4](https://doi.org/10.1016/S0954-349X(05)80007-4)

Cruz-Cárdenas, G., Villaseñor, J. L., López-Mata, L., Martínez-Meyer, E., & Ortiz, E. (2014). Selección de predictores ambientales para el modelado de la distribución de

especies en Maxent. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 20(2), 187–201. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.09.034>

Díaz, G. (2012). *El cambio climático*. <http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392>

Dirección de Información Geografía y Estadística. (2021). *Chiapas: Información agrícola 2020*. https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/BECH/Cuaderno_Agricultura_2020.pdf

Dol, G. & Huvermann, R. (2020). *Interacciones entre plantas y polinizadores a altas temperaturas*. https://www.koppert.mx/content/mexico/noticias/2020/2020_10_19__Informaci%C3%B3n_importante_sobre_sistemas_de_polinizaci%C3%B3n_natural_en_altas_temperaturas/Interacciones_entre_plantas_y_polinizadores_a_altas_temperaturas.pdf

Endiocott, S., Brueland, B., Keith, R., Bremer, C., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S., & Carter, P. (2015). *Maíz: Crecimiento y desarrollo*. https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

Escoto, A., Sánchez, L., & Gachuz, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): Nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(3), 669–693.

- Fernández, M. (2013). *Efectos de cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del modelo AquaCrop*.
http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Informe+Final_+Efectos+del+C+C+en+el+rendimiento+de+cultivos+agr%C3%ADcolas.pdf/77713cce-eef6-4eb9-9ad6-02985c72b76b
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Royal Meteorological Society*.
- Foladori, G. & Tommasino, H. (2005). El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 1. <https://doi.org/10.5380/dma.v1i0.3056>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *Climate change and food security: A framework document*.
https://web.archive.org/web/20220325152622id_/https://www.fao.org/3/k2595e/k2595e00.pdf
- Gil, G., & Lobo, J. (2012). El uso de modelos predictivos de distribución para el diseño de muestreos de especies poco conocidas. *Mastozoología neotropical*, 19(1), 47–62.
- Gómez, E. (2015). *Maíz, milpa, milperos y agricultura campesina en Chiapas*.
<https://www.academica.org/emanuel.gomez/21.pdf>
- Gómez, N., Coutiño, B., & Trujillo, A. (2010). *Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009* (Fz 016). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Gómez-Limón, J. A., Picazo-Tadeo, A. J., & Martínez, E. R. (2008). *Agricultura, desarrollo rural y sostenibilidad medioambiental*. 61, 103–126.
- González, E., Gil, J., Ordóñez, R., Veroz, Ó., & Carbonell, R. (s/f). *La agricultura y el cambio climático*. Asociación Española Agricultura de Conservación . Suelos vivos.
- Granados-Ramírez, R., & Longar, M. del P. (2008). Variabilidad pluvial, agricultura y marginación en el estado de Michoacán. *Análisis Económico*, XXIII(54), 283–303.
- Guajardo-Panes, R., Sánchez-Cohen, I., Barradas-Miranda, V., Gómez-Rojas, J., & Díaz-Padilla. (2018). *Rendimientos de maíz (Zea mays L.) en escenarios de cambio climático en la región de La Antigua, Veracruz-México*. 52(5).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000500725
- Guevara-Hernández, F., Hernández-Ramos, M. A., Basterrechea-Bermejo, J. L., Pinto-Ruiz, R., Venegas-Venegas, J. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., & Cadena-Iñiguez, P. (2019). Maíces locales; una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(1), 369–381.
- Guido, P. (2017). *Cambio climático: Selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
<http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1733>
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). *Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models*. 8, 993–1009. <https://doi.org/1461-02482.2005.00792.x>

- Gutiérrez, O., Cámara, R., Senciales, J., & García, L. (2018). Modelos predictivos en biogeografía: Aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126.
- 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. <https://doi.org/10.1080/15427528.2014.921800>
- Hernández, A., González, H., Tamez, G., & Jiménez, P. (Eds.). (2016). *Desarrollo sustentable: De la teoría a la práctica* (Primera edición). Facultad de Ciencias Políticas y Administración Pública, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hernández, J., & Díaz, J. (2010). *Base de datos de colecciones de maíces nativos, teocintles y Tripsacum de México*. Informe final del proyecto FY001. <http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfFY001.pdf>
- Hijmans, R., & van Etten, J. (2012). *Raster: Geographic analysis and modeling with raster data*. R package version 2.0. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Ibarra-Montoya, J., Rangel-Peraza, G., González-Farias, F., Martíne-Meyer, E., & Macias-Cuellar, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente & Agua* -, 1, 218–234.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1997). *Condiciones para el cultivo de maíz en Chiapas*.

https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118532/702825118532_2.pdf

Jaime, E., Garea, E., & Larín, R. (2011). *Hacia métodos de análisis de datos espaciales raster en el nivel semántico*. 15(1), 91–106.

Jolalpa, J. (2019). *Impacto económico del cambio climático en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en la región Amacameca, Estado de México*. [Coledio de postgraduados]. Impacto económico del cambio climático en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en la región Amecameca, Estado de México. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Postgrado de socioeconomía, estadística e informática economía.

Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J., & Bye, R. (2009). *COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD. 1*.

Lawlor, D. (2005). *Plant responses to climate change: Impacts and adaptation*. 81–88.

Liu, C., Berry, P., Dawson, T., & Pearson, R. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distribution. *Ecography*, 28, 385–393.

Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J., & Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343–353.

Magaña, A. (2014). *Evaluación integral de los impactos de la variabilidad y el cambio climático en la agricultura en el estado de Michoacán*. El Coledio de la Frontera Norte.

- Massiue, Y., & Lechuga, J. (2002). *El maíz en México: Biodiversidad y cambios en el consumo*. 17(36), 281–303.
- Mercer, K., & Perales, H. (2019). Structure of local adaptation across the landscape: Flowering time and fitness in Mexican maize (*Zea mays* L. subsp. *mays*) landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66(1), 27–45. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0693-7>
- Murray-Tortarolo, G. N. (2021). Seven decades of climate change across Mexico. *Atmósfera*, 34(2), 217–226. <https://doi.org/10.20937/atm.52803>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio CLimático*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Naresh, S., Swaroopa, R., Rani, S., Jain, S., Saxena, R., & Chauhan, N. (2011). Impact of climate change on crop productivity in Western Ghats, coastal and northeastern regions of India. *Current Science*, 101, 332–341.
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., & Lee, D. (2009). *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. International Food Policy Research Institute. <https://doi.org/10.2499/0896295370>
- Noriega, B., Rodríguez, R., López, I., Buchi, C., Girón, F., & Flores, M. (2021). Importancia del contexto social para la investigación. *Revista científica del Sistema de Estudios de Posgrado*, 1, 77–87.

- Olivo, M. de L., & Soto-Olivo, A. (2010). Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 14(57), 221–230.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Ortigoza, J., López, C., & Gonzalez, J. (2019). *Guía técnica: Cultivo de maíz*. https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gk-e-att/gt_04.pdf
- Palma-Ordaz, S., & Delgadillo-Rodríguez, J. (2014). Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*, 92(4), 587–597.
- Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102–117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Perales, H. (2012). Maíz, nuestra herencia y responsabilidad. *Ecofronteras*, 46, 2–5.
- Perales, H., & Hernández, J. (2005). *Diversidad del maíz en Chiapas*. 337–355.

- Perales, H., Benz, B., & Brush, S. (2005). Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *102*(3), 949–954. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*, 231–259.
- Pozo-Gómez, D., Orantes-García, C., Sánchez-Cortéz, M., Rioja-Paradela, T., & Carrillo-Reyes, A. (2022). Potential distribution of *Croton guatemalensis*: A model with reProductive biology data. *Botanical Sciences*, *100*(2), 291–299.
- QGIS.org. (2023). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.qgis.org>
- R Core Team. (2022a). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- R Core Team. (2022b). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC.
- Ramírez, A., Sánchez, J., & García, A. (2004). *El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis*. *6*(21), 55–59.
- Ramírez-Maguil, G., Navarro-Martínez, A., & Botello, F. (2020). Idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* en escenarios de cambio climático en México. *Madera y bosques*, *3*.

- Rincón-Tuexi, Castro-Nava, J., López-Santillán, J., Huerta, A., Trejo-López, C., & Briones-Encima, F. (2006). High temperature and water stress during flowering in tropical corn populations. *Phyton*, 75(1), 31–40. <https://doi.org/10.32604/phyton.2006.75.031>
- Rivera-Aguirre, D., Ortíz-Acosta, M., Bernal-Mendoza, H., Sánchez-Rojas, G., Ramírez-Bravo, O., & Jiménez-García, D. (2021). Impacto del cambio climático en la distribución potencial de tres cultivos agrícolas en México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), Article 1. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/118>
- Rodríguez, J. (2016). *Más sobre el Proceso de Polinización en el Maíz | Intagri S.C.* Más sobre el proceso de polinización del maíz. <https://www.intagri.com/articulos/cereales/mas-sobre-el-proceso-de-polinizacion-en-el-maiz>
- Rosado, A., Villasante, B., & Hernández, G. (2021). *Los herederos del maíz*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/658352/Libro-Los-herederos-del-maiz-INPI.pdf>
- Salinas, Y., Cruz, F., Díaz, S., & Castillo, F. (2012). Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 33–41.
- Sánchez, I., & Pérez-Urria, E. (2014). *Maíz I (Zea mays)*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33739>

- Sánchez-Ken, G. (2019). Riqueza de especies, clasificación y listado de las gramíneas (Poaceae) de México. *Acta botánica mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1379>
- Santiago, A. (s/f). Aspectos básicos de la fisiología en respuesta a estrés y el clima como condicionante del mismo en las plantas. *Grupo de Ecología Forestal*, 8.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Planeación agrícola nacional 2017-2030*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf
- Serratos, J. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Review.
- Soto, L., Jiménez, G., & Lerner, T. (2008). *Diseño de Sistemas Agroforestales para la Producción y la Conservación Experiencia y Tradición en Chiapas* (1a ed.).
- Tinoco-Ruedas, J., Gómez-Díaz, J., & Monterroso-Rivas, A. (2011). *Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México*. 29(2), 161–168.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02607.x>
- Wellhausen, E., Roberts, L., Hernández, E., & Mangelsdorf. (1951). *Razas de maíz en México, su origen, características y distribución*.

Zarco, E., González, V., López, M., & Salinas, Y. (2005). Marcadores fisiológicos de la tolerancia a sequía en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 5, 517–528.