

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE
CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN
DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS

**ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL MAÍZ VARIEDAD V-560
EN LA DEPRESIÓN CENTRAL DE CHIAPAS ANTE
ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

ALESSANDRO OSORIO GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EMMANUEL DÍAZ NIGENDA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; JUNIO 2024





Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
Fecha: JUNIO 07, 2024

C. **Alessandro Osorio González**

Pasante del Programa Educativo de: **LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Análisis de la Distribución del Maíz V-560 en la Depresión Central de Chiapas,

Ante Escenarios de Cambio Climático.

En la modalidad de: **Tesis Profesional**

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Horacio Morales Iglesias.

LCT. Roberto Torres Beltrán.

Dr. Emmanuel Díaz Nigenda

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
EN GESTIÓN DE RIESGOS
Y CAMBIO CLIMÁTICO



LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
COORDINACIÓN DE TITULACIÓN

Firmas:

Ccp Expediente

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco profundamente a mi director de tesis el Dr. Emmanuel Díaz Nigenda, por darme su confianza, la orientación, comprensión, conocimientos y apoyo en la realización de mi tesis. Gracias por su guía y todos sus consejos que llevaré grabados para siempre en la memoria de mi futuro profesional y personal.

A mi asesor el Dr. Horacio Morales Iglesias por su asesoría, consejos y apoyo incondicional en la realización de mi tesis.

Al Lic. Roberto Torres Beltrán quien me impulsó y motivó a desarrollar esta investigación, además de apoyarme en todo momento de la investigación.

Al Mtro. Jose Francisco Pinto Castillo por su paciencia y disposición al enseñarme la modelacion de nicho ecologico, esencial para mi proyecto de tesis.

A la Dra. Andrea Venegas Sandoval por sus consejos y orientación durante la carrera y quien me dio la motivación y consejos necesarios para salir adelante.

A mi familia, quienes no me han dejado de apoyar en el camino de mi carrera universitaria, se que siempre podre contar con ellos, son el motivo por el cual salgo adelante.

A mis amigos quienes se volvieron parte fundamental de mi vida, apoyandome en todo momento y no dejandome solo, ademas de haber creado increíbles aventuras.

A las personas que no mencioné pero que en este proceso me tendieron una mano o un consejo, cuando las cosas no eran claras para mí por las circunsntancias vividas, gracias.

Agradezo al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático por haberme exigido en mi desarrollo académico y así obtener mi anhelado título.

Agradezco a mi casa de estudios la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) por ofrecerme la oportunidad de ofertar esta carrera tan interesante que coincide con mis aspiraciones.

DEDICATORIA

A Dios y a la vida, por darme la oportunidad de concluir esta maravillosa etapa, y que estoy seguro de que aún me falta mucho por aprender.

A mis queridos padres Araceli González Aguilar y Nelso Osorio Reyes quienes siempre me han dado su amor y apoyo incondicional, además de impulsarme a hacer lo que me gusta., con sus palabras y hechos no me dejaban decaerme y así motivarme a cumplir mis metas.

A mi amada hermana Alejandra Osorio González, fue ella quien cultivó en mi la pasión por la ciencia, además de ser mi ejemplo a seguir y mi motivación, mi compañera de risas y cómplice de vida.

A mis amigos, quienes sin esperar nada a cambio me motivaban para ser una mejor persona, compartiendo sus conocimientos, alegrías y tristezas.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. Marco Teórico	2
2.1 Cambio Climático	2
2.2 México y el Cambio Climático.....	4
2.3 Cambio Climático y Agricultura.	7
2.4 Variedad del Maíz.	9
2.5 Modelos de Nicho.....	12
2.5.1 Maxent.....	13
3. Planteamiento del problema.....	14
4. Justificación	16
5. Antecedentes.....	17
6. Objetivos.....	21
6.1 Objetivo General.....	21
6.2 Objetivos Especificos	21
7. Área de estudio.....	22
7.1 Chiapas	22
7.2 Depresión Central	23
7.2.1 Ubicación.....	23
7.2.2 Litología	24
7.2.3 Edafología	25
7.2.4 Uso de suelo y vegetación.....	27
7.2.5 Hidrología	27
7.2.6 Clima.....	28
8. Materiales y Métodos	31
8.1 Especie a estudiar:	31
8.2 Fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados a utilizar: .	31
8.3 Trayectoria Socioeconómica Compartida a utilizar:	31
8.4 Modelo de Circulación General a utilizar:.....	32
8.5 Variables Climáticas	33
8.6 Funcionamiento del programa Maxent.....	36
8.7 Periodos de tiempo utilizados:.....	37
9. Resultados	39

9.1	Escenario Horizonte Histórico (1970-2000)	40
9.2	Escenario Horizonte Actual (2021-2040)	44
9.3	Escenario Horizonte Medio (2041-2060)	46
9.4	Escenario Horizonte Lejano (2061-2080)	49
10.	Discusión	55
11.	Conclusiones	60
12.	Recomendaciones	61
13.	Literatura Citada	62
14.	ANEXOS	73
14.1	Anexo I. Puntos de registros y escenarios de cambio climático de la variedad criolla en la Depresión Central de Chiapas.	73
14.2	Anexo II. Escenarios climáticos para la Depresión Central del Estado de Chiapas	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 8.1. Descripción de las variables climáticas de Worldclim.	33
Cuadro 9.1. Distribución en hectareas del nicho ecológico de la variedad V-560.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mazorca de la variedad V-560 para zonas tropicales. Tomado de Coutiño (2014).	11
Figura 7.1 Regiones Fisiográficas de Chiapas	23
Figura 7.2 Ubicación de la Depresión Central, Chiapas. Fuente:	24
Figura 7.3 Litología presente en la Depresión Central, Chiapas	25
Figura 7.4 Suelos presentes en la Depresión Central, Chiapas	26
Figura 7.5 Uso de suelo de la Depresión Central, Chiapas.....	27
Figura 7.6 Sistema Hidrológico presente en la Depresión Central, Chiapas	28
Figura 7.7 Tipos de climas presentes en la Depresión Central, Chiapas	30
Figura 8.1 Modelos de circulación general más utilizados en México. Tomado de INECC, (2022)...	33
Figura 8.3 Periodos de tiempo a utilizar para la correcta toma de decisiones en el sector agrícola	38
Figura 9.1 Puntos de presencia del maíz variedad V-560. Fuente elaboración propia con datos proporcionados por el SIAP (2020)	40
Figura 9.2 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 1970-2000 en la Depresión Central, Chiapas.....	42
Figura 9.4 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 2041-2060 en la Depresión Central, Chiapas.....	48
Figura 9.5 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 2061-2080 en la Depresión Central, Chiapas.....	51
Figura 14.1 Registro de presencia del maíz criollo en la Depresión Central del estado de Chiapas.	73
Figura 14.2 Distribución potencial del maíz criollo para el periodo 1970-2000 en la Depresión Central, Chiapas.	74
Figura 14.3 Distribución potencial del maíz Criollo para el periodo 2021-2040 de la Depresión Central, Chiapas.	76
Figura 14.5 Distribución potencial del maíz criollo para el periodo 2061-2080 de la Depresión Central, Chiapas	80
Figura 14.6 Valores de Temperatura para el periodo 1979-2003 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.....	83
Figura 14.7 Valores de Temperatura para el periodo 2015-2039 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.....	84
Figura 14.8 Valores de Temperatura para el periodo 2075-2099 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.....	85

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 9.1 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz V-560, periodo 1970-2000.	44
Grafica 9.2 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz V-560, periodo 2021-2040.	46
Grafica 9.3 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz V-560, periodo 2041-2060.	49
Grafica 9.4 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz V-560, periodo 2061-2080	52
Grafica 9.5 Desarrollo de las áreas óptimas para el maíz V-560 en la Depresión Central, Chiapas. 53	
Grafica 14.1 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 1970-2000.	75
Grafica 14.2 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 2021-2040.	77
Grafica 14.3 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 2041-2060.	79
Grafica 14.4 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 2061-2080.	81
Grafica 14.5 Comparación de las hectareas ganadas para el maíz criollo y la variedad 560.	82

1. Introducción

El cambio climático ha sido un fenómeno intensificado con el paso del tiempo, hoy en día, se ha convertido en uno de los temas de mayor interés, debido a la serie de cambios que trae consigo en los distintos sectores poblacionales y ecosistemas naturales, convirtiéndolo en un gran problema para el desarrollo de actividades humanas, por ello, nace la necesidad de implementar medidas adaptativas que garanticen el bienestar de los individuos.

De acuerdo con las tendencias climáticas, para cada uno de los sectores se presentarán cambios significativos en los rangos de precipitación y temperatura actuales, lo cual pondrá en riesgo a algunas especies utilizadas en el campo que son sensibles al cambio de estos patrones, lo cual representaría un enorme riesgo para las comunidades que dependan de esta práctica, sobre todo en su seguridad alimentaria.

Por ello, en el presente trabajo se busca identificar las áreas potenciales que cumplan con las condiciones óptimas para el cultivo del maíz y así garantizar el rendimiento y calidad de estos, esto se hizo bajo el modelado de nicho ecológico, donde se observó y analizó la distribución ganada o perdida durante el paso de los años, y así refutar que el uso de las variedades son clave para desarrollar medidas de adaptación ante el cambio climático.

2. Marco Teórico

2.1 Cambio Climático

Entre los diferentes conceptos establecidos sobre el cambio climático existen dos que son aceptados de manera general el primero proviene de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, quien define a este fenómeno 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” (CMNUCC, 1993). Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) definen al termino como el cambio en el estado del clima identificable, refiriéndose a que este cambio está sustentado por algún tipo de análisis, a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrados en decenios o periodos más largos (IPCC, 2012). Por otro lado, Miller et al. (2007) mencionan que el Cambio Climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura y la precipitación.

La Tierra tiene aproximadamente 4,600 millones de años (Ma) de edad y durante este vasto período de tiempo la única constante ha sido el cambio, en sus inicios el planeta presentaba un ambiente hostil, en el cual la vida no prosperaría. Debido a diversos procesos ocurridos dentro de nuestra esfera, aquella atmosfera primitiva cambiaba su composición, es así, que la variación del clima siempre ha existido en nuestro planeta; en este sentido, Viñas (2012) menciona que el comportamiento del clima tiene bastantes rasgos en común con el del tiempo atmosférico, por lo general, todo se reduce a una alternancia irregular de frío y calor, lo que en el caso del clima, identificamos como los cambios climáticos naturales de nuestro entorno.

Pastrana (2008) indica que a pesar de que el cambio ha sido constante, se han presentado puntos sobresalientes en la historia, donde este proceso ha sido

notablemente decisivo para la dinámica propia del sistema planetario. De acuerdo a Uriarte (2003) Hace 13,500 años se produjo un cambio climático espectacular cuando la Tierra se calentó y el nivel del mar subió, provocando inundaciones que crearon el mar Báltico y el mar Negro, eliminando una gran cantidad de formas de vida. Todos estos sucesos no ocurrieron de golpe, pero sí en cientos de años. Desde hace unos 10 mil años, el clima se ha ido calentando de manera paulatina, aunque no constante. Durante la alta edad media las temperaturas eran incluso más cálidas que las actuales, lo que fue conocido como el óptimo climático medieval. A partir del año 1200 de nuestra era, el clima comenzó a enfriarse paulatinamente y, hacia el año 1650, se dio la época más fría, la llamada pequeña edad del hielo. Desde ese momento, el clima volvió a calentarse y, a partir de la década de 1980, ese calentamiento se ha incrementado. A pesar de todas estas variaciones, la tendencia general del clima es al calentamiento. En este sentido, el Cambio Climático es parte del proceso natural de la Tierra, sin embargo, en los últimos años se ha observado que este fenómeno dejó de ser del todo natural, debido a los procesos antrópicos y actividades humanas llevadas a cabo a lo largo de la historia.

Los factores que afectan los cambios en la temperatura media de la Tierra y el Cambio Climático son los cambios en el nivel del mar, el contenido de vapor de agua, la emisión de aerosoles a la atmósfera, aumento en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄), e hidratos de metano. Además, es importante considerar los cambios de reflexión terrestres y los cambios en el campo magnético exterior, la cantidad de cobertura de nubes y la cantidad de energía solar que alcanza a la Tierra (Miller, 2007). Al considerar estas variables como detonantes sobre el cambio climático, se toma en cuenta que las actividades antrópicas pueden contribuir a estas mismas.

En efecto, en la cumbre de Poznan, celebrada en Polonia en el 2008, se considera que el Cambio Climático se ha intensificado debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por el uso de combustibles fósiles. Dichos combustibles son utilizados para la generación de electricidad, climatización de espacios cerrados,

entre otros usos, los cuales son utilizados para el desarrollo de las poblaciones humanas (Cordero, 2012).

De acuerdo a los informes realizados por el IPCC se resalta que las causas del Cambio Climático son de origen natural y antropogénicas., sin embargo, “el fenómeno del Cambio Climático se ha visto intensificado, debido a una exacerbada acción del calentamiento global; esto ocurre por una mayor concentración de gases de efecto invernadero (GEI), en la atmosfera” (Estrada, 2001, p.9).

2.2 México y el Cambio Climático.

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI, 2015) ha realizado comparaciones entre las emisiones de los países con el fin de mejorar la confiabilidad del inventario y de mostrar la posición de México con respecto a otros países del mundo, las emisiones de CO₂ generadas por la quema de combustibles fósiles fueron de 630,304.29 millones de toneladas en todo el mundo.

Al respecto, de acuerdo con las cifras reportadas por la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2021), México generó el 1.4% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ubicándolo en el segundo lugar en América Latina, las principales emisiones fueron de dióxido de carbono (63.9%), metano (27.7%) y óxido nitroso (5.1%).

Ruiz et al. (2016) identificaron que las características del Cambio Climático están dadas principalmente por el cambio térmico y pluvial. El cambio térmico se producirá tanto en el ciclo de primavera-verano como en el ciclo otoño-invierno, aunque parecidas las tendencias suelen incrementarse en el último periodo. En este sentido, Sosa (2015) menciona que para México se proyecta un aumento entre 0.5°C y 4.8°C de la temperatura media anual para el periodo 2020-2100, mientras que para los rangos de precipitación se verán reducidos entre un 15% en invierno y un 5% en verano, lo que favorece a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos, los cuales

provocarían efectos negativos en la salud, en los servicios públicos y en la agricultura.

Observadas las afectaciones que tendrá el Cambio Climático en diversos sectores poblacionales y ecosistemas, en diferentes escalas, es necesario implementar medidas de adaptación capaces de reducir la vulnerabilidad presente en estos sistemas socioambientales. El Programa Especial de Cambio Climático (PECC, 2010) considera que este fenómeno impactará a todas las regiones del país, sin embargo, estudios señalan que la Ciudad de México será la más afectada por dichas variaciones debido a su concentración urbana y problemas ambientales existentes.

Como se muestra en el trabajo realizado por Ruiz et al. (2017), en el cuál al regionalizar la influencia del cambio climático, se observa un incremento en la temperatura media de 2 a 4 °C, un aumento en la oscilación térmica de 0 a 1 °C y una pérdida de 10 a 60 mm de lluvia durante el periodo del 2040 en adelante, específicamente en los estados de México, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Puebla, Querétaro, Oaxaca y Chiapas.

Conde (2011) asegura que, aunque México cuente con grupos sociales y organizaciones para enfrentar este fenómeno, se requiere de una planificación más detallada y objetiva para llegar a afrontar de manera completa los rubros de este proceso, para ello, se necesitan políticas de estado para cada uno de los sectores que lleguen a ser afectados, estas, deben entenderse en el marco conocido como “ganar-ganar”, y aunque este cambio pudiera presentarse dentro de 25 o 50 años, las medidas de adaptación deben mejorar la calidad de vida en la actualidad, y así, asegurar que esas condiciones prevalezcan para las generaciones futuras, esto es conocido como la búsqueda del desarrollo sustentable en la actualidad.

Los impactos del Cambio Climático se han observado en diferentes sistemas y sectores, principalmente al alterar el sistema climático por completo lo que traerá

consigo un gran riesgo para la biodiversidad, la riqueza de los ecosistemas y los sectores productivos humanos. El IPCC (2002) afirma que se espera que esta situación afecte tanto a organismos individuales, poblaciones, distribución de especies, así como el funcionamiento de los ecosistemas debido al aumento en la temperatura, cambios en los patrones de precipitación, climas extremos y aumentos en el nivel del mar.

Para el sector hídrico, Beates et al. (2008) destacan la relación del Cambio Climático con el ciclo hidrológico, al observar los cambios en los patrones de precipitación, intensidad en las lluvias, tormentas extraordinarias y cambios en la humedad del suelo y en los procesos de escurrimiento de los mismos. Se espera que durante el Siglo XXI se tenga un incremento en los niveles de precipitación en las zonas de alta latitud norte y la disminución de precipitación en las zonas de tropicales y subtropicales. México está ubicado precisamente en la región tropical y subtropical del hemisferio norte, en donde la precipitación disminuirá.

Por otra parte, en el sector salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) así como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), señalan que el Cambio Climático es responsable de un elevado número de personas con diversas enfermedades, además de muertes prematuras, esto debido a la alteración en la distribución de algunas enfermedades transmitidas por vectores (paludismo o dengue), los efectos de las ondas de calor, lesiones debido a inundaciones, deslaves o tormentas, afectaciones en la calidad de los alimentos, lo que provoca enfermedades diarreicas y aumento en la frecuencia de enfermedades cardiorrespiratorias debido a las concentraciones de ozono (O3).

En la población, la estructura socioeconómica permite que, las afectaciones que tendrán sobre cada clase social será diferente; Galindo (2009) enfatiza que aunque los impactos del Cambio Climático en América Latina y el Caribe serán asimétricos, afectarán en mayor medida a la población con los ingresos económicos más bajos, esto se debe a que están ubicados en las zonas más propensas a la presencia de

eventos climáticos extremos, y disponen de menos recursos para adaptarse a las futuras nuevas condiciones del clima, es así, que los eventos climáticos extremos implicarán pérdidas de trabajos e ingresos, lo que reducirá la asistencia y el desempeño escolar, con efectos negativos en la productividad y los ingresos futuros

Del mismo modo, el impacto social, referido al fenómeno migratorio, se verá reflejado en numerosos grupos humanos desplazados por motivos relacionados con el Cambio Climático, Harvey (1973) menciona que la principal razón del desplazamiento es por la escasez y el deterioro de los recursos de su entorno, lo que provocará conflictos sociales que impidan el desarrollo de la comunidad.

Para la agricultura, Lee et al. (2009), mencionan que las alteraciones del Cambio Climático en los regímenes de temperatura y precipitación, ocasionarán un aumento en los costos de producción, de manera que mantener un rendimiento óptimo en los cultivos será más costoso.

2.3 Cambio Climático y Agricultura.

Como resultado del cambio climático a nivel mundial, se espera que se produzcan temperaturas extremas, escasez de agua e inundaciones, debido a la alteración climática presente (Arteaga et al., 2018). Este cambio de clima afectará seriamente al sector agrícola, Ortiz (2012) asegura que debido a las crecientes temperaturas y al cambio en los regímenes pluviales, las consecuencias esperadas serían: la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno, la erosión del suelo, menor disponibilidad de tierras y disminución en el acceso a los recursos hídricos.

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2019) la agricultura en México se verá afectada por la presencia de plagas, insectos y eventos meteorológicos extremos a causa del Cambio Climático, en este sentido, se destacan los siguientes puntos:

- a) El incremento de la temperatura afecta el crecimiento de algunos cultivos, sobre todo si aumenta el consumo de agua y la proliferación de plagas.
- b) El impacto que tendrán las variaciones de la temperatura, precipitación y presencia de eventos meteorológicos extremos en el sector agrícola, demandará una mejor planeación ante los agricultores y así no comprometer el rendimiento de sus actividades y la calidad de los cultivos.
- c) Como medidas de adaptación al Cambio Climático se propone la gestión integral de suelos y de recursos hídricos, capacitación a los agricultores sobre este fenómeno, el fomento de buenas prácticas agroecológicas, la diversificación de los cultivos, al incluir variedades resistentes y el rescate de semillas criollas.

El Cambio Climático es un fenómeno difícilmente reversible, que se intensificará en un futuro no muy lejano, por lo que una de las recomendaciones más importantes para el sector agrícola mexicano es desarrollar medidas de adaptación. De acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Sustentable (CEDRSSA, 2019), las áreas agrícolas de temporal se tendrán que adaptar a un escenario de más temperatura y menos cantidad de agua, de aquí en adelante las tecnologías de producción actuales y futuras deberán adaptarse bajo condiciones de escasez. En este sentido, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012), indica que la agricultura, tanto de temporal como de riego, estarán vulnerables ante las alteraciones futuras, y las especies utilizadas para el cultivo, tendrán modificaciones en su distribución y rendimiento.

La presencia del Cambio Climático en las áreas agrícolas, impone la necesidad de generar medidas de adaptación a las nuevas condiciones agroclimáticas que trae consigo este fenómeno (IPCC, 2007; Ruiz et al., 2011), especialmente en cultivos como el maíz. La formación de nuevas variedades de cultivo constituye a una de las medidas de adaptación más precisas para hacerle frente a este fenómeno, ya que a través de la selección de variedades se solucionan varios problemas que el cambio climático impone sobre los cultivos, tales como: el estrés térmico, su baja

productividad y el incremento en la ocurrencia de plagas y enfermedades, originadas por las alteraciones climáticas futuras (FAO, 2007; Hatfield et al., 2011; Ruiz et al., 2011).

2.4 Variedad del Maíz.

En muchas regiones agrícolas del país se cultivan diversas variedades de maíz, Coutiño et al. (2014) indican que los productores que cultivan las variedades de ciclo corto o precoz obtienen granos en menor tiempo, además de tener la ventaja en aprovechar mejor la humedad de la época de las lluvias.

De acuerdo a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2010) se conocen alrededor de 60 variedades de maíz nativo, popularmente conocido como maíz criollo. Por lo tanto, aumentar la inversión en las zonas de temporal, permitirá conservar las variedades nativas de maíz. Asimismo, antes de sembrar se deben considerar diversos aspectos, tales como, el tipo de semilla, la época, la densidad y los métodos de siembra (Miranzo et al., 2015).

Por ello, las características mayormente deseadas por los agricultores son: una menor altura de planta, un mayor rendimiento, una mayor resistencia a la humedad y a los cambios futuros en el clima, así como un mayor tamaño de mazorca y de granos (Delgado, 2018).

En 1983 el Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) liberó una variedad de maíz precoz, la cual fue denominada como “Tuxpeño Precoz” o por sus siglas V-424, la cual fue recomendada en las regiones tropicales del país con altitudes de hasta 1000 metros. En el año 2002 el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Centro de Chiapas del mismo INIFAP, inició procesos para el mejoramiento genético de esta variedad con el objetivo de renovarla. De estas evaluaciones destacó la variedad denominada en ese momento como “Coita Ciclo 3” superando en su totalidad alrededor del 9% de V-424 (Coutiño et al., 2008). Por lo que en el año 2012 a través del Servicio Nacional

de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) se registra con el nombre de variedad V-560 con el número de registro MAZ-1308-010312.

En este sentido, el Instituto de Estadística y Geografía (1997) identificó los aspectos más sobresalientes de esta variedad ante otras, las cuales fueron:

- a) En verano su ciclo vegetativo es de 115 días y alcanza la floración a los 52 días,
- b) La mazorca se inserta a una altura entre 65 y 75cm, presentando 14 hileras de grano blanco.
- c) Esta variedad se adapta fácilmente en las regiones de escasa precipitación pluvial y zonas con fuertes vientos.
- d) La cosecha se levanta a los 110 días después de la siembra.

En este sentido, Coutiño et al. (2008) identificaron las características de esta variante:

- a) Esta variedad es de porte bajo lo cual indica que necesita de 1.6 a 2.0 metros de altura.
- b) La de maíz se debe insertar a una altura de 0.6 a 1.0 metros.
- c) Al ser precoces, su floración media masculina ocurre entre los 51 a 55 días o entre los 65 a 70 días, dependiendo de su ciclo.
- d) Las mazorcas son de forma cilíndrica, de 17 a 20 cm de longitud y 4.1 a 5.0 cm de diámetro, además, son de color blanco cremoso con textura semi-dentada, y con un contenido de 11.6% de proteína, lo cual nos ayuda a tener tortillas de primera calidad con un agradable color blanco.
- e) Por cada kilogramo de grano de esta variedad se obtiene entre 1.8 kg a 1.5 kg de tortilla



Figura 2.1. Mazorca de la variedad V-560 para zonas tropicales. Tomado de Coutiño (2014).

En general, la variedad de este maíz necesita de características óptimas y específicas para que pueda desarrollarse, un clima caliente o tropical húmedo, no le es posible adaptarse a regiones áridas o heladas, la temperatura óptima debe oscilar entre 20° C a 30° C, así como tener niveles de precipitación constantes (INEGI, 1997). Todas estas condiciones se refieren al hábitat de una especie, tal y como lo expresa Storch (2003) *“el hábitat es el espacio que reúne las condiciones y características físicas y biológicas necesarias para la supervivencia de una especie”*.

Actualmente en México, como en otras partes del mundo, existe una crisis alimentaria, la cual se deriva de la aplicación de tecnologías inadecuadas y de la mala selección de sitios de cultivos (Sotelo et al., 2016); por ello, es necesario el desarrollo e implementación de conocimiento científico para resolver estos problemas. Una forma de lograrlo es a través de la correcta elección de metodologías para identificar las zonas con aptitud para el cultivo del maíz.

La metodología a utilizar debe considerar tanto los requerimientos del cultivo, así como las características particulares del entorno (p. ej.: un modelo de nicho), con lo

cual se garantiza un uso adecuado del terreno, un buen rendimiento del cultivo y el menor impacto ambiental (Perales, 2009; UCCS, 2009; Sotelo et al., 2016).

2.5 Modelos de Nicho.

El nicho ecológico de un organismo, especie o población describe la manera en que estos responden a los factores medioambientales de un ecosistema. Las dimensiones de un nicho dependen del tipo de nicho ecológico y pueden ir desde condiciones medioambientales físicas, como la temperatura, el pH del suelo y la composición del suelo, hasta interacciones entre especies, como la competencia y la depredación. Como tal no tienen un tamaño en específico, las dimensiones pueden incluir la forma en la que alteran el medio y desempeñan un importante papel para la supervivencia de otras especies (Maciel et al., 2002).

Para Soberon y Nakamura (2009) el modelado del nicho ecológico es un instrumento que nos permite analizar los factores ecológicos asociados a distintas poblaciones de determinada especie, además de identificar las variables ambientales que influyen en estas. Es por ello que la información analizada por distintos tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico regional el área potencial que ocupa la especie, todo esto, con el propósito de identificar los sitios adecuados para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales.

Los modelos de nicho permiten estudiar el nicho efectivo o realizado de una especie, por lo que el resultado del análisis nos indica con cierto valor de probabilidad el hábitat que es propicio para ella, de acuerdo con Soberón et al., (2005) el nicho efectivo es *“el conjunto de condiciones en las que un organismo puede vivir en presencia de otros”*.

Actualmente se pueden encontrar diversos programas para el modelado de especies por distintos métodos y datos para desarrollar las predicciones (Elith et al.,

2006). Maxent (Modelado de Distribución de Especies de Máxima Entropía) destaca por ser el más completo al considerar e interpretar las variables climáticas.

2.5.1 Maxent.

Morales (2012) considera a Maxent como un programa adecuado para realizar predicciones sobre la distribución de las especies ya que permite proyectar variaciones en la distribución de una especie frente a cambios ambientales de temperatura, humedad y precipitaciones.

Este programa utiliza datos continuos o categorizados y sus algoritmos son eficientes, por lo que garantiza la óptima distribución de la probabilidad de máxima entropía (Phillips, et al., 2006). Gracias a esto Maxent utiliza iteraciones en donde asigna distintos pesos a las variables utilizadas y a su vez las ajusta. Maxent se basa en el principio de máxima entropía, el cual, desde el punto de vista probabilístico, tiene como objetivo generar distribuciones de probabilidad con información dada, ya que se desea encontrar la distribución que soporte mayor nivel de incertidumbre (Fang et al., 1997).

En general, Maxent ofrece ventajas sumamente sobresalientes en comparación de otros programas de modelado de nicho ecológico, ya que solo necesita datos de reportes georreferenciados, categorizados o continuos, así como variables a escalas mundiales (Phillis et al., 2006). Sin embargo, para saber qué variables utilizar, es necesario elegir adecuadamente la fase del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP), la trayectoria socioeconómica compartida (SSP) y el modelo de circulación general a utilizar en la región.

3. Planteamiento del problema

Es un hecho que el Cambio Climático es un fenómeno natural que potencializado por las actividades antropogénicas se transformó en una problemática actual global, al ocasionar afectaciones en diversos sectores poblacionales, uno de ellos será el del sector agrícola.

De acuerdo con la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2014) las principales problemáticas en la producción del maíz son:

- I. Los altos costos de producción, que se generan desde la preparación del terreno hasta obtener la cosecha.
- II. El fenómeno del Cambio Climático, las alteraciones presentes en los niveles de temperatura, radiación solar y niveles de precipitación afectan al rendimiento y a la producción de las cosechas, principalmente afecta a los cultivos de temporada.
- III. Las plagas y el uso de fertilizantes y plaguicidas, generadas por las mismas condiciones de la zona, las plagas suelen afectar en la calidad y producción de los cultivos, por ello se implementan los fertilizantes y plaguicidas.
- IV. Barrera para el acceso a productos financieros.

Para Chiapas, el proceso del cultivo y producción del maíz, se encuentran en riesgo debido a una gran variedad de amenazas relacionadas con el Cambio Climático, ya que las condiciones climáticas no serán idóneas para cultivar el maíz, en consecuencia, se presentarán mayores gastos en mantener un rendimiento normal en los cultivos. Los municipios de Ocozacoautla de Espinosa, Villaflores, Venustiano Carranza, La Concordia y Villa Corzo son los principales productores de la región y en consecuencia los más afectados.

Con base en lo anterior, se plantea identificar las áreas potenciales que garanticen la permanencia de las condiciones climatológicas para que la variedad V-560 tenga

un óptimo desarrollo, y así, compararla con las condiciones que necesiten otras variedades de maíz, esto con el objetivo de identificar si esta variedad podría utilizarse como una medida de adaptación ante el fenómeno del Cambio Climático.

4. Justificación

En los últimos años, se han visto cambios en las condiciones climáticas que alteran a la producción y el rendimiento de los cultivos, lo que pone a la deriva la seguridad alimentaria de la población. Son pocos los estudios que se han realizado bajo el enfoque de nicho ecológico implementado para el cultivo de maíz en México, es aquí donde nace la importancia de realizar este tipo de investigación, en el estado Chiapas, el cual es considerado como uno de los principales estados productores del maíz. En su mayoría los municipios productores de este grano, pertenecen a la región de la Depresión Central de Chiapas, en donde alrededor de un 40% de la población dentro de la Depresión Central se dedica a esta actividad, es por ello que surge la necesidad de plantear estrategias de adaptación ante el Cambio Climático, relacionadas a la identificación de las áreas con características adecuadas para el cultivo del maíz, así como la evaluación de variedades de semillas a utilizar

Además, en Chiapas, el principal sustento económico de la población es la agricultura, alrededor de un 60% de la superficie estatal se ocupa para llevar a cabo esta actividad, lo que representa el 35.8% del producto interno bruto (PIB) estatal, y emplea alrededor del 56.32% de la población (SAGARPA, 2010). Sin embargo, actualmente para el maíz, se presenta una tasa de crecimiento del -2.1% lo que revela una disminución de 142.124.4 hectáreas (ha).

5. Antecedentes

En México, uno de los cultivos más importantes es el maíz, este se verá impactado por el Cambio Climático en la reducción de áreas potenciales para su producción (Hernández et al., 2018). A partir de este panorama, los modelos de simulación y sobrepredicción se convierten en potentes herramientas para la toma de decisiones, dichos modelos aparecieron en la década de los 50's a través de modelos descriptivos y matemáticos, hasta trascender a la actualidad, en donde han sido complementados por algoritmos y algunos métodos analíticos, así como, implementados en los estudios donde se analice el impacto del Cambio Climático sobre las especies animales, vegetales e incluso sobre los cultivos.

En este sentido, se encuentran diversas investigaciones alrededor del mundo que utilizan el modelado de nicho ecológico como parte de su metodología para analizar la distribución de las especies biológicas e incluso relacionarlas con los efectos del Cambio Climático. Tal es el caso de Vitali y Katinas (2015), quienes llevaron a cabo un estudio biogeográfico al noroeste de Argentina; mediante el modelado de nicho ecológico a través del método de máxima entropía proporcionada por el programa Maxent, encontraron áreas potenciales para la especie *S. macroscyphus* donde aún no ha sido muestreada y podría considerarse como áreas de cultivos. Los resultados indican que la estacionalidad del clima y las temperaturas promedio anuales son las variables más determinantes que afectarán su distribución.

Por otro lado, Buirra (2016) realizó la modelación de nicho ecológico para la localización de seis especies de plantas amenazadas en el parque natural de Els Ports en el noroeste de la Península Ibérica en España. Para ello, se generaron modelos de distribución de especies con el programa Maxent. Los escenarios dieron como resultado 28 nuevas presencias de cinco especies distintas lo cual permitió conocer mejor las características medio-ambientales de la especie perteneciente al parque natural.

De manera similar, Lozano (2020) realizó el modelado de nicho ecológico a través de Maxent para la evaluación de presencia de distintas especies de cedros (*Cedrela odorata*, *Cedrela montana* y *Cedrelinga cateniformis*) en la Amazonía Peruana, dichas especies fueron analizadas debido a su importancia histórica y a la vulnerabilidad en la que se encuentran. Los resultados encontrados establecen que variables como la precipitación, la isothermalidad, la temperatura y la radiación solar son determinantes para la prosperidad de esta especie, sin embargo, no es el único factor que altera su distribución. En este trabajo se menciona que actividades humanas como la tala y quema de árboles han puesto bajo un importante riesgo la prosperidad a futuro de la familia de los cedros, pues las condiciones climáticas si son aptas para su desarrollo, sin embargo, estos cambios de uso de suelos tienen un peso importante.

En México, Martínez (2010) utilizó el método de modelado de nicho ecológico bajo el algoritmo de máxima entropía propuesto por Maxent para la localización de zonas de importancia para la conservación de especies carnívoras enlistadas en la NOM-059-2002 (*Canis Latrans*, *Canis Lupus Baileyi*, *Herpailurus Yagouaroundi*, *Panthera Onca*, entre otras) en el estado de Oaxaca, en los resultados se identifican áreas potenciales en donde las especies mamíferas de carnívoros pueden desarrollarse en un futuro, esto bajo las condiciones climáticas, el valor de endemismo, el valor de vulnerabilidad relativa y el valor de masa que cada especie necesite. El estudio demuestra que la distribución final estará dada por la complejidad orográfica y la dinámica de los microambientes presentes, además, de mencionar que es imposible conservar todas las especies existentes en el estado, pues se deben tomar en cuenta las implicaciones socioeconómicas que hay en la región. Finalmente, el área de estudio fue dividida en dos regiones, en ambas, la temperatura será una condicionante fundamental para su distribución, por ello, si las tendencias climáticas presentes en la investigación siguen a la alza podrían modificar por completo el hábitat, lo que colocó a este grupo de especies en riesgo.

Ulate (2016) analizó la distribución potencial de especies representativas de la comunidad de macroinvertebrados en la región del Golfo de Baja California Sur, México. Mediante datos de presencia de especies y obtención de datos climáticos fue posible establecer la estructura espacial de la misma, al implementar a Maxent como base integral del estudio. Se obtuvieron resultados en donde variables como: la barimetría, la temperatura y la salinidad, condicionan el comportamiento de estas especies, eso sin contar otras variables más complejas como: la cantidad de alimento, la cobertura coralina o los tapetes de hidrozoarios presentes en el nicho.

Por su parte, Martínez (2016) obtuvo modelos de nicho ecológico para ocho de las especies y variedades de *Abies* reconocidas en México (*A. concolor*, *A. durangensis* var. *durangensis*, *A. durangensis* var. *coahuilensis*, *A. flincki*, *A. guatemalensis*, *A. hickelii*, *A. jaliscana*, *A. religiosa* y *A. vejari*), a través del algoritmo de máxima entropía y variables climáticas, así como topográficas provenientes de la base de datos de la página de WorldClim y de Hydro1k, se obtuvieron resultados que sugieren que la especie *A. concolor* tiene el nicho ecológico más diferenciado con respecto a los demás *abetos* mexicanos lo que lo coloca en una situación vulnerable.

Para la agricultura, en México, también se han llevado a cabo estudios donde se muestra la distribución potencial de los cultivos, o las zonas más óptimas para estos. Mediante el software DSSAT 4.5 y con ayuda de las variables climáticas obtenidas de la página del Grupo de Cambio Climático del Centro de Ciencias y Atmósfera de la UNAM y el modelo MPIECHAM5, Arias (2016) analizó los efectos del cambio climático en el rendimiento del maíz, de la variedad JAGUAN (*Zea Mays*) para cuatro regiones del estado de Coahuila (Saltillo, Torreón, Monclova y Jiménez). Los escenarios de Cambio Climático para el periodo 2030-2050 muestran un aumento en la variable temperatura que impactará de manera negativa a la producción de esta variedad en las cuatro regiones, a excepción de Jiménez la cual será la menos afectada, por otro lado, el cambiar la fecha de siembra del maíz en la simulación,

se toma como una medida adaptativa ante el cambio climático pues el rendimiento para el período 2030-2050 se verá mejorado.

Asimismo, López et al. (2017) analizaron el impacto del Cambio Climático en la agricultura de secano en Aguascalientes para el período 2015-2039, a través del modelo HadGEM2-ES. Los resultados muestran las zonas potenciales para llevar a cabo un buen rendimiento en la producción del maíz, al considerar solo los aspectos climáticos, sin embargo, también indicaron incrementos probables del 20% en la precipitación media anual (PMA), lo cual no garantiza un impacto positivo en la productividad del cultivo, ya que hay factores asociados a las condiciones edáficas, topográficas y de las políticas de uso de la tierra que determinan el éxito y rendimiento de los cultivos.

Para Chiapas, Juárez (2013) analizó el impacto que tendría el cambio climático en la especie "*Boa constrictor*", específicamente en la Selva Lacandona, el estudio identificó los sitios adecuados para la supervivencia de la especie según sus requerimientos ambientales. Para ello, se aplicó el modelo estadístico MOCLIC, con el fin de identificar las tendencias de cambio en las temperaturas extremas (máxima y mínima), así como también, emplear variables climáticas de la página WORLDCLIM y capas topográficas para la aplicación del algoritmo genético de GARP. Como resultado, los escenarios de nicho ecológico para los periodos 2030, 2060 y 2080, muestran que las condiciones de temperatura aumentan y los niveles de precipitación disminuyen, lo que ocasionará alteraciones en el nicho ecológico de la boa, sin embargo, se concluye que la especie *Boa Constrictor* se adaptará con facilidad a estos cambios.

Con estos estudios se demuestra la importancia del uso de los modelos de distribución de nicho ecológico los cuales permiten tener una idea de las condiciones climatológicas futuras, enfocadas al cambio climático, y así tener una adecuada toma de decisiones, lo cual es de gran importancia como parte de la adaptación al cambio climático.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

- Analizar la distribución del maíz variedad V-560 en la provincia fisiográfica Depresión Central de Chiapas ante escenarios de Cambio Climático.

6.2 Objetivos Especificos

- Comprender el uso del modelo de nicho ecologico (Maxent) para la generación de modelos de distribución potencial.
- Generar modelos de distribución potencial de nicho ecológico para el maíz variedad V-560 a través del algoritmo Maxent.
- Comparar la distribución potencial del maíz variedad V-560 bajo diferentes escenarios (actual, mediano y largo plazo).
- Identificar las variables climáticas de mayor peso que condicionan la distribución potencial del Maíz en la Depresión Central del estado de Chiapas.
- Elaborar un ejercicio para examinar la distribución potencial de una variedad de maíz criollo

7. Área de estudio

7.1 Chiapas

Chiapas se localiza al sureste de México, colinda 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, sus coordenadas son: al norte 17°59', al sur 14°32' de latitud norte, al este 90°22', al oeste 94°14' de longitud oeste. (INEGI, 2010)

El estado está dividido por diferentes provincias fisiográficas (Figura 8.1), las cuales son el resultado de la acción de un conjunto de distintos agentes modeladores del terreno lo que da origen al relieve que hoy se conoce (Mullerried, 1957).

En base a esto, las principales regiones fisiográficas del estado son:

- Llanura Costera del Pacífico
- Sierra Madre de Chiapas
- Depresión Central
- Altiplano Central
- Montañas del Norte
- Montañas del Oriente
- Llanura Costera del Golfo

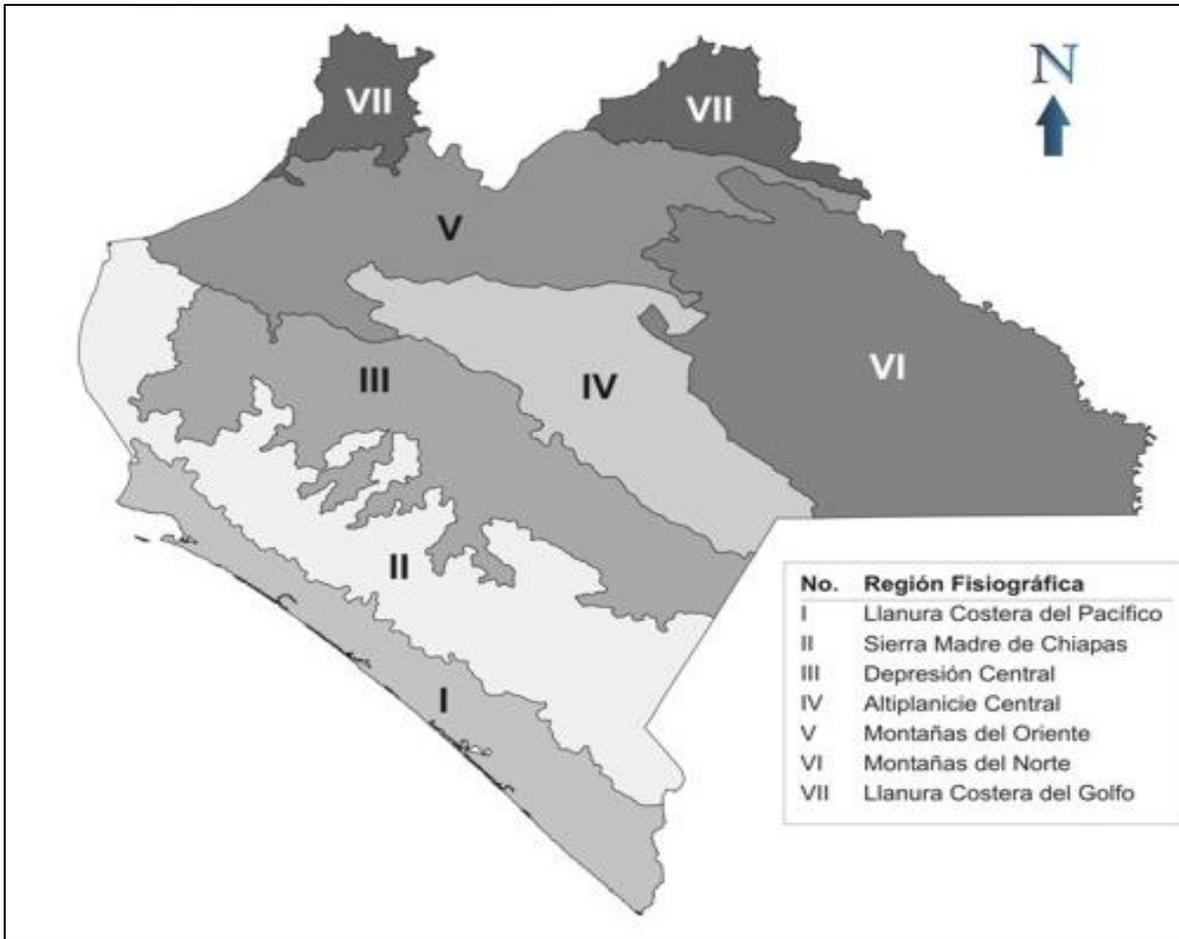


Figura 7.1 Regiones Fisiográficas de Chiapas. Tomado de la Carta Geográfica del Estado de Chiapas (2001).

7.2 Depresión Central

7.2.1 Ubicación

De acuerdo a Mullerried (1957), la Depresión Central se ubica entre los $17^{\circ}59'$ - $14^{\circ}32'$ de latitud norte y los $90^{\circ}22'$ - $94^{\circ}14'$ de longitud oeste. Tiene una superficie de aproximadamente 9000 km^2 al ocupar aproximadamente el 12% de la superficie del estado, con variaciones altitudinales que van desde los 400 a los 1,500 msnm. Se localiza al centro del estado, bordeada y delimitada por la Sierra Madre de Chiapas, la Altiplanicie Central y las Montañas del Norte (Figura 8.2). Abarca los

municipios de Acala, Ángel Albino Corzo, Berriozabal, Chiapa de Corzo, Chiapilla, Chicomusuelo, Cintalapa, Comitán de Domínguez, El Parral, Emiliano Zapata, Frontera Comalapa, Jiquipilas, La Concordia, La trinitaria, Nicolás Ruíz, Ocozocoautla de Espinosa, San Lucas, Socoltenango, Suchiapa, Totolopa, Tuxtla Gutiérrez, Tzimol, Venustiano Carranza, Villa Corzo, Villaflores.

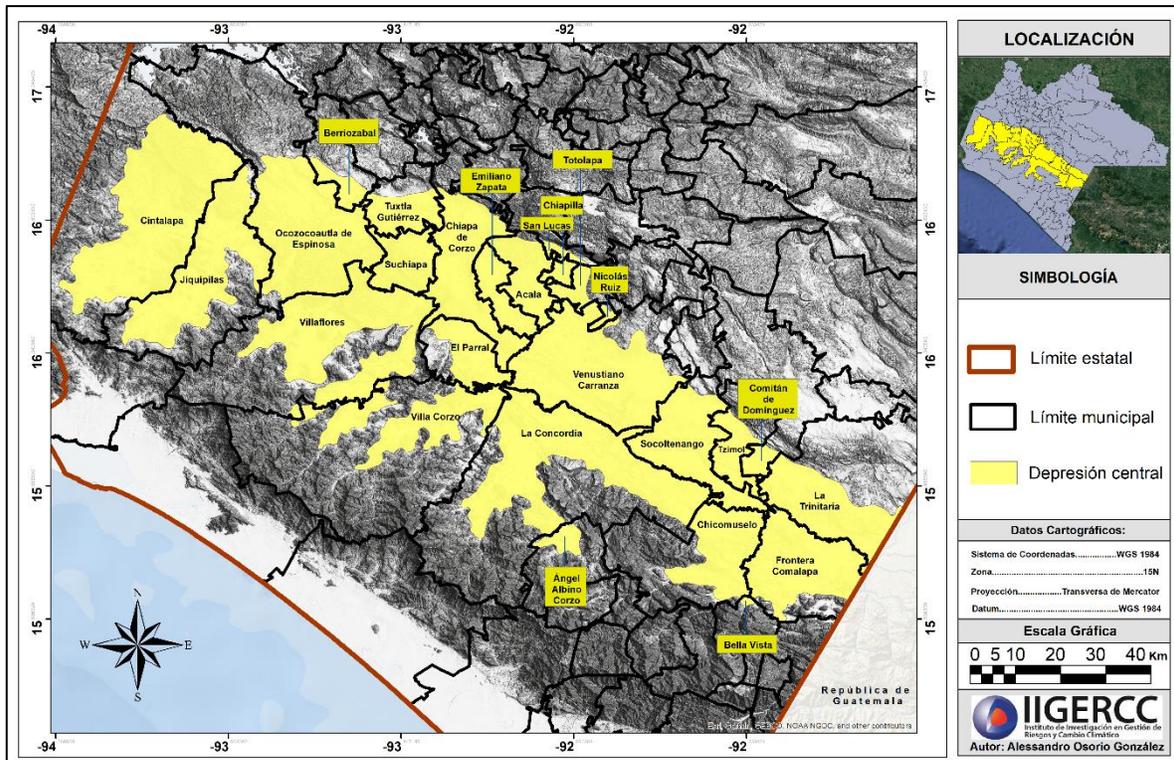


Figura 7.2 Ubicación de la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con base a la metodología de Mullerried (1957).

7.2.2 Litología

La región esta constituida principalmente por rocas sedimentarias y por depósitos aluviales (Mullerried, 1957), rodeado por áreas montañosas húmedas, se encuentra formada por capas de lutitas, areniscas, calizas y calizas margosas, consituido por depósitos superficiales de origen terrestre, lacustre, salobre y fluvial (Figura 8.3).

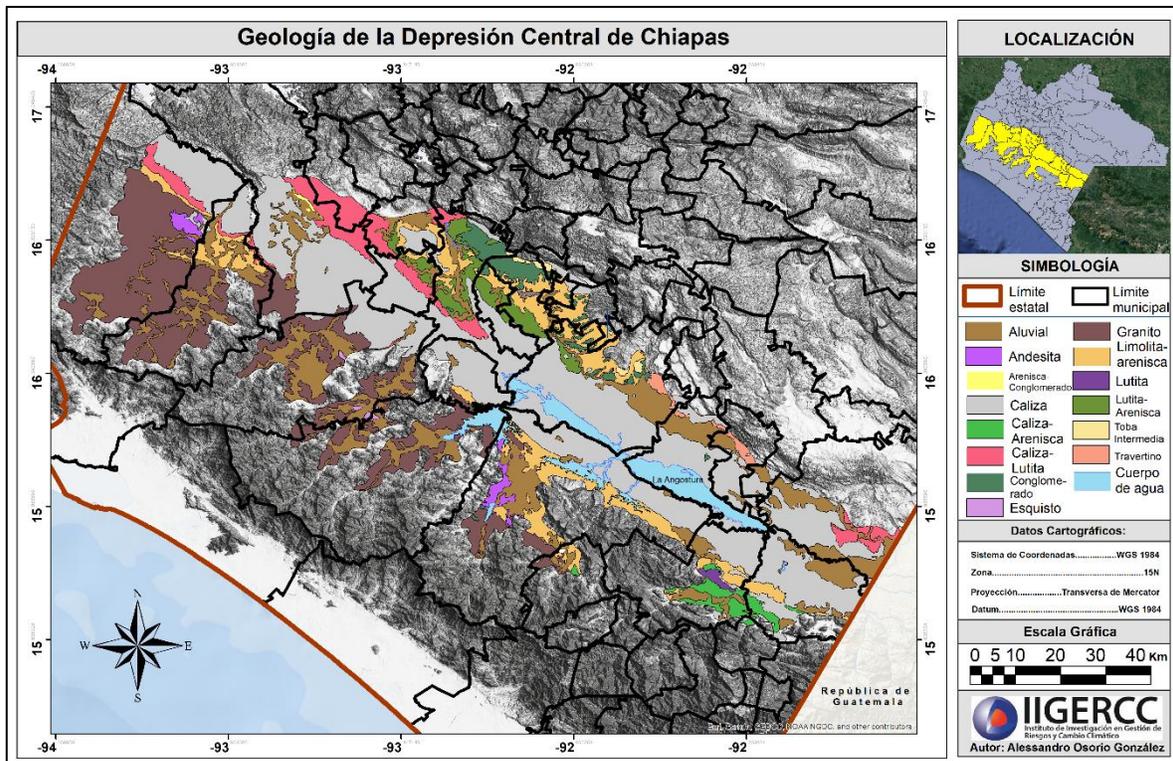


Figura 7.3 Litología presente en la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

7.2.3 Edafología

La Depresión Central de Chiapas se caracteriza por la presencia de suelos del tipo Leptosol, Luvisol, Vertisol, Regosol y Phaeozem (Figura 8.4), en su mayoría, presentan condiciones óptimas para la agricultura, a excepción de los suelos Leptosoles quienes debido a su escaso desarrollo y la falta de acumulación de materia orgánica, exhiben una baja fertilidad natural (INEGI, 2010), lo cual representa grandes desafíos para la agricultura sostenible.

Asimismo, los suelos vertisoles son suelos arcillosos que experimentan contracciones durante la temporada de seca y expansiones durante la temporada de lluvias, lo que provoca grietas profundas en el suelo (CONAGUA, 2018), sin embargo, a pesar de sus desafíos de manejo, los vertisoles en la Depresión Central tienen un alto potencial agrícola debido a su capacidad para retener nutrientes y agua durante períodos secos prolongados (INEGI, 2017). Al igual que los suelos

regosoles que debido a su escasa diferenciación y falta de acumulación de materia orgánica, tienden a tener una baja fertilidad natural, lo que puede requerir la aplicación regular de fertilizantes para el cultivo que se llegue a utilizar, a pesar de su baja fertilidad, los regosoles pueden ser adecuados para ciertos cultivos de ciclo corto o sistemas de cultivo intensivos con manejo adecuado de nutrientes y agua (CONAGUA, 2018).

Por otro lado, los luvisoles son suelos bien drenados, con un horizonte rico en arcilla y una capa superficial de humus, esto favorece a la retención de nutrientes y agua, lo cual es beneficioso para los cultivos (INEGI, 2010). De igual manera los suelos Phaeozem se caracterizan por tener un alto contenido de materia orgánica en su capa más superficial lo que promueve una buena estructura en el suelo y una mejor filtración del agua (CONAGUA, 2020), además, presentan una textura que va desde franco-arcillosa hasta franco-arenosa, lo cual confiere a una amplia capacidad de uso agrícola (INEGI, 2017).

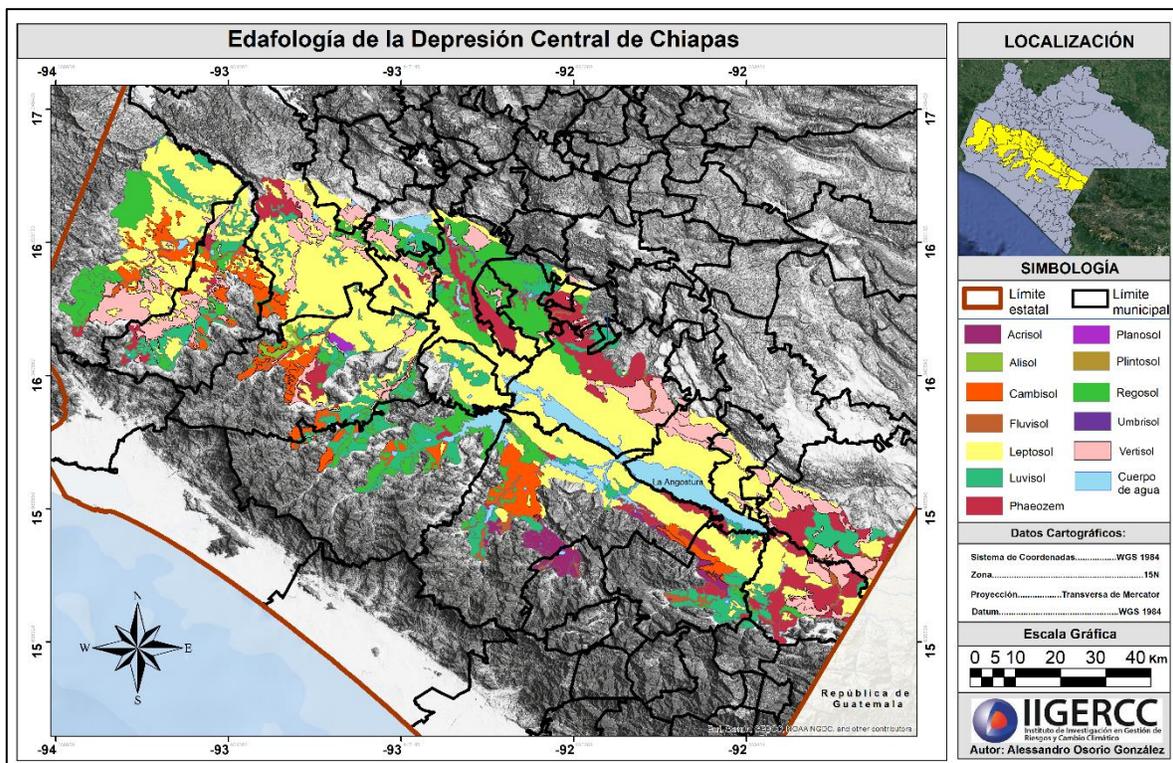


Figura 7.4 Suelos presentes en la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

7.2.4 Uso de suelo y vegetación

La vegetación originaria de esta región es la Selva Baja Caducifolia y mediana Subcaducifolia (Figura 7.5), aunque estos han sido sustituidos en su mayoría por vegetación secundaria debido al pastoreo, el manejo del fuego, la construcción de embalses y la apertura de la tierra al cultivo y centros de población humana (INEGI, 2000).

Mayormente la agricultura es la actividad principal en la Depresión Central de Chiapas, donde se cultivan granos básicos como el maíz, frijol, café, plátano y cacao (INEGI, 2017).

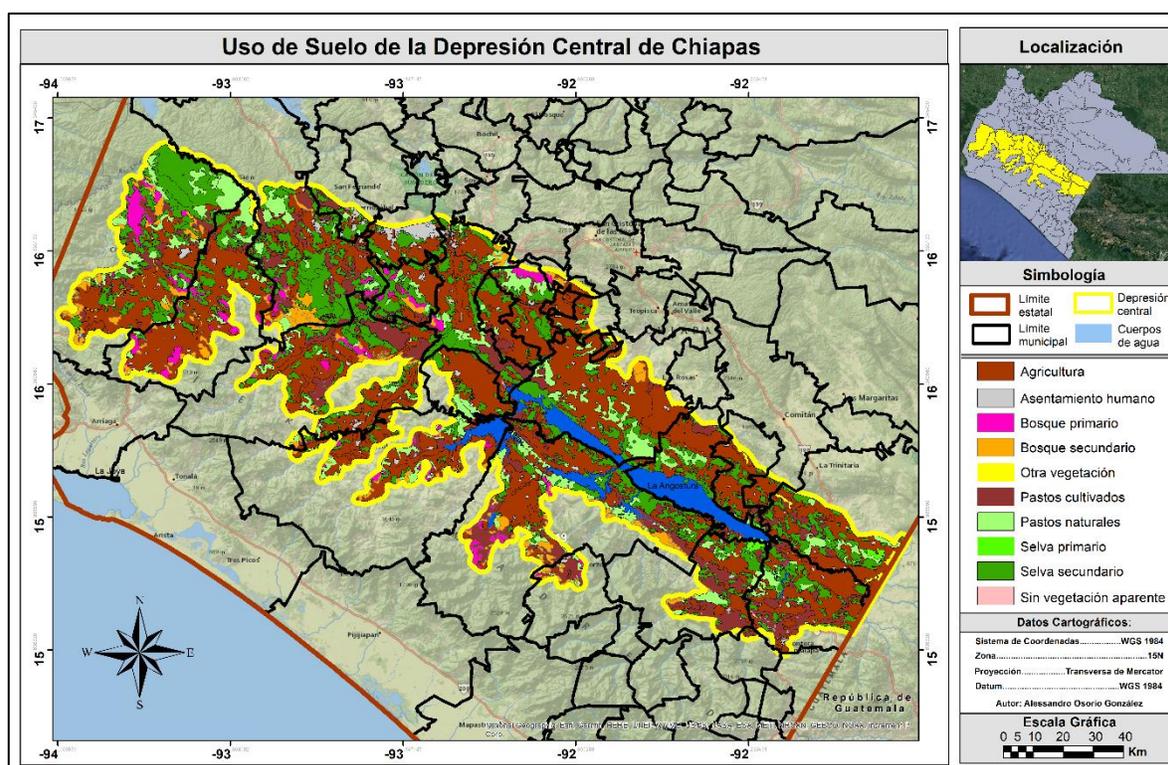


Figura 7.5 Uso de suelo de la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

7.2.5 Hidrología

Los ríos y arroyos que corren por esta zona provienen de la Sierra Madre de Chiapas, de la prolongación de la cadena montañosa proveniente de Guatemala y del Altiplano Central (Figura 7.6). El río más importante, por sus dimensiones, es el Grijalva, con una dirección sur-este a nor-oeste dentro de la Depresión Central y a la altura de Tuxtla Gutiérrez se dirige hacia el norte, para entrar al Cañon del Sumidero para finalmente desembocar hacia la Planicie del Golfo de México (Mullerried, 1957).

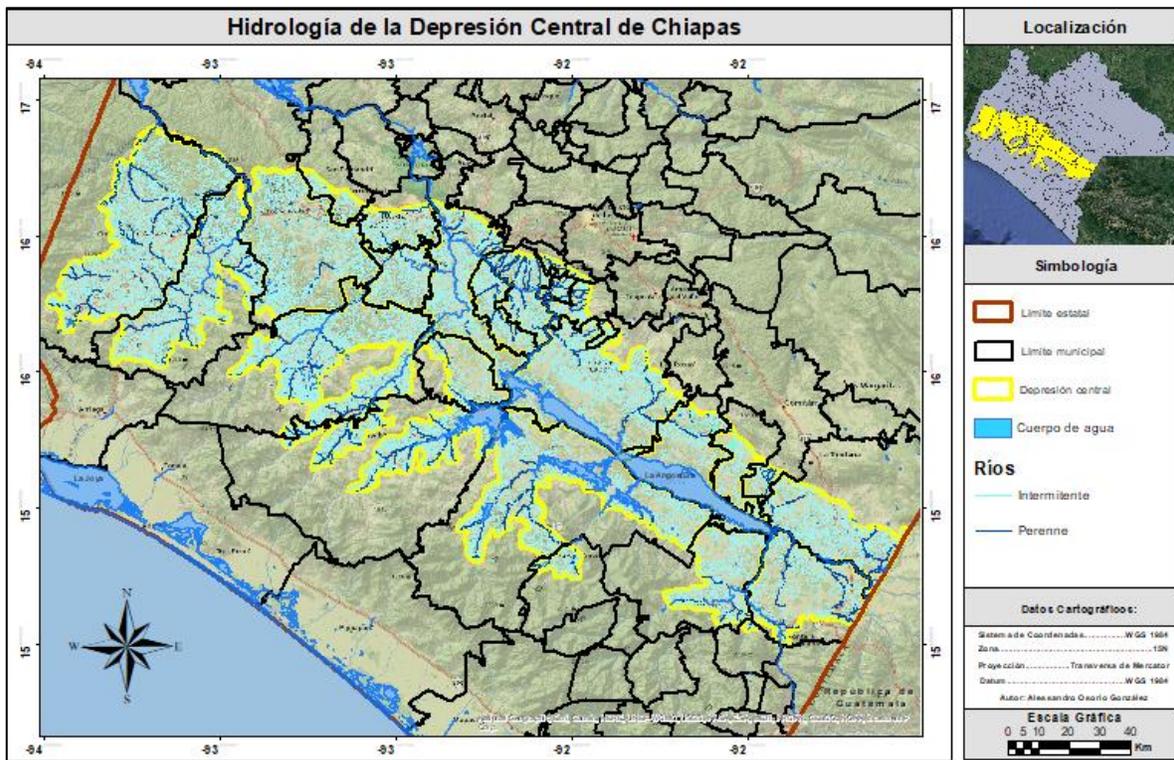


Figura 7.6 Sistema Hidrológico presente en la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

7.2.6 Clima

En la Depresión Central de Chiapas el factor de mayor importancia climática es el orográfico, este, afecta directamente a la temperatura y a la precipitación pluvial de la región. Esto impide el paso de los vientos alisios y nortes que soplan desde el Golfo de México, hacia el sur, la Sierra Madre de Chiapas impide el paso de los

vientos húmedos del Océano Pacífico. Es por ello, que en verano se presenta un régimen de lluvias de carácter convectivo (García, 1974).

De acuerdo con el sistema de Koppen (García, 1973), en la Depresión Central predominan dos tipos de clima (Figuras 8.7 y 8.8):

- Cálido subhúmedo ($Aw_0(w)igw''$): Con temperaturas medias anuales de 22.8 a 25.8 °C, la precipitación pluvial promedio varía entre 660 y 1051 mm anuales.
- Semicálido Subhúmedo ($Aw_2(w)igw''$): Con temperaturas por debajo de los 23 °C y una precipitación que varían entre los 1110 y 1267 mm anuales.

Los mayores niveles de precipitación se observan entre los meses de mayo y junio, aunque en julio se presenta una ligera declinación a causa de la canícula, en agosto y principios de septiembre se presenta otro periodo de elevada precipitación el cual disminuye en los meses de octubre y noviembre.

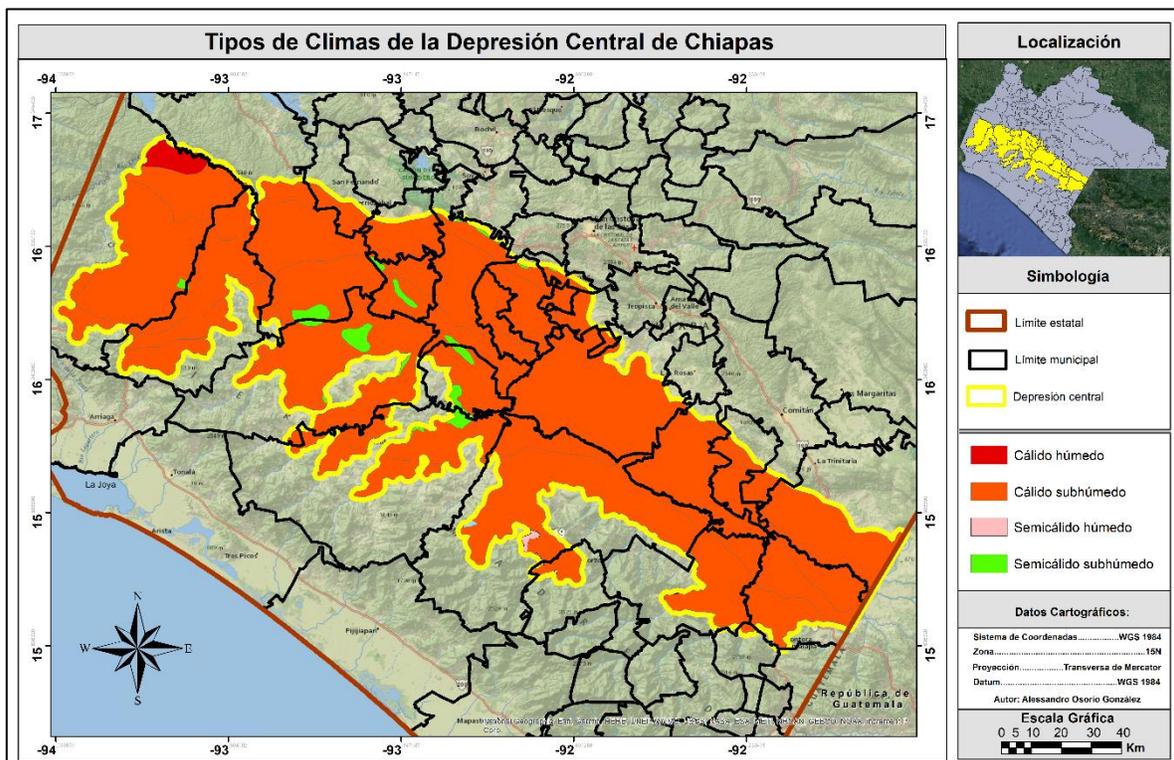


Figura 7.7 Tipos de climas presentes en la Depresión Central, Chiapas. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2010).

8. Materiales y Métodos

8.1 Especie a estudiar:

Se seleccionó la variante V-560 de maíz con base a su nivel de productividad y rendimiento en Chiapas, específicamente en la Depresión Central, así como su adaptabilidad a climas tropicales y resistencia a cambios en el sistema climático.

Por ello, se solicitó información georreferenciada de la distribución de este cultivo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2020), con la finalidad de obtener los puntos de muestreo donde esta especie es cultivada.

La base de datos proporcionada cuenta con 500 puntos de colecta, 330 puntos corresponden a la variedad V-560 y 170 puntos a maíz criollo.

8.2 Fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados a utilizar:

Se escogió la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Atmosféricos (CMIP6) ya que los modelos y variables proporcionadas tienen una mayor sensibilidad climática que la de otras fases, además, que es la más utilizada para realizar estudios de nicho y esta sustentada por 49 modelos diferentes.

8.3 Trayectoria Socioeconómica Compartida a utilizar:

La versatilidad de la CMIP6 nos permite manejar nuestros datos con base a una trayectoria socioeconómica compartida, dichas trayectorias o escenarios pueden mostrarnos cómo se comportaría la distribución de una especie con base a un mundo futuro, que va desde esfuerzos socioeconómicos para tener una mitigación ambiciosa hasta un mundo donde las emisiones superen los rangos históricos (Mallqui, 2022).

Para este trabajo se utilizó el SSP126, ya que este escenario está diseñado específicamente para lograr el objetivo de temperatura global, el cual debe limitar a un aumento de temperatura no mayor a 1.5 C°, establecido en el Acuerdo de París (Fernández, 2015).

Esta narrativa socioeconómica, describe un mundo sostenible, donde se presentan cambios graduales, pero generalizados, se enfatiza un desarrollo más inclusivo que respete los límites ambientales, la gestión de los bienes mejora lentamente, las inversiones en educación y salud aceleran la transición demográfica, se prioriza el logro de los objetivos del desarrollo, asimismo, la desigualdad se reduce, y finalmente el consumo está orientado hacia un bajo crecimiento material y una menor intensidad de recursos.

Además, representa un pico en el forzamiento radiativo de aproximadamente 3 W/m² a mediados de siglo antes de disminuir a 2.6 W/m² para el año 2100.

8.4 Modelo de Circulación General a utilizar:

De acuerdo al INECC (2022) son cinco los modelos de circulación general que mejor modelan el comportamiento del clima en México (Figura 8.1).

Con base a lo anterior, se eligió el modelo HadGEM3-GC31-LL ya que es uno de los que mejor interpreta el clima pasado, presente y futuro de nuestra región (Roberts, 2017), además, de ser uno de los modelos bases utilizados en la elaboración de escenarios climáticos por parte del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNIATMOS), así como también es ampliamente utilizado para hacer estudios de impacto en México pues interpreta de mejor manera las variaciones climatológicas de la región, tal y como lo muestra Conde et al. (2011), donde analizan los mejores modelos para interpretar el cambio climático.

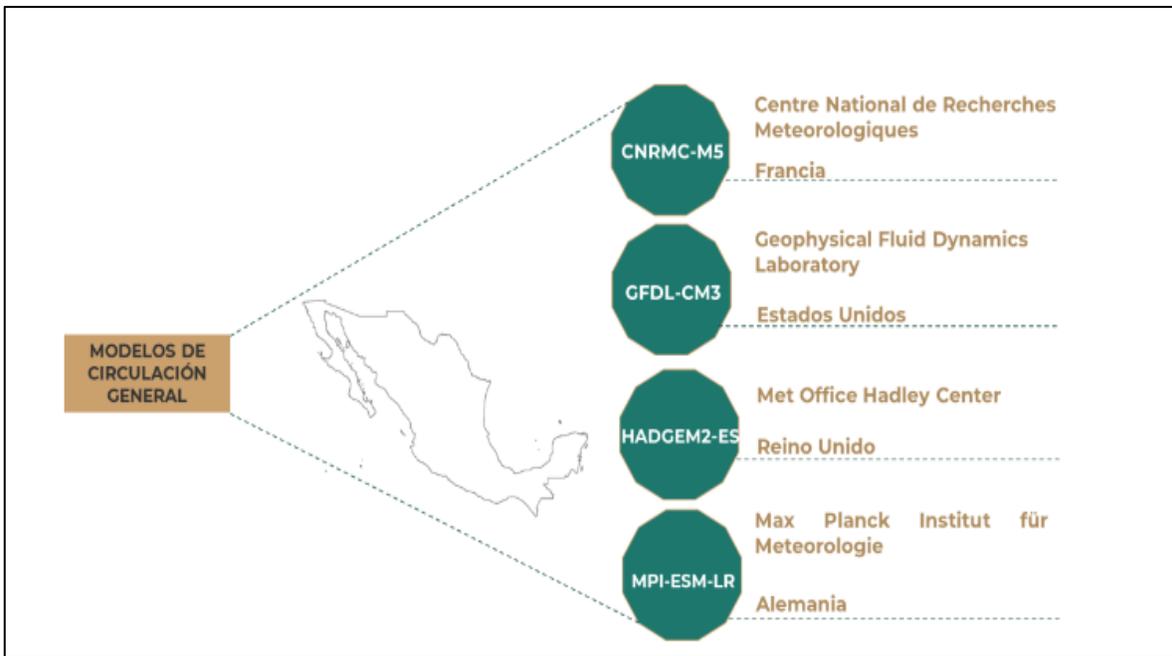


Figura 8.1 Modelos de circulación general más utilizados en México. Tomado de INECC, (2022).

8.5 Variables Climáticas

Se utilizaron capas climáticas con una resolución de 1 km, obtenidas de la página Worldclim.¹

Estas capas permiten analizar el espacio ecológico de la especie, ya que se pueden obtener los valores bioclimáticos correspondientes a cada dato de presencia de alguna especie de interés. Las variables climáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación para generar variables más significativas desde el punto de vista biológico. Estos se utilizan a menudo en el modelado de distribución de especies y técnicas de modelado ecológico relacionadas.

Las variables a utilizar para llevar a cabo la modelación son las siguientes:

Cuadro 8.1. Descripción de las variables climáticas de Worldclim.

¹ Disponible en www.worldclim.org

Clave	Parámetro	Descripción
BIO1	Temperatura media anual	Valor obtenido del promedio de las temperaturas medias registradas en cada uno de los meses del año.
BIO2	Media Gama diurna (media del mes (max temp – min temp))	Es la variación de la temperatura de un mes que ocurre de la máxima del día al frío de las noches.
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (100)	Se refiere al índice de variabilidad de la temperatura.
BIO4	Estacionalidad temperatura (desviación estándar * 100)	Es la repetición de determinadas variaciones en alguna variable para cada cierto periodo.
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente	Es el rango de temperatura alcanzado del mes más caliente.
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío	Es el rango de temperatura alcanzado del mes más frío.
BIO7	Rango de temperatura anual (BIO5-BIO6)	Diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la temperatura del mes más frío.
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	Rango de temperatura alcanzado durante los tres meses más húmedos.
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco	Rango de temperatura alcanzado durante los tres meses más secos.

BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido	Rango de temperatura alcanzado durante los tres meses más cálidos.
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío	Rango de temperatura alcanzado durante los tres meses más fríos.
BIO12	Precipitación anual	Es la acumulación media alcanzada durante los 12 meses del año.
BIO13	La precipitación del mes más lluvioso	Acumulación media del mes más lluvioso.
BIO14	La precipitación del mes más seco	Acumulación media del mes más seco.
BIO15	Precipitación Estacionalidad (coeficiente de variación)	Comparación entre los valores de precipitación de los meses más lluviosos y secos.
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo	Rango de precipitación alcanzado durante los tres meses más húmedos.
BIO17	Precipitación del trimestre más seco	Rango de precipitación alcanzado durante los tres meses más secos.
BIO18	Precipitación del cuarto más cálido	Rango de precipitación alcanzado durante los tres meses más cálidos.
BIO19	Precipitación del trimestre más frío.	Rango de precipitación alcanzado durante los tres meses más fríos.

8.6 Funcionamiento del programa Maxent

La figura 8.2 señala el procedimiento para la obtención de los modelos de distribución potencial de nicho ecológico, en el programa Maxent. Además, se deben tener en cuenta las siguientes especificaciones:

- Que al incorporar los datos georreferenciados de la presencia de la especie estén en formato .csv
- Que en la base de datos de presencia de la especie no contenga registros duplicados.
- Que al incorporar las capas climáticas o ambientales de la zona de estudio tengan el mismo límite geográfico y estén en formato .asc o .csv
- Que el nombre asignado al experimento sea en formato ASCII

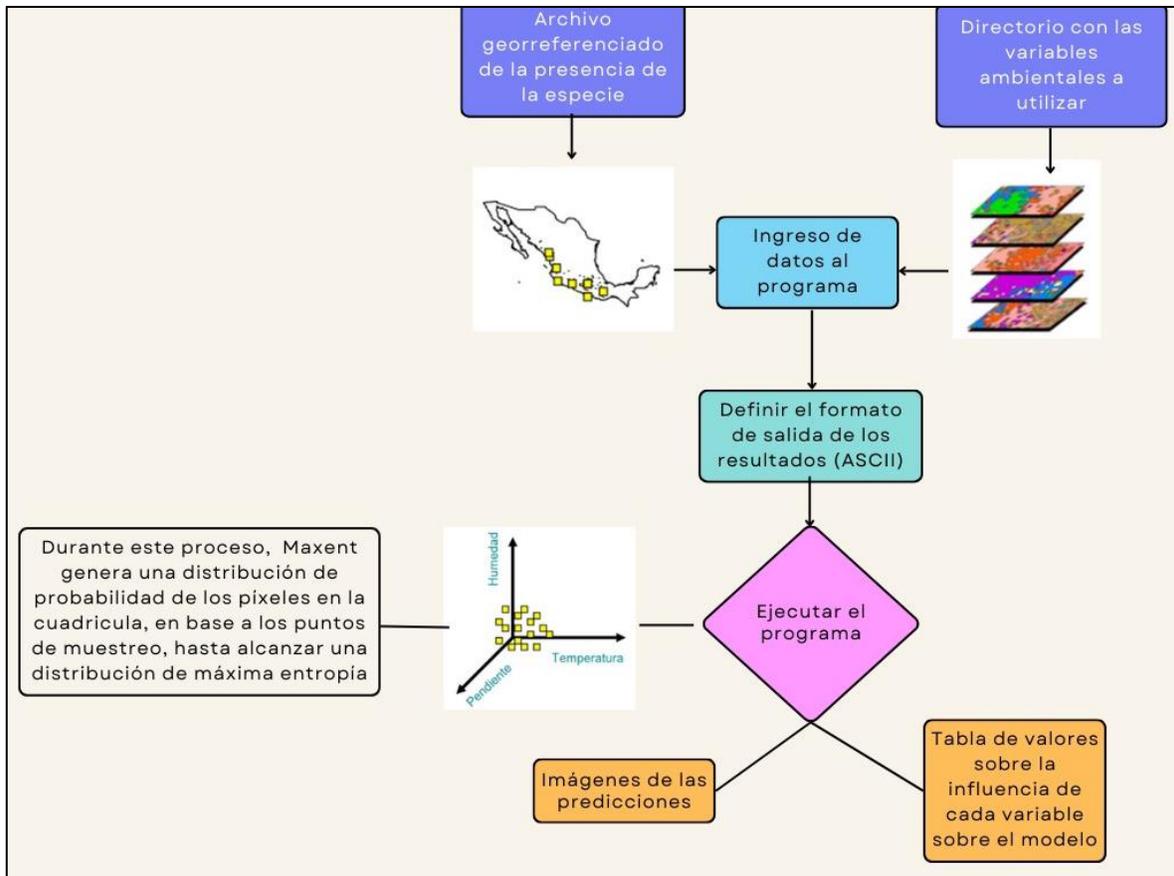


Figura 8.2 Diagrama de flujo del funcionamiento del programa Maxent. Adaptado de Liras, (2008).

A fin de estimar cuáles son las variables que más influyen en el comportamiento del modelo, Maxent crea múltiples modelos en uno solo, bajo la misma parametrización, en cada oportunidad se excluye una variable y se crea un modelo con las remanentes, es así que se crea un solo modelo, el cuál utiliza cada variable de manera aislada. Maxent representa el resultado de este proceso en forma de graficas de barras, con estos datos se mide la ganancia de información que aporta cada variable al modelo, así como la perdida de información al omitirla de manera binomial (Phillips, 2008).

8.7 Periodos de tiempo utilizados:

Tal y como se muestra en la figura 8.3, el INECC (2022) destaca que el horizonte temporal adecuado para los escenarios depende del uso y objetivo. En este sentido,

el IPCC (2014) reconoce que la selección de los periodos de tiempo para cualquier modelaje debe ser de un mínimo de 20 años a un máximo de 100 años, ya que es donde se notan cambios significativos en el sistema climático, además, de ser indispensable para tomar decisiones futuras.

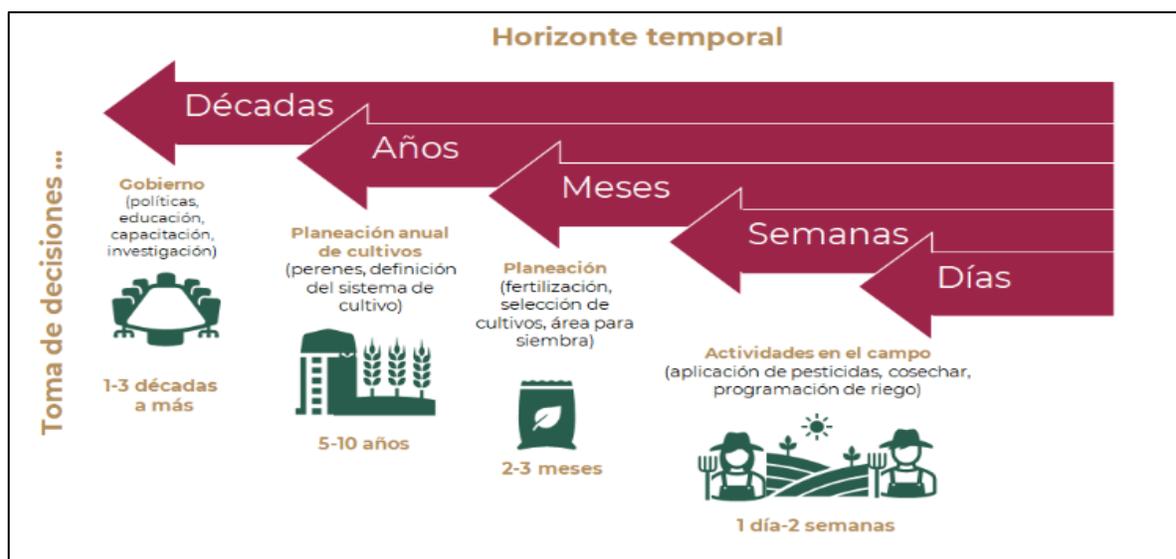


Figura 8.3 Periodos de tiempo a utilizar para la correcta toma de decisiones en el sector agrícola. Tomado de INECC, (2022).

Con base a lo anterior, los horizontes planteados en el presente trabajo quedaron de la siguiente manera:

Horizonte Actual: 2021-2040

Horizonte Medio: 2041-2060

Horizonte Lejano: 2061-2080

Finalmente se analizó la distribución potencial del nicho ecológico de la especie bajo distintos escenarios geográficos y temporales en relación con las tendencias climáticas. Para ello, se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG's), con el objetivo de realizar mapas de nichos ecológicos a partir de la información ingresada.

9. Resultados

A partir de la información proporcionada por el SIAP (2020) sobre la distribución del maíz variedad V-560, se pudo observar la forma en la que se dispone el cultivo a lo largo de la zona de estudio (Figura 9.1). Se observa que la variedad es ampliamente utilizado en los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Nicolás Ruíz, Venustiano Carranza, La Concordia, Socoltenango, Tzimol y Comitán de Domínguez, caracterizados por rangos altitudinales que van desde los 400 a los 1,500 msnm, una geología compuesta por rocas calizas, lutitas, areniscas y conglomerado. Además, de contar con un clima cálido subhúmedo caracterizado por temperaturas medias anuales de 22.8 °C a 25.8 °C y precipitaciones que varían entre 660 y 1051 mm anuales, por ello, los meses de mayo y junio son los que presentan mayores niveles de precipitación, al igual que en el mes de agosto y principios de septiembre.

De acuerdo con la regionalización del modelo los suelos de origen Leptosol, Vertisol, Regosol y Phaeozem están dentro de las zonas climáticas potenciales.

Con base a lo mencionado, en verano, la variedad V-560 cumple su ciclo vegetativo a los 115 días y alcanza su floración a los 52 días, además, de adaptarse fácilmente en regiones de escasa precipitación, por lo que en escenarios futuros donde se observe una disminución considerable en los niveles de precipitación la variedad V-560 podrá mantener su distribución.

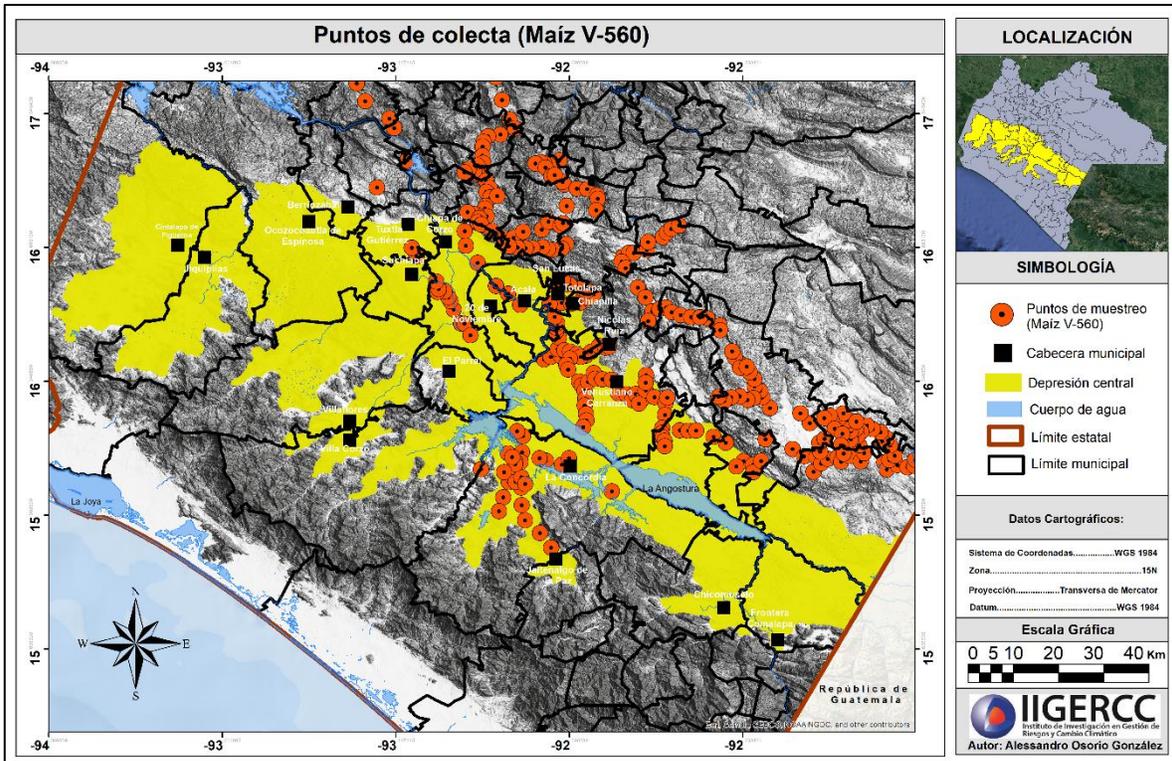


Figura 9.1 Puntos de presencia del maíz variedad V-560. Fuente elaboración propia con datos proporcionados por el SIAP (2020)

9.1 Escenario Horizonte Histórico (1970-2000)

Respecto al escenario histórico, en la Figura 9.2 se presentan los resultados obtenidos del programa Maxent para el período 1970-2000. En color rojo se muestran las zonas que no fueron aptas para el desarrollo de la variedad V-560, mientras que el color verde indica las áreas potenciales donde el clima cumplió las condiciones para el desarrollo óptimo del cultivo. En este primer escenario histórico proyectado, se observa una distribución potencial de 121,543 hectáreas como áreas óptimas para el desarrollo de la variedad V-560, la cual se presenta en los municipios de Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Nicolás Ruíz, Venustiano Carranza y Socoltenango.

Se observa que en este periodo, las condiciones climáticas no eran del todo aptas para el óptimo desarrollo de la variedad V-560, puesto que algunos puntos de

colecta actuales no coinciden con las áreas de distribución pasadas, tal es el caso de La Concordía, Tuxtla Gutiérrez y Comitán de Domínguez. Con ello se deduce que la variedad se adaptó a las condiciones climáticas futuras, las cuales serán de mayores temperaturas y menores niveles de precipitación.

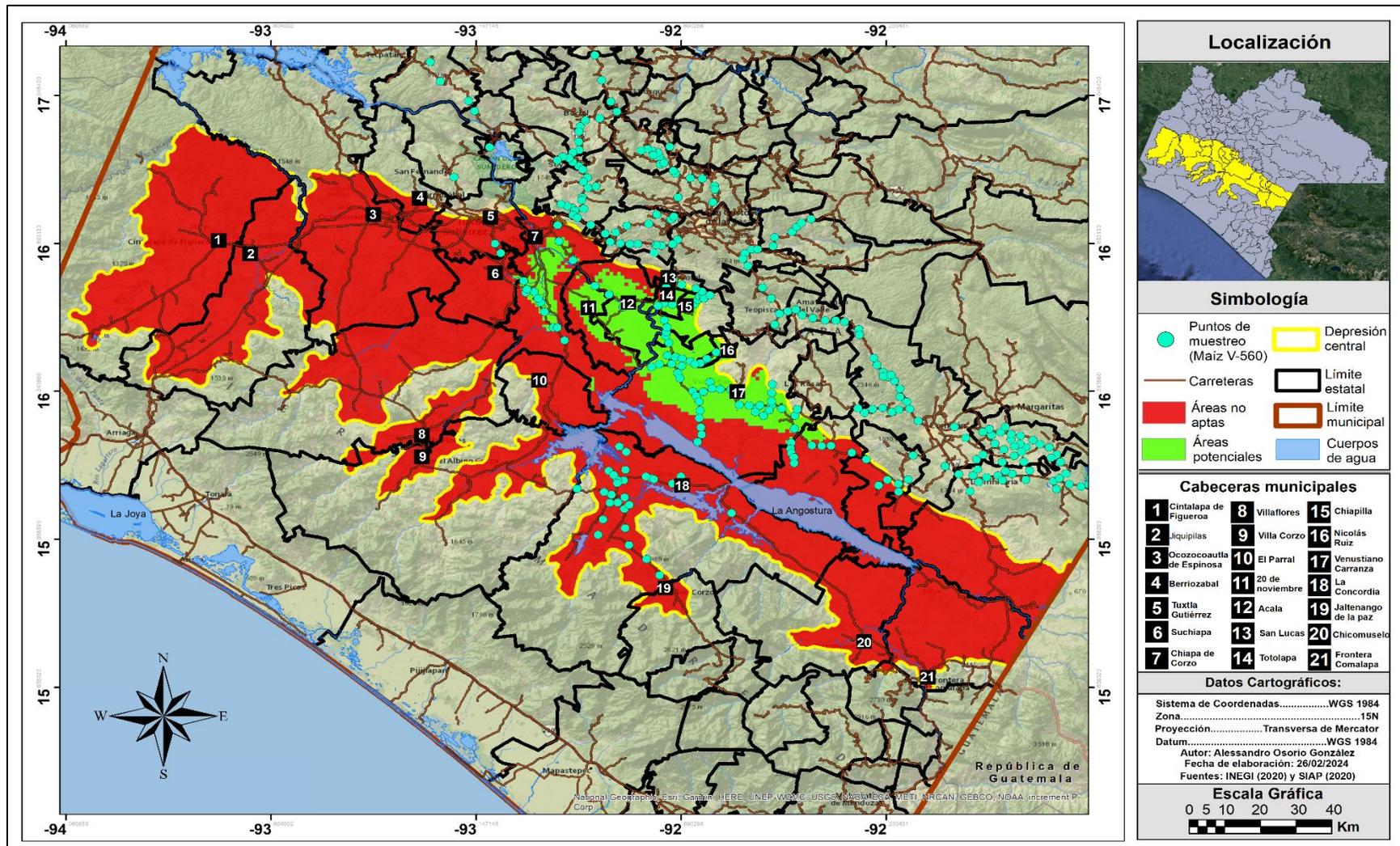
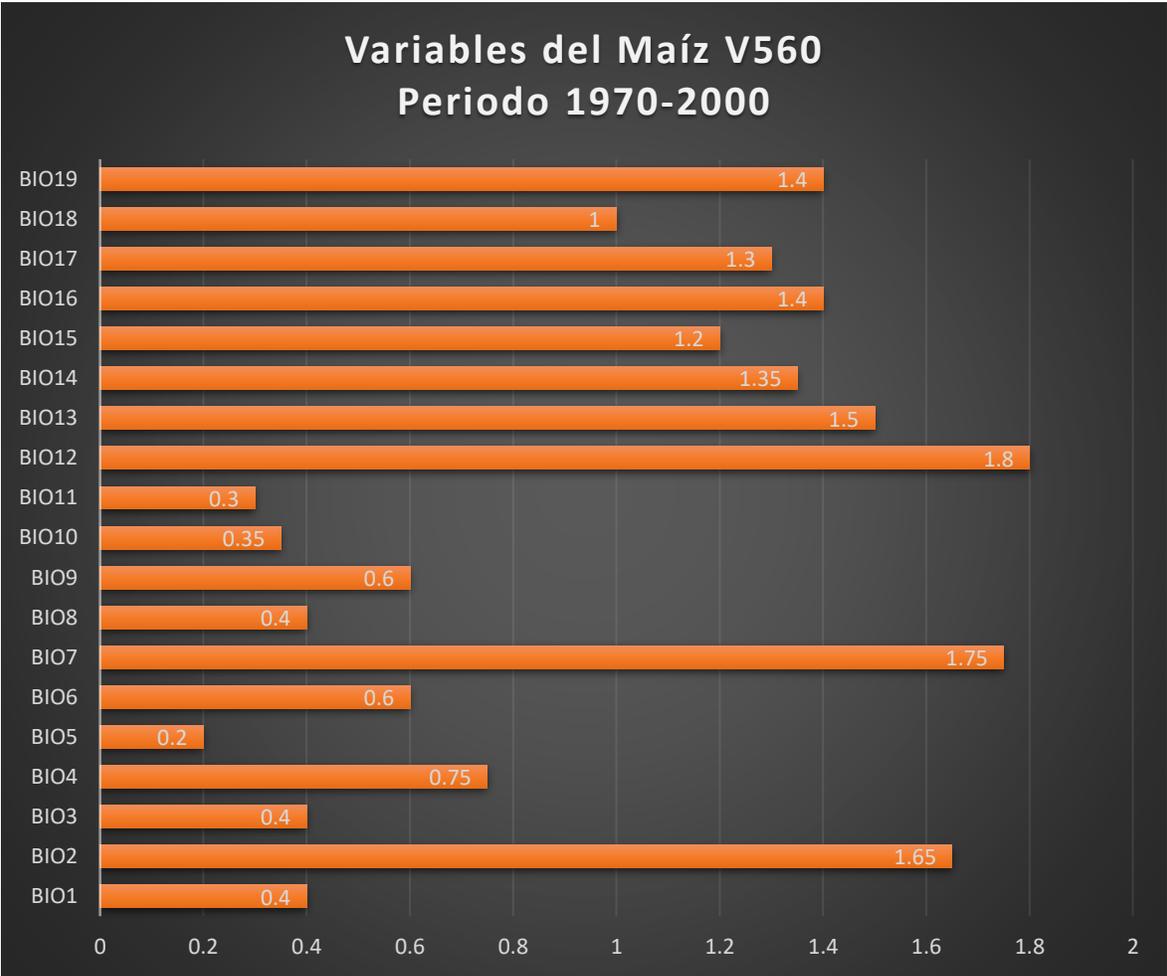


Figura 9.2 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 1970-2000 en la Depresión Central, Chiapas.

La Gráfica 9.1 indica la influencia que tiene cada variable en el modelo de distribución potencial para el periodo histórico de 1970-2000.

Las variables con mayor influencia: BIO12, correspondiente a la precipitación anual con un valor de influencia inicial de 1.8, BIO7, perteneciente al rango anual de temperatura con un valor de 1.75, BIO2, asociado al intervalo medio diurno con un valor de 1.65, y por último, la BIO13, relacionado a la precipitación del mes más lluvioso con un valor de 1.5. Por el contrario, las variables de menor aporte al modelo son la BIO5, BIO11 y BIO10, las cuales corresponden a la Temperatura máxima del mes más calido con un valor de influencia de 0.2, Temperatura media del trimestre más frío con un valor de 0.3 y la Temperatura media del trimestre más cálido con un valor de 0.35 respectivamente.



Gráfica 9.1 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz variedad V-560, periodo 1970-2000.

9.2 Escenario Horizonte Actual (2021-2040)

En la figura 9.3, se observa el escenario actual, el cual corresponde al periodo 2021-2040, en este se muestran variaciones en comparación al horizonte histórico, es así que La Concordia, Frontera Comalapa, El Parral, Tzimol y Socoltenango son los nuevos municipios en donde los factores climáticos son aptos para la presencia de la variedad V-560, además, se nota un incremento significativo en la mancha de distribución para los municipios de Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata, Acala, San Lucas, Chiapilla, y Venustiano Carranza; finalmente, para los municipios de Totolapa y Nicolás Ruíz las áreas de distribución se mantienen al igual que las del periodo histórico, por lo que ocupa un total de 223,568 hectáreas. Este, periodo presenta mayor número de hectáreas óptimas para el desarrollo del cultivo.

Para este escenario, la Gráfica 9.2 indica que las variables que condicionan la distribución de la variedad V-560, son: la BIO2 (rango medio diurno) con un valor de 1.9, seguido de la BIO7 (Rango de temperatura anual) con un valor de 1.2, la BIO12 (Precipitación anual) con un valor de 0.95 y finalmente la BIO4 con un valor de 0.9, por el contrario, las variables con menor influencia son la BIO5, BIO6 y BIO11 correspondientes a la Temperatura máxima del mes más cálido con un valor de 0.1, a la Temperatura mínima del mes más frío con un valor de 0.1 y a la Temperatura media del trimestre más frío con un valor de 0.3.

En general se observa una reducción en el peso del resto de las variables para este escenario actual, en él, la BIO2 es la variable que condiciona el comportamiento.

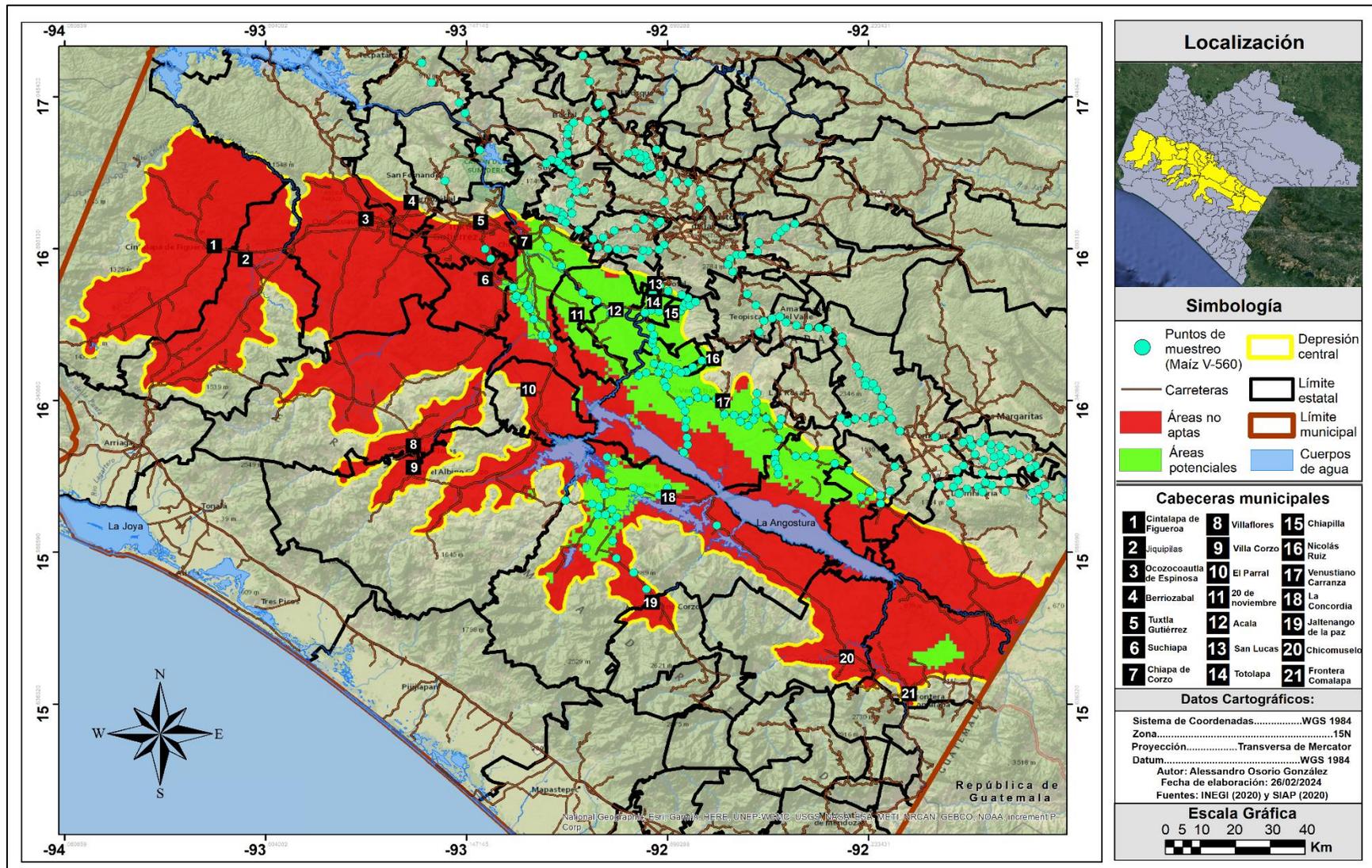
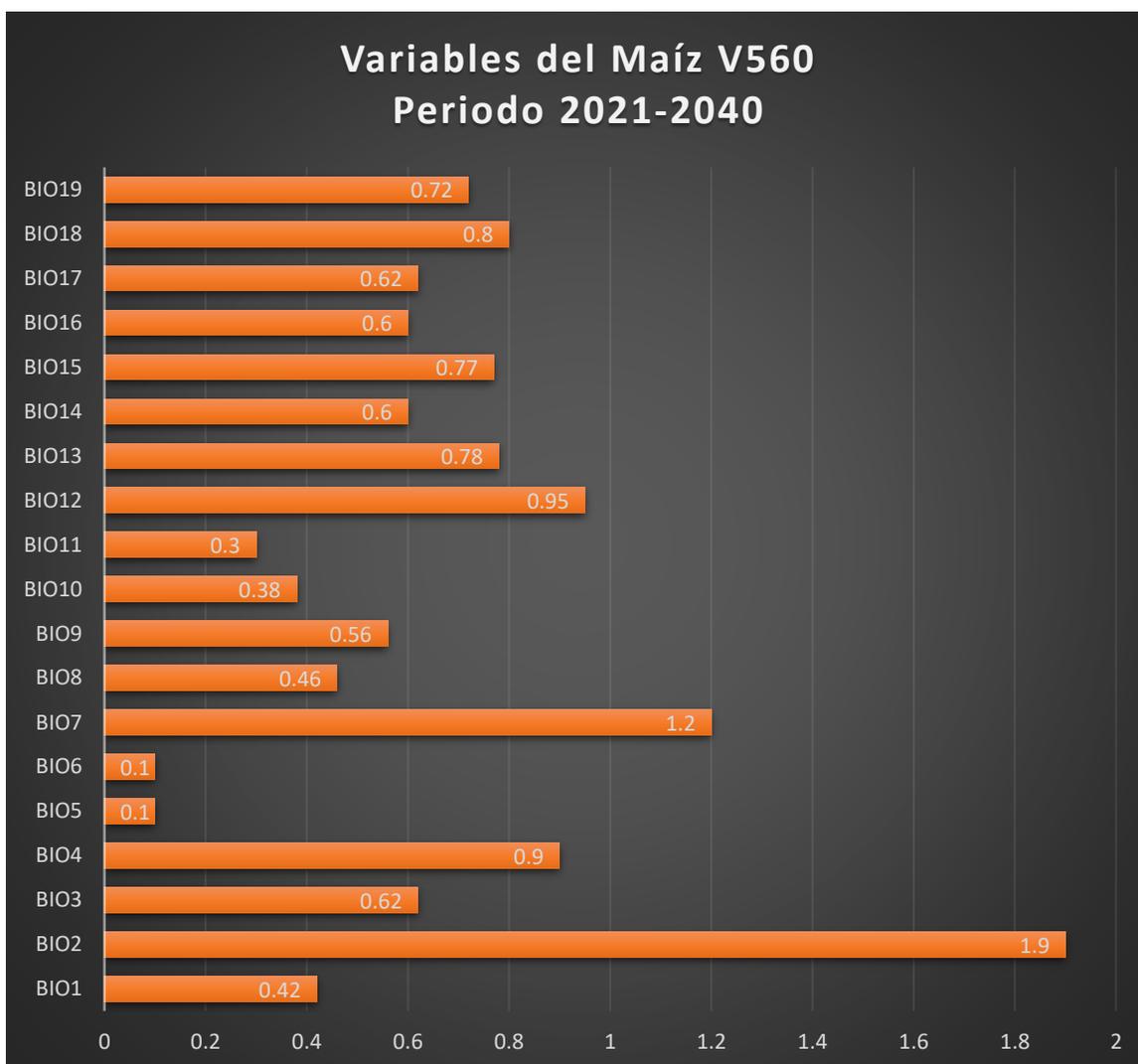


Figura 9.3 Distribución Potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 2021-2040 en la Depresión Central, Chiapas



Grafica 9.2 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maiz variedad V-560, periodo 2021-2040.

9.3 Escenario Horizonte Medio (2041-2060)

En la figura 9.4 se presenta el escenario a mediano plazo, correspondiente al periodo 2041-2060, se observa un aumento en la presencia de condiciones óptimas en el municipio de El Parral. Asimismo, municipios como: San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Nicolás Ruíz, La Concordía, Socoltenango y Tzimol mantienen una distribución similar al del escenario actual (2021-2040) en cuanto a áreas ideales (Figura 9.3). También se observa la presencia de condiciones favorables para el

cultivo en los municipios de Suchiapa, Comitán de Domínguez y Villa Corzo, por el contrario, se observa una disminución de las áreas para los municipios de Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata, Acala, Venustiano Carranza y Frontera Comalapa.

En general, el área de distribución se recorre hacia el sureste de la Depresión Central. Para este horizonte decrecen las áreas óptimas, en comparación con el horizonte actual (2021-2040), al ocupar 221,514 hectáreas óptimas para el desarrollo de la variedad V-560 en toda la región.

Para este escenario, la gráfica 9.3 indica que las variables de mayor incidencia en el modelo, fueron: la BIO7 correspondiente al Rango de temperatura anual con un valor de 1.36, de igual forma existe una mínima variación en las variables con respecto a los modelos anteriores, la BIO2 (Rango medio diario) con un valor de 1.15, BIO12 (Precipitación anual) con un valor de 0.98, BIO19 (Precipitación del trimestre más frío) con un valor de 0.97 y BIO4 (Estacionalidad de la temperatura) con un valor de 0.91, influyentes en los resultados del escenario. Por el contrario, las variables de menor influencia sobre el modelo para este periodo fueron: la BIO5 y BIO11, correspondientes a la Temperatura máxima del mes más caliente con un valor de 0.15 y a la Temperatura media del trimestre más frío con un valor de 0.34 respectivamente.

Es importante mencionar que los valores de importancia de la BIO2 cambian de ser la única variable determinante en el horizonte actual (2021-2040) con un valor de 1.9 a tener un valor de 1.15 en el horizonte medio (2041-2060), asimismo, la BIO6 (Temperatura mínima del mes más frío) pasan de ser una de las variables menos influyentes con un valor de 0.1 en el horizonte actual (2021-2040) a 0.6 en el horizonte medio (2041-2060).

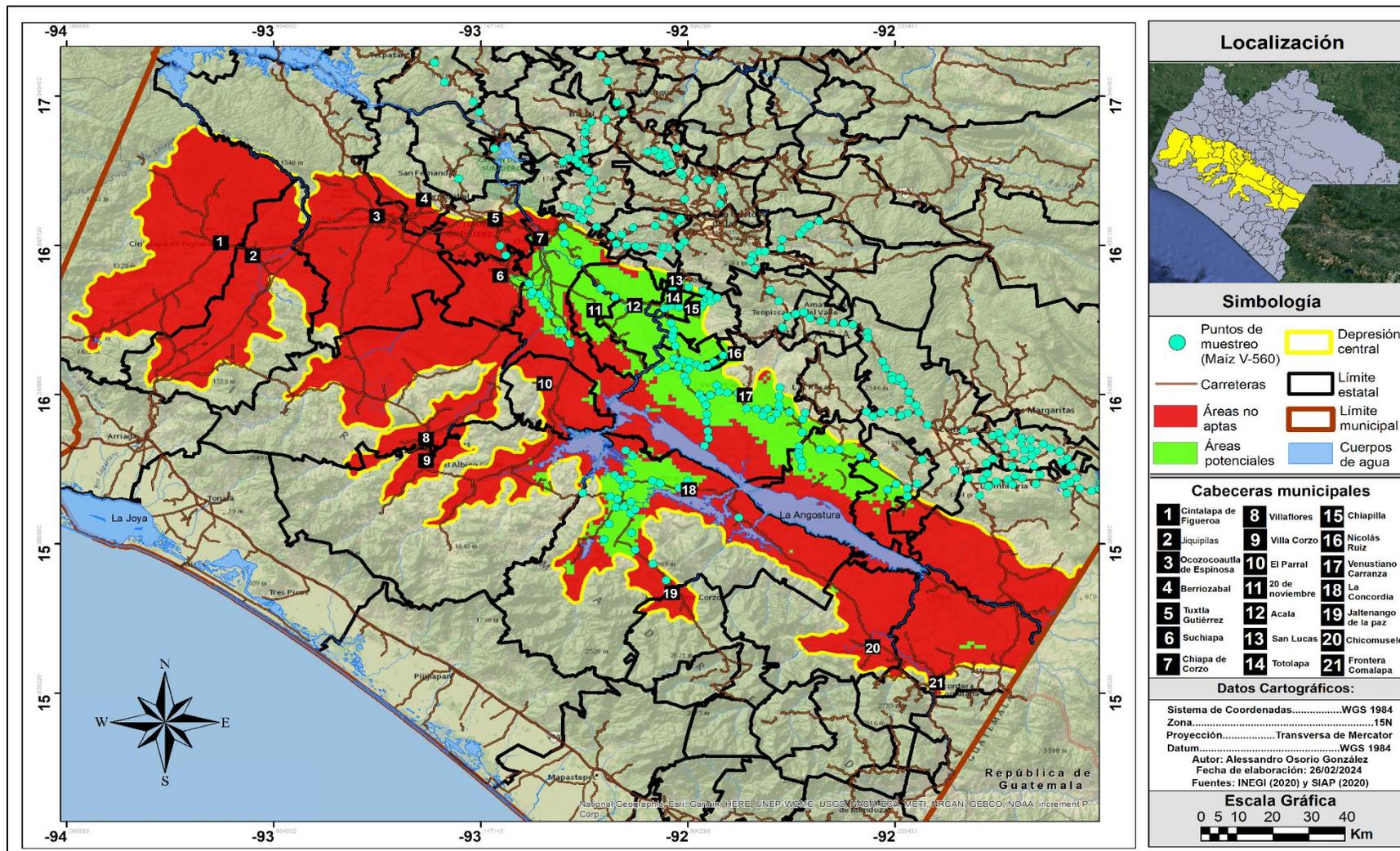
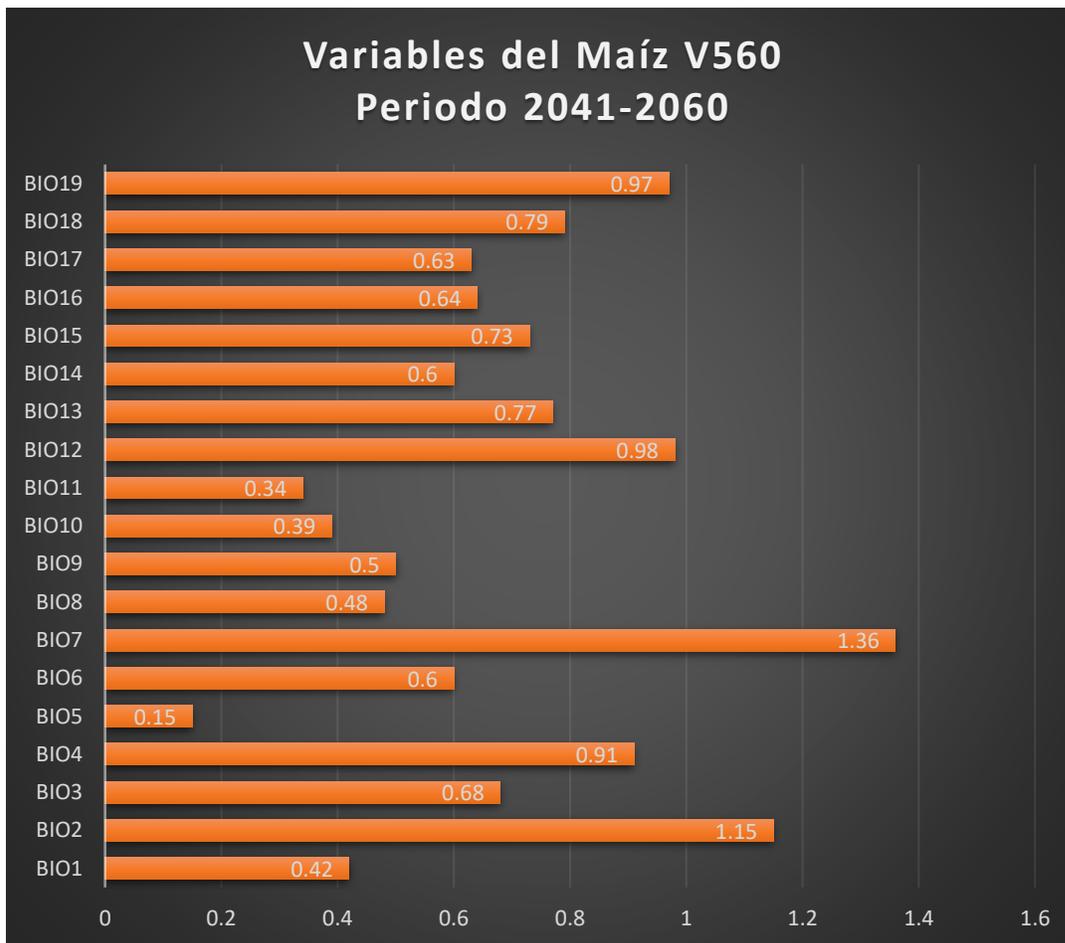


Figura 9.4 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 2041-2060 en la Depresión Central, Chiapas.



Grafica 9.3 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz variedad V-560, periodo 2041-2060.

9.4 Escenario Horizonte Lejano (2061-2080)

Para el horizonte lejano (figura 9.5), correspondiente al periodo 2061-2080, se observa un incremento en la distribución de las áreas óptimas para la variedad en los municipios de Suchiapa, Chiapa de Corzo, Acala, El Parral, Villa Corzo y Frontera Comalapa, por el contrario, en los municipios de Venustiano Carranza, La Concordia, Socoltenango y Tzimol disminuyen las áreas óptimas ganadas en el horizonte medio (Figura 9.4). Sin embargo, se resalta la presencia de condiciones óptimas para el cultivo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

Finalmente, las áreas óptimas en general siguen el mismo comportamiento de distribución, desplazándose al sureste de la Depresión Central, al presentar condiciones climáticas favorables para los municipios de Emiliano Zapata, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa y Nicolás Ruíz. Así, el total de las áreas óptimas abarca alrededor de 219,785 hectáreas, que en comparación con el horizonte medio (2041-2060) las áreas potenciales disminuyen.

Para este último escenario las principales variables que influyeron en la dinámica del modelo fueron: el Rango anual de temperatura (BIO7) con un valor de influencia de 1.42, el Rango medio diario (BIO2) con un valor de 1.18, la Precipitación anual (BIO12) con un valor de 0.92, la Precipitación del trimestre más frío (BIO19) con un valor de 0.83 y finalmente, la Estacionalidad de la temperatura (BIO4) con un valor de 0.85. Por el contrario, las variables de menor influencia fueron: la Temperatura del mes más cálido (BIO5) con un valor de 0.1 y la Temperatura media del trimestre más frío (BIO11) con un valor de 0.3. Es así como se observa que el comportamiento de las demás variables ha seguido la misma tendencia que la de los otros escenarios.

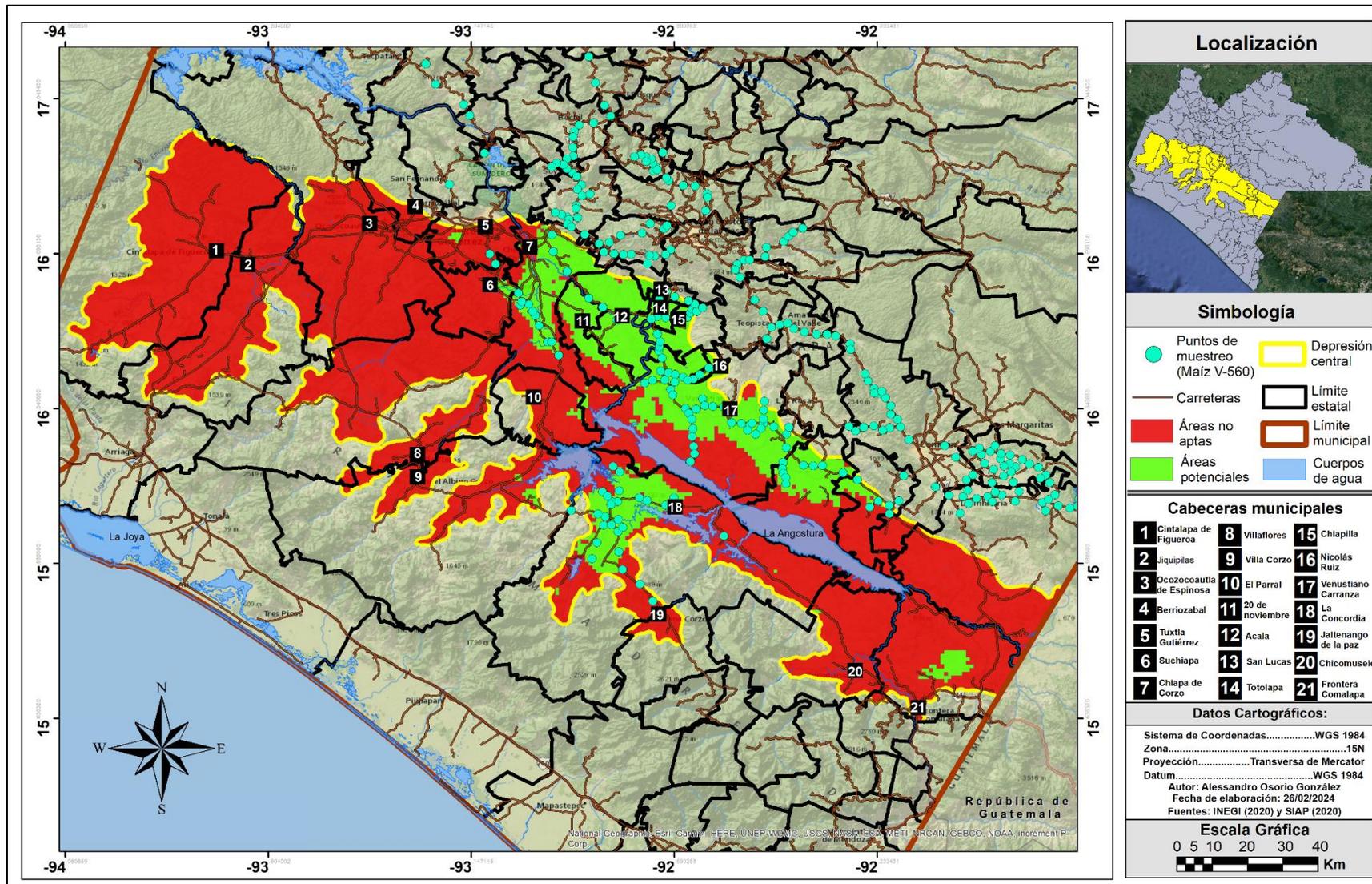
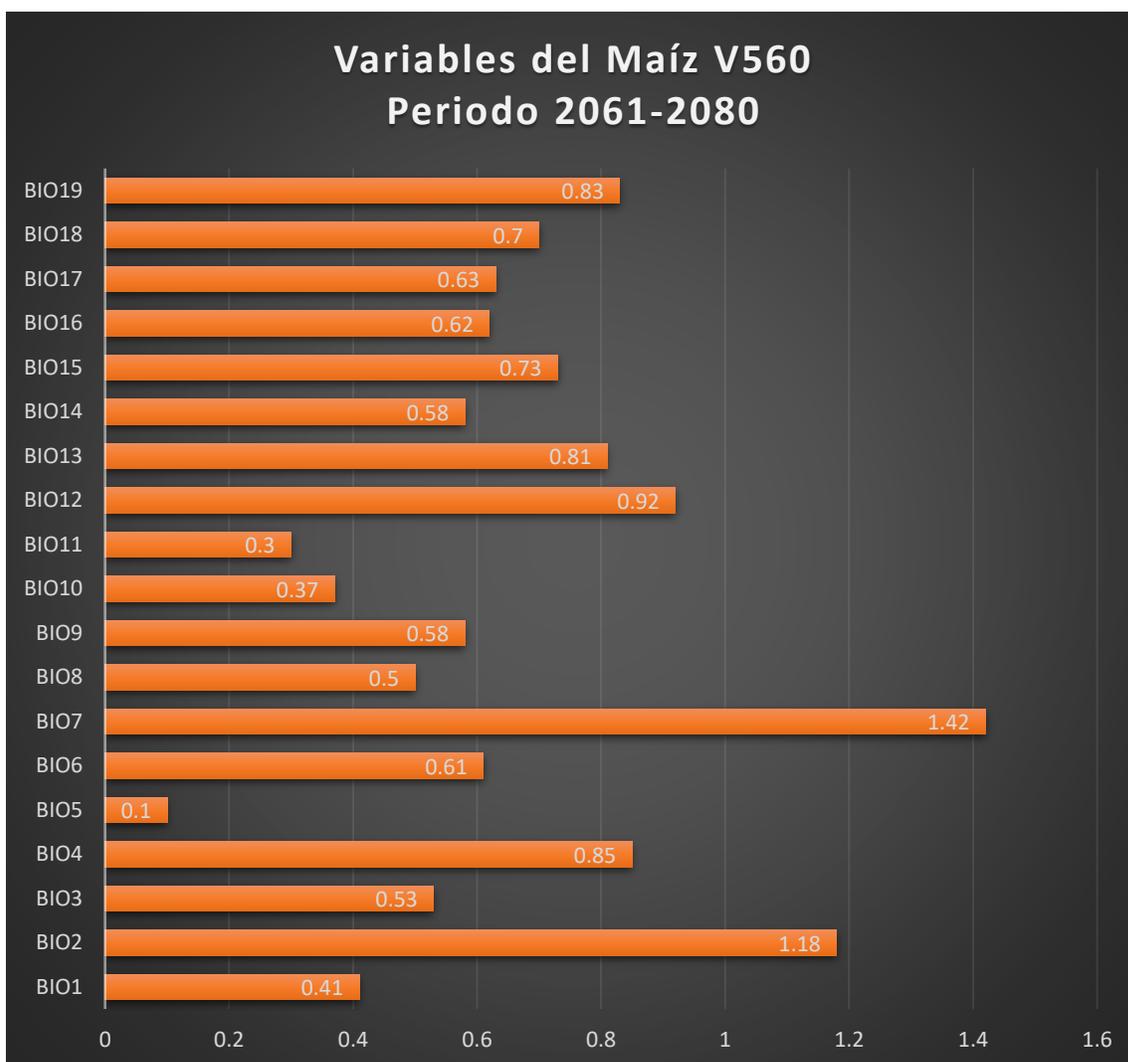


Figura 9.5 Distribución potencial del maíz variedad V-560 para el periodo 2061-2080 en la Depresión Central, Chiapas.



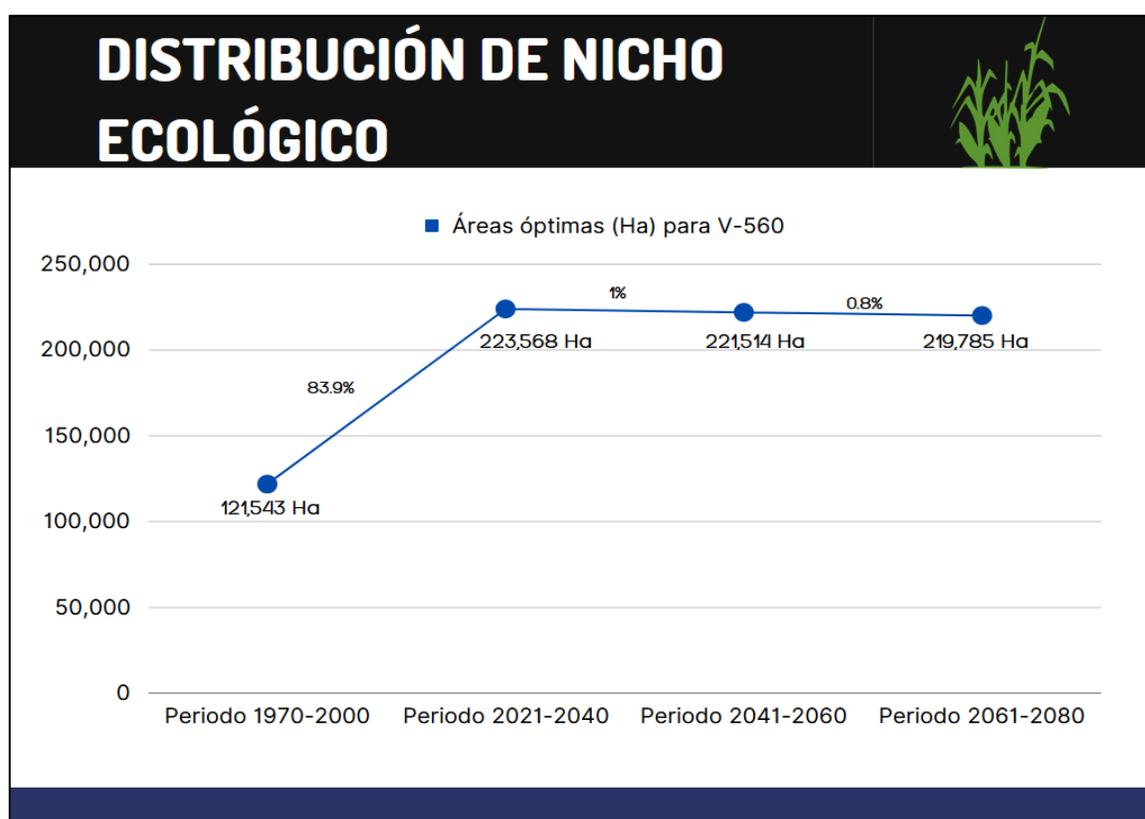
Grafica 9.4 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maiz variedad V-560, periodo 2061-2080.

Finalmente, en el Cuadro 9.1 se observa que a pesar de que el número de áreas óptimas de la variedad V-560 disminuye, no lo hace de una manera drástica, sino que la pérdida es mínima, e incluso se afirma que la disponibilidad de las áreas óptimas para el cultivo mantienen una misma tendencia de distribución.

Cuadro 9.1. Distribución en hectareas del nicho ecologico de la variedad V-560

Variedad	Áreas Óptimas (Ha)			
	Periodo 1970-2000	Periodo 2021-2040	Periodo 2041-2060	Periodo 2061-2080
560	121,543	223,568	221,514	219,785

En la gráfica 9.5 se observa que la variedad V-560 a pesar de estar sujeta a alteraciones climáticas y de temperatura, la distribución de las áreas óptimas se mantiene en el mismo rango de hectáreas, al disminuir cerca del 1% por periodo, es así, que ante condiciones futuras esta variedad puede ser vista como una medida integral de adaptación ante el cambio climático.



Gráfica 9.5 Desarrollo de las áreas óptimas para el maíz variedad V-560 en la Depresión Central, Chiapas.

Para saber si la variedad V-560 es una buena medida de adaptación ante el cambio climático ante otras variedades se debe hacer una comparación entre ellas.

Para ello, en la base de datos proporcionada se tienen registros de la variedad criolla de la cual también se aplicó la misma metodología utilizada para la variedad V-560 (véase Anexo 1).

Tal y como se muestra en la Figura 14.1 (Anexo 1) la variedad criolla muestra un mayor potencial inicial en la disponibilidad de áreas óptimas que la variedad V-560 (Figura 9.2), al ocupar 319,321 hectáreas en toda la región a diferencia de la variedad V-560 la cual ocupa 121,543 hectáreas; sin embargo, para el periodo actual (2021-2040), la variedad criolla (Figura 14.2, Anexo 1) presenta un crecimiento en distribución de áreas óptimas del 2.7 % al abarcar 328,058 hectáreas, asimismo, para la variedad V-560 (Figura 9.3) hay un notable crecimiento del 83.9%, con 223,568 hectáreas.

Para el horizonte medio (2041-2060) las áreas óptimas de la variedad criolla (Figura 14.3, Anexo 1) decrecen un 4.5%, lo que se traduce en 313,562 hectáreas disponibles, al igual que la variedad V-560, la cual decrece 1%, al dejar 221,568 hectáreas como óptimas para su cultivo.

Finalmente, para el horizonte lejano (2061-2080) el comportamiento de la variedad criolla (Figura 14.4, Anexo 1) decrece alrededor de 9.5%, lo que se traduce en 283,946 hectáreas como óptimas para el cultivo, asimismo, la variedad V-560 decrece alrededor de un 0.8%, con 219,785 hectáreas disponibles para su cultivo. En sí, el comportamiento del maíz criollo comparado con la variedad V-560 sigue la misma tendencia, sin embargo, se observa que el decrecimiento de las áreas óptimas para el maíz criollo es mayor, lo cual indica que ante condiciones climáticas futuras la variedad V-560 podrá mantener una mayor disponibilidad en cuanto a áreas óptimas en comparación con la variedad criolla (Véase Gráfica 14.5 en Anexo 1).

10. Discusión

Se identificaron las principales áreas óptimas donde las condiciones climáticas serán ideales para el cultivo del maíz variedad V-560, la cual es considerada ideal para siembras tempranas o tardías, además de tener la facilidad de adaptarse en las regiones de escasa precipitación y zonas con fuertes vientos, por lo que tiene la peculiaridad de adaptarse a las irregularidades de la temporada de lluvias y las del cambio climático en general.

En la fase inicial experimental de la variedad V-560 se establecieron parcelas de productores cooperantes en los municipios de Ocozocoautla, Villaflores, Venustiano Carranza y Jiquipilas, lo que corresponde a la región Centro del estado (Coutiño, 2013). En este sentido, los resultados obtenidos del modelado de nicho ecológico, para el horizonte actual (Figura 9.3), medio (Figura 9.4) y futuro (Figura 9.5) presentan una distribución de esta variedad de maíz constante en los municipios de La Concordia, Venustiano Carranza, Villa Corzo, Villaflores, Totolapa, Nicolás Ruíz, Chiapilla, San Lucas, Acala, Tzimol y Chiapa de Corzo. Es así, que la variedad demuestra un notable desarrollo en cuanto a la disponibilidad de nuevas áreas óptimas que las vistas en su fase de experimentación.

De acuerdo a la información obtenida de las tablas sobre la variedad V-560, las variables que más influyen en la distribución del nicho de la especie son: BIO7 (Rango de temperatura anual), BIO2 (Media gama diurna) y BIO12 (Precipitación anual), por lo que entendemos que las condiciones climáticas a futuro, en relación a las temperaturas y precipitaciones, serán soportables para la variedad V-560.

Para saber cuáles serán las condiciones a esperar se debe comparar los resultados obtenidos con escenarios de Cambio Climático, tal y como se observa en las figuras 14.6, 14.7 y 14.8 (Anexo II) donde los pronósticos que se muestran en el Programa de Acción ante el Cambio Climático de Chiapas (PACCCH, 2011) muestran condiciones futuras del clima, al argumentar que las temperaturas serán mayores y los niveles de precipitación menores, sobre todo en la Depresión Central de

Chiapas. No obstante, aunque estos escenarios no son positivos, ya que presentan valores de temperatura máxima por arriba de los 34°C, es de resaltar que los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la variedad V-560 no experimentará cambios abruptos en su distribución en comparación con las variedades criollas.

Asimismo, el INECC (2021) indica que Chiapas es considerado como uno de los principales estados vulnerables ante el Cambio Climático, municipios como San Lucas, Chiapa de Corzo y Totolapa serán de los más afectados a nivel de recurso hídrico, erosión del suelo y disponibilidad de áreas para los cultivos de maíz., en este sentido, los resultados obtenidos de la variedad V-560 prueban ser una conveniente medida de adaptación ante este fenómeno para las actividades productoras de los municipios propensos ante las variaciones climáticas futuras, ya que se observa una constante presencia de condiciones climatológicas favorables para el apto desarrollo de este cultivo.

Tal es el caso de la variedad Jaguan, en Coahuila, la cual tendrá bajos rendimientos en la producción debido a los efectos del cambio climático, por lo que es recomendable cambiar las fechas de cultivo para el periodos futuros (Arias, 2016). En cambio, para la variedad V-560 se observa que las condiciones climáticas presentes y futuras de la Depresión Central serán beneficiosas para su uso, por lo que no es necesario cambiar sus fechas de cultivo, es aquí donde se demuestra la importancia de llevar acabo este tipo de investigaciones las cuales son indispensables para la toma de decisiones.

Sin embargo, mientras que las semillas mejoradas pueden aumentar el rendimiento y la productividad del maíz en Chiapas, así como soportar el estrés climático futuro, su adopción sigue a la baja (Sánchez et al., 2017). Lo anterior coincide con Delgado et al. (2018) quienes argumentan que la producción de maíz en Chiapas se centran en el cultivo del maíz criollo. Si se considera el incremento de temperatura a futuro,

el maíz criollo alterará su rendimiento de manera negativa debido a la escases de áreas donde se presenten condiciones climáticas aptas para su cultivo.

Tal y como se muestra en las figuras 14.3, 14.4 y 14.5 del Anexo 1, las condiciones climáticas para la distribución potencial del maíz criollo predominan principalmente en los municipios de Cintalapa, Jiquipilas, Ocozocuatla de Espinoza, Berriozabal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapa de Corzo, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Emiliano Zapata, La Trinitaria, Frontera Comalapa, Buena Vista y Chicomusuelo, estos coinciden en su distribución con la de variedad V-560 para los municipios de Chiapa de Corzo, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Emiliano Zapata y Frontera Comalapa.

Sin embargo, si comparamos a las variedades se observa que para el horizonte medio (Figura 14.4) y futuro (Figura 14.5) del maíz criollo (Anexo 1), en los municipios de Chiapa de Corzo, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa y Emiliano Zapata decrecen de manera significativa las áreas donde en un principio las condiciones climáticas eran favorables, por el contrario, la distribución potencial de la variedad V-560 (Figuras 9.4 y 9.5) en esos mismos municipios se ve favorecida por esas condiciones ambientales, al incrementar las áreas disponibles para su cultivo.

Es así, que para el año 2050 se predice la desaparición de sitios donde las condiciones ambientales mermarán la distribución de la cosecha del maíz criollo (*Zea mays*) en México, sobre todo en estados como Chiapas y Yucatán (Ballesteros et al., 2011), lo cual coincide con los resultados obtenidos (Figura 14.4, Anexo 1) el cual muestra una pérdida considerable en el centro de la Depresión central. Sin embargo, en comparación con los resultados obtenidos de la variedad V-560 para ese mismo periodo (Figura 9.4), se observa que su distribución se mantiene, lo cual valida la efectividad de la variedad para adaptarse a las anomalías del clima a futuro, en comparación con la variedad criolla.

De igual forma, Velasco (2014) identifica las áreas óptimas donde el maíz (*Zea mays*) tendrá un mejor rendimiento en la Depresión Central de Chiapas dentro de 50 años, bajo el modelo EPIC, al concluir que el rendimiento del cultivo está estrechamente relacionado con la profundidad del suelo y el estrés de la planta por la humedad, es así, como los municipios de Villa Corzo y Villaflores son los más idóneos para el alto rendimiento del cultivo, mientras que municipios como Acala y Venustiano Carranza no lo tendrán; lo anterior difiere de los resultados que se muestran en el presente documento ya que se observa en la Figura 14.5 (Anexo 1) que para dentro de 50 años las condiciones climáticas no favorecerán el desarrollo óptimo del maíz criollo, sobre todo en los municipios de Villa Corzo y Villaflores, por el contrario, en los municipios de Venustiano Carranza y Acala crecen las áreas donde si se cumplirán las condiciones climáticas para el apto desarrollo del cultivo. Probablemente el cultivo del maíz criollo pueda desarrollarse en dichos municipios, sin embargo, lo hará bajo un estrés ambiental grande, lo cual impactará en el bolsillo de los agricultores .

A pesar de las nuevas tecnologías y variedades utilizadas en los sistemas de cultivos agrícolas, es importante mantener una visión integradora dentro de este tipo de estudios, donde la agricultura moderna se complementa con los conocimientos de la agricultura tradicional, debido a su importancia cultural y los métodos efectivos que los propios campesinos han implementado en el maíz, los cuales no pueden pasar desapercibidos, tal y como lo mencionaba Hernández (1988) la plena penetración del capitalismo acentúa la desigualdad social y tecnológica, dando pauta al juicio generalizado de que la agricultura tradicional la realizan los agricultores indígenas, ignorantes, aferrados a sus creencias, poco productivos, lo cual contrasta con la agricultura moderna, representada por sistemas agrícolas productivos y gente capitalista, educada e innovadora. Estos juicios finalmente desalientan los estudios sobre tecnología agrícola tradicional en México.

Sin duda alguna la tarea de incrementar la producción de alimentos para satisfacer la creciente demanda, mientras se preserva la salud ecológica fundamental de los métodos de producción, demanda una colaboración entre diversas disciplinas. Una

de ellas es la Biogeografía, pues es indispensable tener una comprensión del papel que juegan los factores externos en la distribución de especies, que van desde los geográficos (cadenas montañosas, pendientes, etc.) hasta los climáticos (aparición de condiciones térmicas, hídricas y de precipitación). Por ello es importante reconocer y analizar el espacio geográfico donde se desarrolla el cultivo, tal y como lo menciona Katinas (2022) el desafío de aumentar la producción de alimentos para sostener el ritmo de la demanda, y al mismo tiempo mantener la integridad ecológica del planeta, requiere del uso eficiente del espacio y del como se relaciona con la distribución de la especie.

Con respecto a las variables edáficas, no es recomendable incluirlas en los modelos de distribución de nicho ecológico ya que es difícil predecir cómo serán los cambios en el futuro debido a que resultan de un conjunto de factores físicos, poblacionales y de disponibilidad tecnológica que pueden cambiar de formas rápidas e inesperadas (Stanton et al., 2012). Sin embargo, es importante complementar los estudios de nicho ecológico con estudios de campo, por aparte, donde se interpreten las variables edáficas de una manera más cuidadosa., al igual que emplear estudios cualitativos para saber la experiencia y saberes propios de los agricultores.

Asimismo, algunas de las limitantes identificadas en la modelación de nicho ecológico es que simplifica las distintas interacciones ecológicas y biológicas de la especie, ya que asume que las especies mantienen un nicho estático, lo cuál en la realidad no es cierto. Otra de las limitantes es la precisión y sensibilidad de los escenarios ya que dependen de la escala espacial y temporal utilizada durante el proceso de modelación, lo cual puede provocar imprecisión en los resultados.

11. Conclusiones

- Los modelos de nicho ecológico son útiles para el análisis de fenómenos como el cambio climático, sin embargo es reciente su adopción en el ámbito de la agricultura.
- La variedad V-560 demuestra ser una medida de adaptación efectiva ante al cambio climático, pues mantiene su presencia en el mismo rango de hectáreas óptimas ante condiciones futuras dentro de la Depresión Central de Chiapas, al demostrar ser una especie tolerante al estrés ambiental,
- En comparación con el maíz criollo, la variedad V-560 se presenta en zonas donde las temperaturas serán intensificadas por el cambio climático, esto no quiere decir que se deje a un lado la viabilidad del cultivo del maíz criollo, sino que se sabrá en qué áreas sustituir el maíz criollo por la variedad y así tener un mejor manejo de ambas variedades.
- La aplicación y adaptación de esta metodología es un aporte a la información para el entendimiento del Cambio Climático, ya que es una herramienta que permite identificar la vulnerabilidad a nivel regional.
- Este tipo de trabajos son importantes para evaluar en qué partes de la región los efectos del cambio climático serán más drásticos en la reducción de los rendimientos no sólo del maíz sino de otros cultivos básicos lo que permitirá hacer planes para la adaptación agrícola al priorizar el bienestar económico y alimenticio de quienes dependan de estas prácticas.
- Al no incluir el suelo en el modelado de nicho ecológico no se tiene una noción correcta del potencial agrícola de la región, ya que variables como el ph, la porosidad y materia orgánica requieren de un análisis más detallado, sin embargo, el cambio en las condiciones climáticas determinará el desarrollo de la variedad que se llegue a utilizar.

12. Recomendaciones

- Es de gran importancia complementar el trabajo con estudios de uso de suelos y paisaje físico-geográfico, con la finalidad de incluir las variables físicas y bióticas, pues el relieve es determinante para identificar las zonas óptimas del cultivo.
- Realizar el modelado de nicho ecológico con los otros tres modelos restantes de circulación general (CNRMC-M5, GFDL-CM3 y MPI-ESM-LR) que son junto con el utilizado en este trabajo, los mejores para interpretar el comportamiento climatológico de México y así poder determinar con mayor exactitud la distribución de la especie.
- Realizar el modelado de nicho ecológico con las variables de las restantes narrativas socioeconómicas (ssp245, ssp370 y ssp585), con ello, se tendrá una correcta toma de decisiones ante las futuras condiciones favorables o no de la región.
- Incluir los modelos de distribución de plagas junto con las variables climáticas, ya que se podría tener un mejor panorama con respecto al rendimiento y posibles riesgos de cualquier tipo de cultivo.

13. Literatura Citada.

- Aguilar Juárez, J. A. (2016). *La diversidad genética de maíz ancho en México* (Tesis de Maestría)
- Altieri, M. A., y Nicholls, C. (2008). LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS COMUNIDADES CAMPESINAS Y DE AGRICULTORES TRADICIONALES Y SUS RESPUESTAS ADAPTATIVAS. *Agroecología*, volumen (3), 7-28. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>.
- Arnell, N.W., M.J. Livermore, S. Kovats, P.E. Levy, R. Nicholls, M.L. Parry y S.R. Gaffin (2004), "Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: Characterising the SRES storylines", *Global Environmental Change*, vol. 14, núm. 1, pp. 3-20. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.004>
- Arteaga, L. E., y Burbano, J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35 (2), 79-91. Recuperado de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/4277/5144>.
- Ballesteros-Barrera, C., Jiménez-García, D., & Hernández-Cárdenas, G. (2011). El impacto potencial del cambio climático sobre los agroecosistemas. El caso del cultivo del maíz, proyecciones al futuro. *Manejo Agroecológico de sistemas*, 2, 1-14.
- Bárcena, A. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción? Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45677/1/S1900711_es.pdf.
- Barea-Paci, G. J., Ganem-Karlen, C., Molina, M. C., & Mateo, P. (2023). Efectividad a futuro de las estrategias de diseño pasivas en viviendas. *Hábitat Sustentable*, 13(1), 30–41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.03>
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008, "Climate Change and Water", Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.

- Cadet-Díaz, Sheila, & Guerrero-Escobar, Santiago. (2018). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(3), 311-337. Recuperado en 18 de septiembre de 2023, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000300311&lng=es&tlng=es
- Caicedo, C. (2006) El maíz en la alimentación humana. Recuperado de: www.infoagro.com.
- Cavazos, T. y De Grau P. (2014). Parte I Análisis de Variables Atmosféricas (históricas y escenarios de cambio climático). Reporte Final Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional. 28 de noviembre de 2014. Convenio INECC/A1-007/2014. 58 pp.
- Cavazos, T., J. A. Salinas, B. Martínez, G. Colorado, P. de Grau, R. Prieto, C. Conde, A. Quintanar, J. Santana, R. Romero, M. E. Maya, J. G. Rosario, M. R. Ayala, H. Carrillo, O. Santiesteban, y M. E. Bravo. (2013). Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional.
- Charron, I. (2016). A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions, 2016 Edition. Ouranos, 94 pp. ISBN (Impression): 978-2-923292-19-9/ISBN (PDF online). Recuperado el 9 de diciembre de 2021 en <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/Guidebook-2016.pdf978-2-923292-21-2>
- Chimborazo Taipicaña, E. A. (2020). *Modelación de Nichos Ecológicos bajo dos escenarios de cambio Climático para Maíz Chulpi (zea mays) en la Provincia de Cotopaxi, en el periodo 2019-2020* (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.).
- CONABIO (2010). Argumentación para conservar las razas de maíces nativos de México. Taller con especialistas en maíces nativos, realizado los días 17 y 18 de marzo de 2010 en las instalaciones de la CONABIO. México, D. F. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo6_ReunionesTalleres/Tabla%20razas_marzo%202010.pdf. Consultado: octubre 8, 2014.
- CONAGUA. (2018). Estudio de suelos en la Depresión Central de Chiapas: Características y manejo de los suelos Regosol. Informe Técnico No. 1234.
- CONAGUA. (2020). Estudio de suelos en la Depresión Central de Chiapas: Características y manejo de los suelos Regosol. Informe Técnico No. 1234.
- Conde, C., Estrada, F., Martínez, B., Sánchez, O. & Gay, C. (2011). Escenarios regionales de cambio climático para México. *Atmósfera* 24(1), 125-140

- Conde, C. (2011). México y el Cambio Climático Global. Recuperado de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf>.
- Cordero, G. D. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, 37(2), 227-240. Recuperado de <https://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/handle/123456789/1392>.
- Coutiño, B., Gómez, N. O., Vázquez, G., y Vidal, V. A. (2014). 'V-560', NUEVA VARIEDAD PRECOZ DE MAÍZ PARA REGIONES TROPICALES. *Revista Filotecnia Mexicana*, 37 (2), 187-188. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v37n2/v37n2a10.pdf>.
- Coutiño, B., Ramírez, A., Betanzos, E., Espinosa, N., López, A., Camas, R., ...Gómez, N. (2006). 'INIFAP h-560', híbrido de maíz para las regiones cálidas de buena productividad. *Revista Filotecnia Mexicana*, 29 (3), 271-272. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/610/61029312.pdf>.
- De Chiapas, G. D. E. (2011). Programa de acción ante el cambio climático del estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez: Gobierno del Estado de Chiapas.
- Delgado-Ruiz, Fredy, Guevara-Hernández, Francisco, & Acosta-Roca, Rosa. (2018). Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *CienciaUAT*, 13(1), 123-134. Recuperado de <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985>
- Díaz, G. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*. 37 (2), 227-240. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>.
- DOF. (2020). Programa Nacional de Semillas 2020-2024. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616553/PROGRAMA_Nacional_de_Semillas_2020-2024baja.pdf
- Ebi, K.L., S. Hallegatte, T. Kram, N.W. Arnell, T.R. Carter, J. Edmonds, ... T. Zwicker (2014), "A new scenario framework for climate change research: Background, process, and future directions", *Climatic Change*, vol. 122, núm. 3, pp. 363-372. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0912-3>

- Elith, J. y Leathwick, J. (2006). Los métodos novedosos mejoran la predicción de la distribución de las especies a partir de datos de presencia. *Ecografía* 29: 129-151, 1-10.
- Encinia Bazaldúa, J. D. (2022). *Análisis de interacción genotipo por ambiente en maíces nativos de la zona sur de Nuevo León* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Escoto Castillo, Ana, Sánchez Peña, Landy, & Gachuz Delgado, Sheila. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(3), 669-693. <https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>
- Fang, S. C., Rajasekera, J. R. y Tsao, H. S. J. (1997). Optimización de entropía y programación matemática (Vol. 8). Medios de ciencia y negocios de Springer.
- Fernández-Reyes, R. (2015). El Acuerdo de París y el cambio transformacional. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global*, (132), 101-114.
- Galindo, L. M. (2009). La economía del cambio climático en México: síntesis. En *La economía del cambio climático en México: Síntesis* (pp. 67-67).
- Galindo, L.M., J.L. Samaniego, J.L. y C. de Miguel (2010), *La Economía del Cambio Climático y la Pobreza en América Latina*, Documento de Trabajo, Comisión Económica para América Latina (CEPAL).
- Gerald, N., Rosegrant, M. W., Koo, J., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., ... Lee, D. (2009). Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Modifications of Köppen climatic classification system). *Instituto de Geografía, UNAM. México, DF*.
- García, E. (1974). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones geográficas*, (5), 7-20.

- García S., J. A., y R. Ramírez J. 2012. Demanda de Semilla Mejorada de Maíz en México: Identificación de Usos y Zonas de Producción con Mayor Potencial de Crecimiento. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Texcoco, Estado de México. 156 p.
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J., y Navar, J. (2003). CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL: ORIGEN Y CONSECUENCIAS. CIENCIA UANL, 4 (3), 377-385. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/402/40260313.pdf>.
- Hernández Rodríguez, C., Perales Rivera, H., & Jaffee, D. (2020). Emociones, semillas nativas y cambio climático: el movimiento de soberanía de las semillas en Chiapas, México. *Estudios de cultura maya*, 56, 227-259.
- Hernández-Xolocotzi, E. (1988). La agricultura tradicional en México. *Comercio exterior*, 38(8), 673-678.
- INECC. (2019). Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Recuperado el 10 de abril de 2021 en https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2021 González Terrazas, D., Vermonden Thibodeau A., Gress Carrasco F., Municipios Vulnerables al Cambio Climático con base en los resultados del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. pp.60
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. López-Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas M, González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. pp 65.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1997. El maíz en el estado de Chiapas. Aguascalientes, Ags. 11 p.
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157

págs. Disponible en
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf.

Katinas, L. (2022). Biogeografía agrícola: el análisis espacial de los sistemas agrícolas. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*. Disponible en https://anav.org.ar/sdm_downloads/biogeografia-agricola-el-analisis-espacial-de-los-sistemas-agricolas/

Landa R., V. Magaña y C. Neri (2008), Agua y Clima: Elementos para la Adaptación al Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México (SEMARNAT- UNAM), México.

Liras E. (2008). Funcionamiento, interfaz y formato de los datos de Maxent. Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Almería. Disponible en https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2020/06/13_Funcionamiento_MAXENT.pdf

López F., y Cortés, A. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. Recuperado de <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>.

Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*, 25(2), 03-19.

Magaña, V. y Caetano, E. (2007). Informe final del proyecto: pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Núm. Proyecto INE/A1-006/2007. Universidad Autónoma de México (UNAM). México. 19 p.

Mallqui H. (2022). Estimación del estrés bioclimático de los ecosistemas de la región Áncash (Informe). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM). Disponible en <https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/16072021/434>.

March, G.J., A. Marinelli y C. Oddino. (2009). Introducción a la Epidemiología para el Manejo de las Enfermedades de los Cultivos. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Cap. 3

- Miranzo, M., y Río, C. (2015). LAS CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MAGREB. UNISCI Discussion Papers, vol (39), 127-150. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76742310005>.
- Montiel, I., Martínez, S., López, A., y García, G. (2017). Impacto del cambio climático en la agricultura de secano de Aguascalientes, México para un futuro cercano (2015-2039). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, volumen (16), 1-13. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455552312001.pdf>.
- Mora Aguilera, G., March, G., Marinelli, A. y S. Lenardon. 2001. Introducción a la epidemiología y manejo de enfermedades de los vegetales. Curso de posgrado. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC.
- Morales, N. (2012). Modelos de distribución de especies: Software Maxent y sus aplicaciones en Conservación. *Revista Conservación Ambiental*, 2(1), 1-5.
- Mullerried F.K.G. (1957). Geología de Chiapas. Gobierno del estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez.
- O'Neill, B.C. (2016), "The Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) and their extension and use in impact, adaptation and vulnerability studies", documento de trabajo para la sesión Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), 19th Conference on Global Economic Analysis, Banco Mundial, Washington, D.C., 15 a 17 de junio. Disponible en: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/8175.pdf>
- O'Neill, B.C., E. Kriegler, K. L. Ebi, E. Kemp-Benedict, K. Riahi, D. S. Rothman, ... W. Solecki (2014), "The roads ahead: Narratives for Shared Socioeconomic Pathways describing world futures in the 21st century", *Global Environmental Change*, vol. 42 pp.169-180. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378015000060>
- Palemón Alberto, F., Gómez Montiel, N. O., Castillo González, F., Ramírez Vallejo, P., Molina Galán, J. D., & Miranda Colín, S. (2011). Cruzas intervarietales de maíz para la región semicálida de Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(5), 745-757.
- Patiño, F., Condori, B., Segales, L., & Cadima, X. (2008). Distribución potencial, actual y futura de especies silvestres de papa endémica de Bolivia. *Revista de agricultura*, (44).

- Phillis, S., Anderson, R., & Sphaire, R. (2006). Entropía máxima, modelado de distribuciones geográficas de especies. *Modelo Ecológico*, 190(2006): 231-259.
- Ramírez-Ojeda, Gabriela, Ruiz-Corral, José Ariel, Pérez-Mendoza, Claudia, Villavicencio-García, Raymundo, Mena Munguía, Salvador, & Durán-Puga, Noé. (2014). Impactos del cambio climático en la distribución geográfica de *Gossypium hirsutum* L. en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(spe10), 1885-1895. Recuperado en 20 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001401885&lng=es&tlng=es.
- Riahi, K. et al. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Glob. Environ. Chang.* 42, 153–168 (2017). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.
- Rivera Aguirre, D. A. (2020). *Impacto del cambio climático en la distribución potencial de especies nativas de interés agrícola en México* (Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Roberts, Malcolm (2017). *Salida del modelo MOHC HadGEM3-GC31-LL preparado para CMIP6 HighResMIP. Versión AAAAMMDD* ^[1]. Federación de Redes del Sistema Terrestre. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1901>
- Rodríguez, M., Mance, H., Barrera, X., y García, C. (2015). Cambio Climático: Lo que está en juego. Recuperado de https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/cc_en_juego_b27_c6_web.pdf.
- Rosado, A., y Villasante, B.A. (2021). *Los herederos del maíz*. México. Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas.
- Ruiz-Corral, J. A., Medina-García G., Rodríguez-Moreno V. M., Sánchez-González J. de J., Villavicencio García R., Durán Puga N., Grageda Grageda, J., & García Romero G. E. (2017). Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, (13), 2451–2464. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.460>
- Ruiz Corral, J. A., Ramírez Díaz, J. L., Hernández Casillas, J. M., Aragón Cuevas, F., Sánchez González, J. D., Ortega Corona, A., Medina García, G., &

Ramírez Ojeda, G. (2011). RAZAS MEXICANAS DE MAÍZ COMO FUENTE DE GERMOPLASMA PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (2), 365-379.

Ruiz-García, P., Monterroso-Rivas, A.I., Sánchez-Torres G., Vargas-Castilleja, R.C., Báez-Vásquez, J. & Conde-Álvarez, A.C (2022). Breve Guía para la Selección, Descarga y Aplicación de Escenarios de Cambio Climático para México. De acuerdo con los últimos escenarios del IPCC. UACH-UNAM-BUAP-UAT-ISF-México, A.C. 98 p. <http://cirenam.chapingo.mx/cambio-climatico/folletos/>

Ruiz, J. A., Medina, G., Rodríguez, V. M., Sánchez, J. J., Villavicencio, R., Durán, M., ...García, G. E. (2016). Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, volumen (13), 2451-2464. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472001>.

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2012). México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Vol. I. México: SAGARPA/FAO.

Sánchez Toledano, Blanca Isabel, Kallas, Zein, & Gil, José María. (2017). Importancia de los objetivos sociales, ambientales y económicos de los agricultores en la adopción de maíz mejorado en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 49(2), 269-287. Recuperado en 18 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652017000200019&lng=es&tlng=es.

Sanson, L. M., & Leina, C. A. M. (2022). Adaptación al cambio climático en la producción ejidal de maíz en el estado de Chiapas, México. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 22(43).

Gobierno de Chiapas. (2011). Programa de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2020). Informe Nacional Sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México. 319 pp.

- Shannon, C. E (1948). Una teoría matemática de la comunicación. Revista técnica del sistema Bell, vol. 27, págs. 379-423 y 623-656.
- Soberón, J. y Peterson, A. T. (2005). Interpretación de modelos de nichos ecológicos fundamentales y áreas de distribución de especies. *informática de la biodiversidad*, 2, 1-10.
- Sotelo Ruiz, E. D., Cruz Bello, G. M., González Hernández, A., & Moreno Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 401-412.
- Stanton, J. Pearson, R., Horning, N., Ersts, P. y Resit, H. (2012). Combinando variables estáticas y dinámicas en modelos de distribución de especies bajo el cambio climático. *Métodos en ecología y evolución*, vol 3, 349-357.
- Tannure, C.L; Mazza, S.M y L.I. Giménez. 2017. Modelos para caracterizar los patrones de distribución espacial de *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae), en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*) Facultad de Cs Agrarias – UNNE. INTA – EEA Sombrerito.
- Taylor, KE, Stouffer, RJ y Meehl, GA (2012). Una descripción general de CMIP5 y el diseño del experimento. *Boletín de la Sociedad Meteorológica Estadounidense*, 93(4), 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Tinoco, J. A., Gómez, J. D., y Monterroso, A. I. (2011). EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL MAÍZ EN EL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO. *Terra Latinoamericana*, 29 (2), 161-168. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018757792011000200161&lng=es&tlng=es.
- Turrent Fernández, A., Wise T. A., y Garvey E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo del maíz de México. Informe sobre Desarrollo Rural Mexicano. Informe 24. 36 p.
- Uriarte, A. (2003) Historia del clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

- Useros, J. L. (2013). EL CAMBIO CLIMÁTICO: SUS CAUSAS Y EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. Revista de la Universidad de Valladolid, 16 (50), 71-98. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/23839>.
- Velasco, L. (2014). Evaluación del modelo EPIC para estimar rendimientos de maíz (Zea mays) en la Depresión Central de Chiapas, México.
- Véliz, P. E. (2017). IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS EN UNA PLACA COMPUESTA UTILIZANDO EL PRINCIPIO DE MÁXIMA ENTROPÍA Y ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (Tesis de ingeniería), Universidad de Chile. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144528/Identificaci%C3%B3n-de-impactos-en-una-placa-compuesta-utilizando-el-principio-de-m%C3%A1xima-entrop%C3%ADa-y-an%C3%A1lisis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

14. ANEXOS

14.1 Anexo I. Puntos de registros y escenarios de cambio climático de la variedad criolla en la Depresión Central de Chiapas.

En la figura 14.1, se observa que el cultivo del maíz criollo es ampliamente utilizado en la zona de la Depresión Central, principalmente en los municipios de: Cintalapa, Jiquipilas, Ocozocoautla de Espinosa, Venustiano Carranza y Frontera Comalapa.

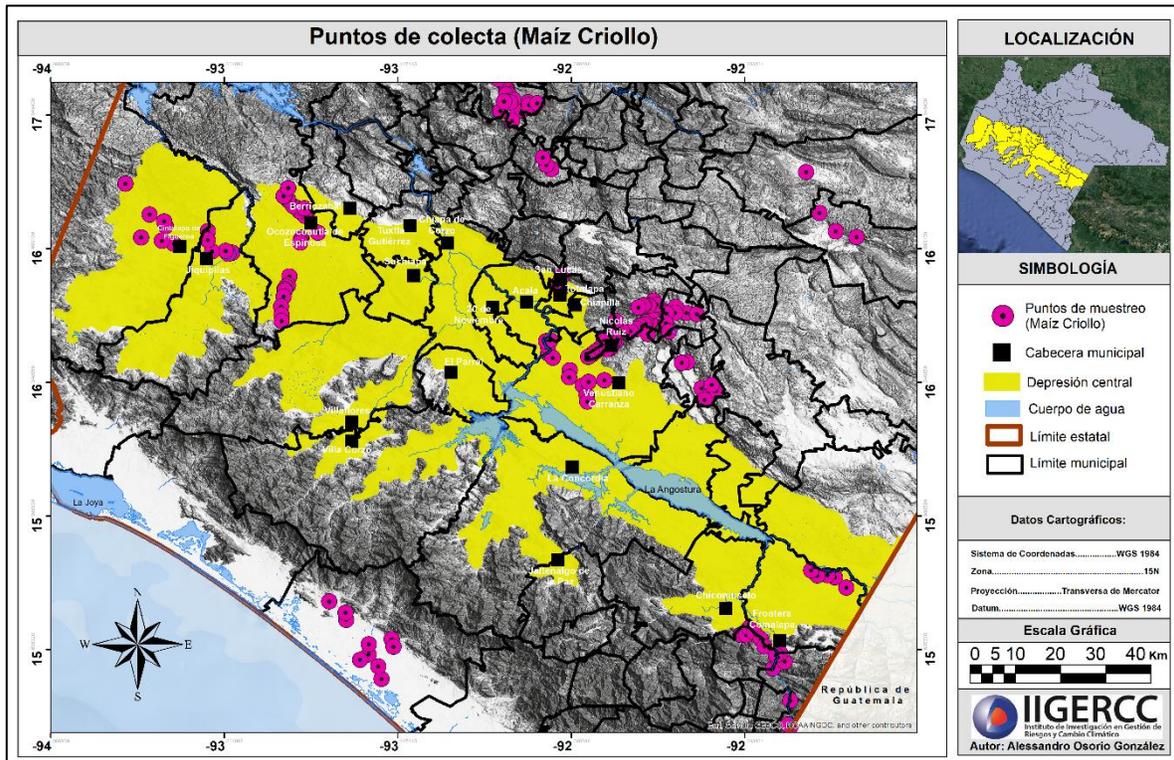


Figura 14.1 Registro de presencia del maíz criollo en la Depresión Central del estado de Chiapas

Similar a lo realizado para la variedad V-560, se aplicó el modelo de nicho para generar escenarios para el análisis de la distribución del maíz criollo en la Depresión Central de Chiapas.

En la figura 14.2 se presenta el primer escenario histórico para el cultivo del maíz criollo, correspondiente al periodo 1970-2000. En color rojo se presentan las áreas que no fueron aptas para el desarrollo del cultivo, por otro lado, en color verde se reflejan las zonas que fueron óptimas para el desarrollo del cultivo. En este

escenario se observa una distribución potencial de 319,321 hectáreas como áreas óptimas para el desarrollo del maíz criollo, el cual se presenta en los municipios de: Cintalapa, Jiquipilas, Ocozocoautla de Espinosa, Berriozabal, Tuxtla Gutierrez, Suchiapa, Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata, Acala, San Lucas, Chiapilla, Totolapa, Venustiano Carranza, Socoltenango, Chicomuselo, La Trinitario y Frontera Comalapa.

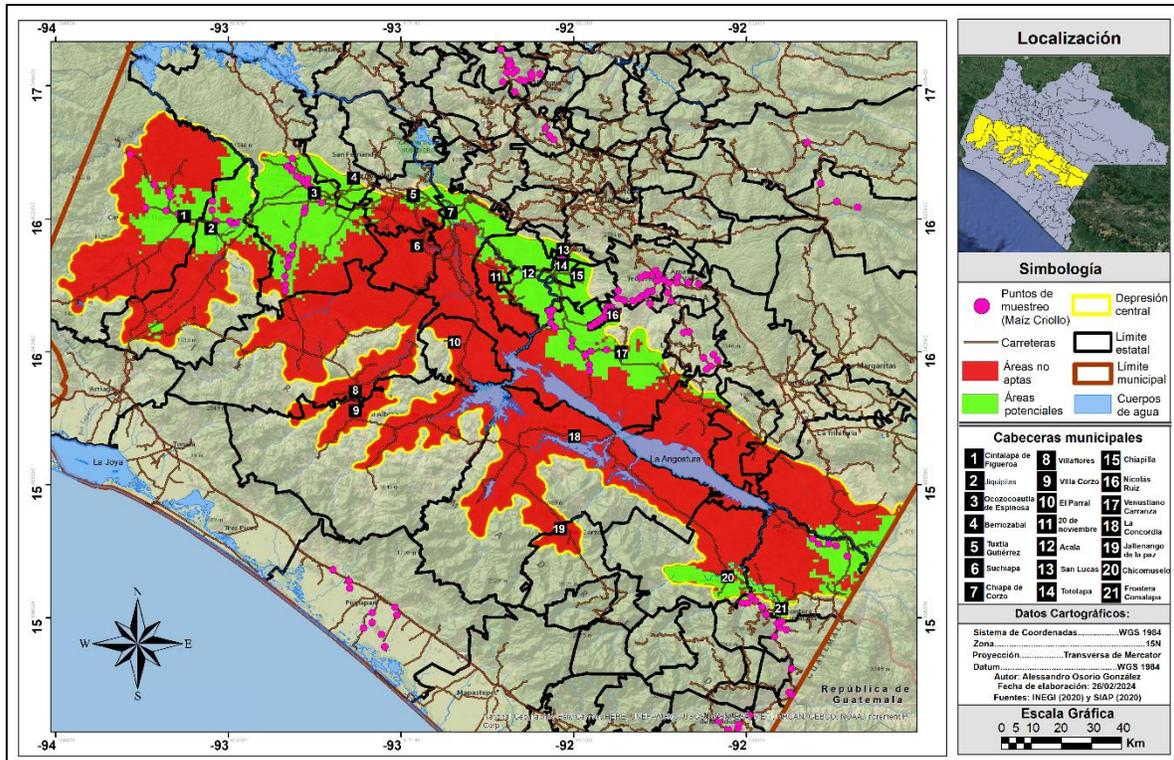
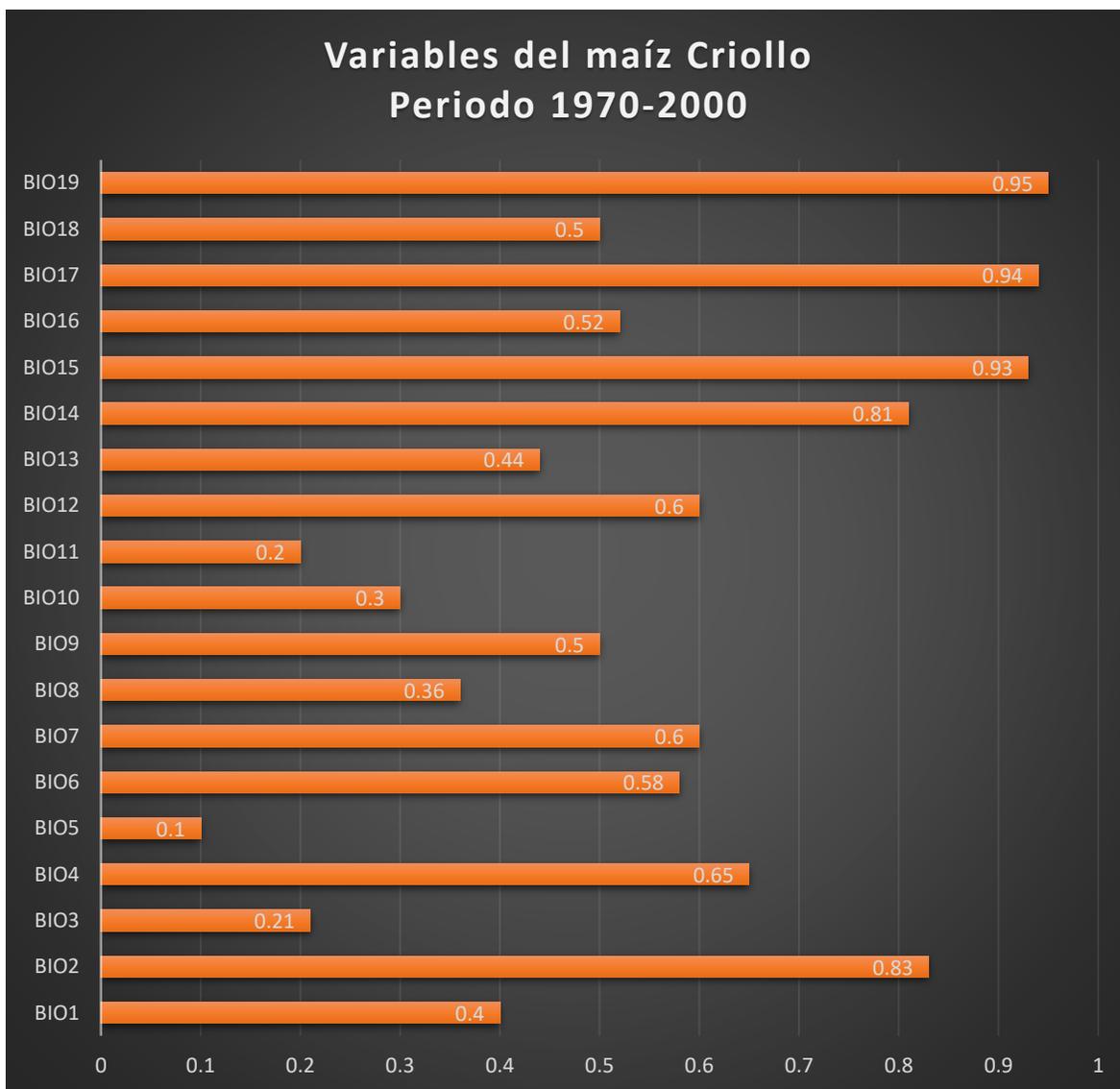


Figura 14.2 Distribución potencial del maíz criollo para el periodo 1970-2000 en la Depresión Central, Chiapas.

La grafica 14.1 indica la influencia que tiene cada variable sobre el modelo de distribución potencial para el periodo histórico de 1970-2000, en él, se muestran las variables con mayor influencia: BIO19 (Precipitación del trimestre más frío), BIO17 (Precipitación del trimestre más seco), BIO15 (Estacionalidad de la precipitación) y BIO2 (Media gama diurna)

Por el contrario, las variables de menor influencia son: BIO3 (Isotermalidad), BIO5 (Temperatura máxima del mes más caliente) y BIO11 (Temperatura media del trimestre más frío)



Grafica 14.1 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 1970-2000.

En la figura 14.3, observamos el escenario actual, correspondiente al periodo 2021-2040, en él encontramos una distribución muy parecida al del escenario histórico (Figura 14.2), a pesar de ello, se observan zonas donde las condiciones climáticas son aptas para el desarrollo del cultivo del maíz criollo, siendo Villaflores, La Concordia y Ángel Albino Corzo los nuevos municipios. Ocupando un total de 328,068 hectáreas de toda la Depresión Central.

Este periodo es el mayor en numero de hectareas óptimas para el desarrollo de la variedad.

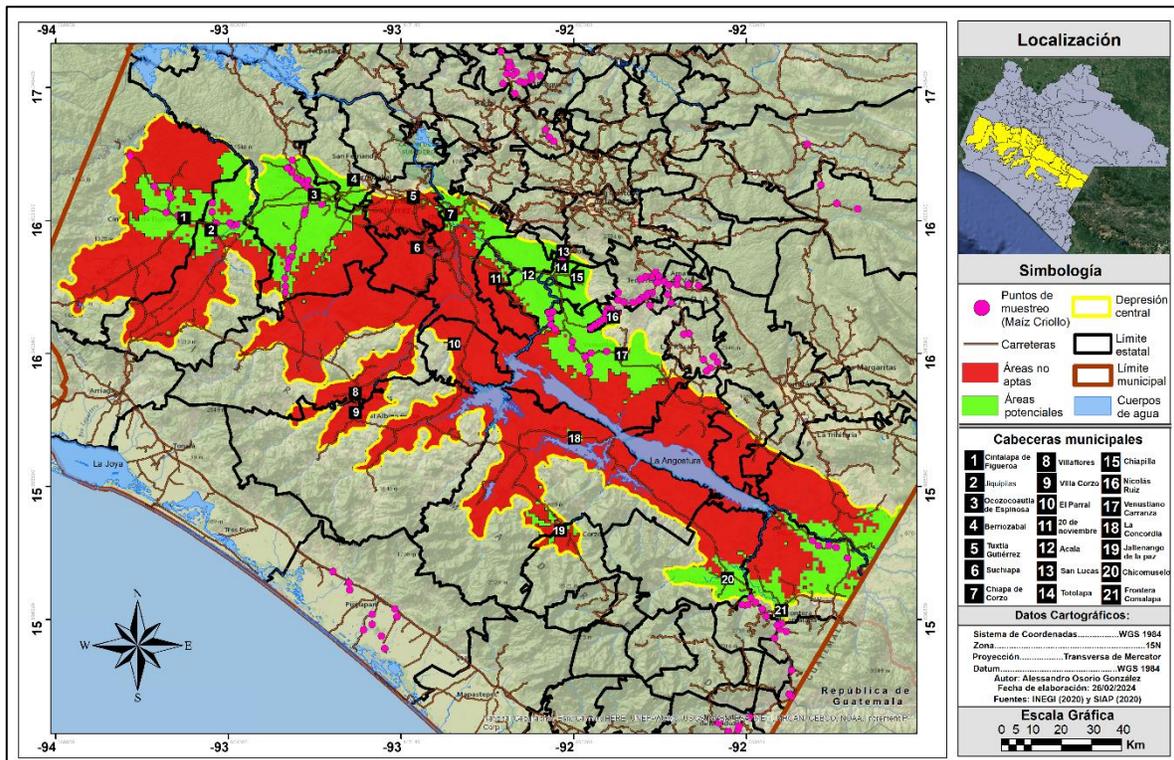
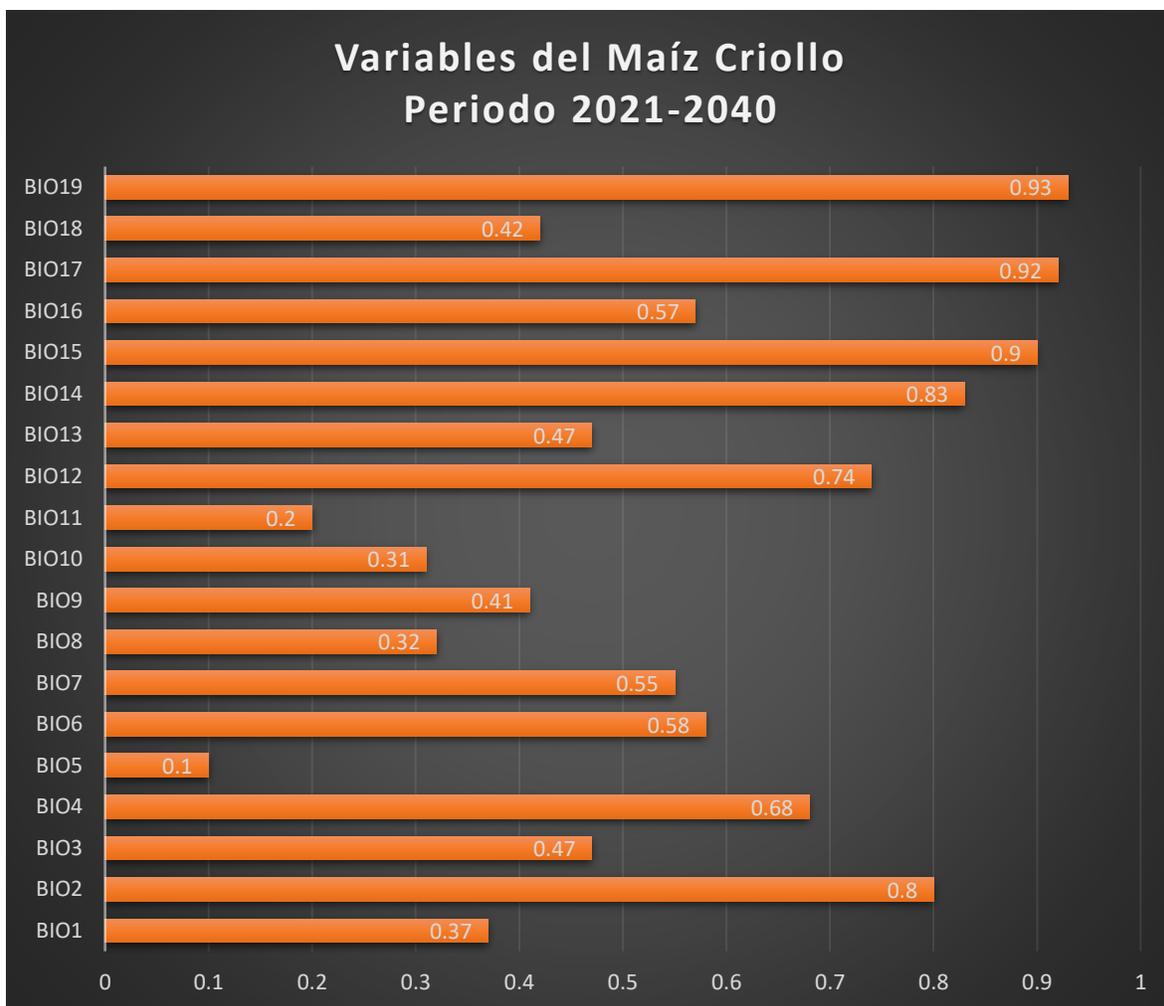


Figura 14.3 Distribución potencial del maíz Criollo para el periodo 2021-2040 de la Depresión Central, Chiapas.

En la Gráfica 14.2 se observa una relación similar en los valores mostrados de la Gráfica 14.1, en él, las variables BIO19 (precipitación del mes más frío), BIO17 (precipitación del mes más seco), BIO15 (estacionalidad de la precipitación), BIO14 (precipitación del mes más seco) y la BIO2 (intervalo medio diurno) son las de mayor influencia para este periodo. Por el contrario, las variables BIO5 (Temperatura máxima del mes más caliente) y BIO11 (Temperatura media del trimestre más frío) son las que menos influyen en el modelo.



Grafica 14.2 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maiz criollo, periodo 2021-2040.

En la figura 14.4 se presenta el escenario a medio plazo, correspondiente al periodo 2041-2060, en él se observan pérdidas en la distribución, principalmente en los municipios: Cintalapa, Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata, Acala, La Concordia y Frontera Comalapa. Por el contrario, los municipios donde se observa una ganancia en cuanto a la presencia de áreas óptimas son: Ocozocoautla de Espinosa, Tuxtla Gutiérrez, Venustiano Carranza y Villaflores. Ocupando un total de 313,562 hectáreas como áreas óptimas para el desarrollo del maíz criollo, en este escenario disminuyen las zonas óptimas en comparación con el escenario actual.

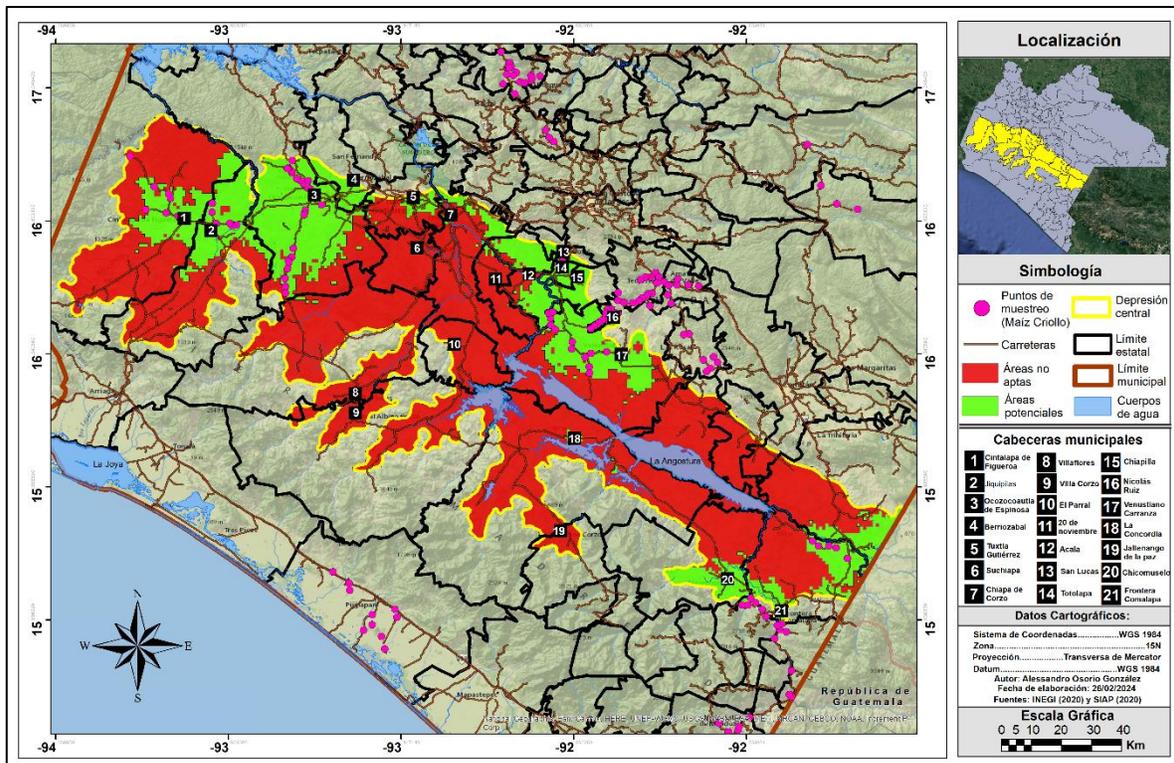
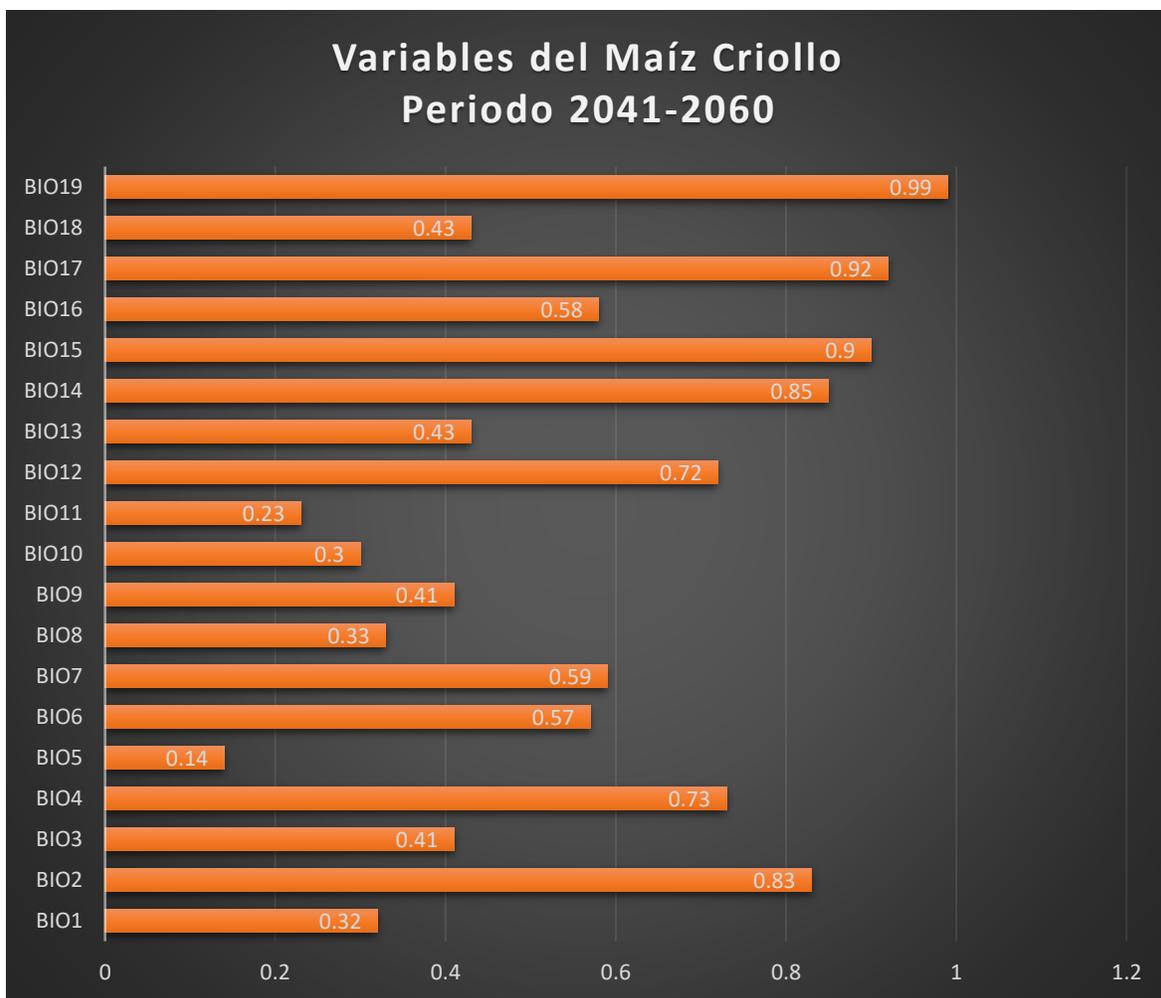


Figura 14.4 Distribución Potencial del maíz Criollo para el periodo 2041-2060 de la Depresión Central, Chiapas.

En la Gráfica 14.3, se observa la misma tendencia que las anteriores pues las variables que mas influyen nuevamente son: BIO19 (Precipitación del trimestre más frío), BIO17 (Precipitación del trimestre más seco), BIO15 (Precipitación de estacionalidad), BIO14 (Precipitación del mes más seco) y BIO2 (Media gama diurna). Por el contrario, las de menor influencia son: BIO5 (Temperatura máxima del mes más caliente) y BIO11 (Temperatura media del trimestre más frío).



Grafica 14.3 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 2041-2060.

Finalmente en la figura 14.5, se observa el escenario a largo plazo, correspondiente al periodo (2061-2080), este es el escenario en donde predominan las pérdidas en relación a la disponibilidad de las áreas óptimas, en él, los municipios de: Cintalapa, Jiquipilas, Ocozocuatla de Espinosa, Tuxtla Gutierrez, Acala, Chiapilla, Venustiano Carranza, La Concordia, Chicomusuelo y La Trinitaria son los más afectados, sin embargo, los municipios de: Chiapa de Corzo, Emiliano Zapata y Frontera Comalapa muestran ganancias en cuanto a las áreas. En base a lo mencionado, las áreas óptimas para este escenario son de 283,946 hectáreas.

Este es el escenario con el menor número de áreas potenciales para la distribución del maíz criollo.

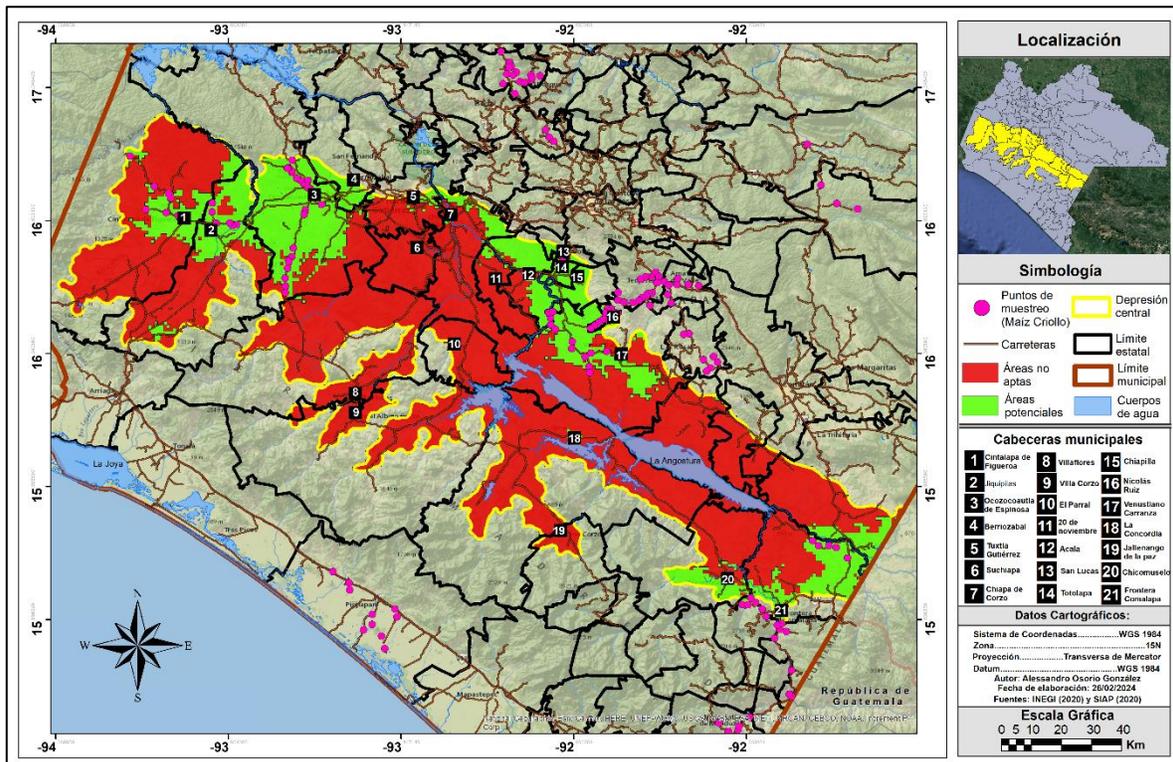
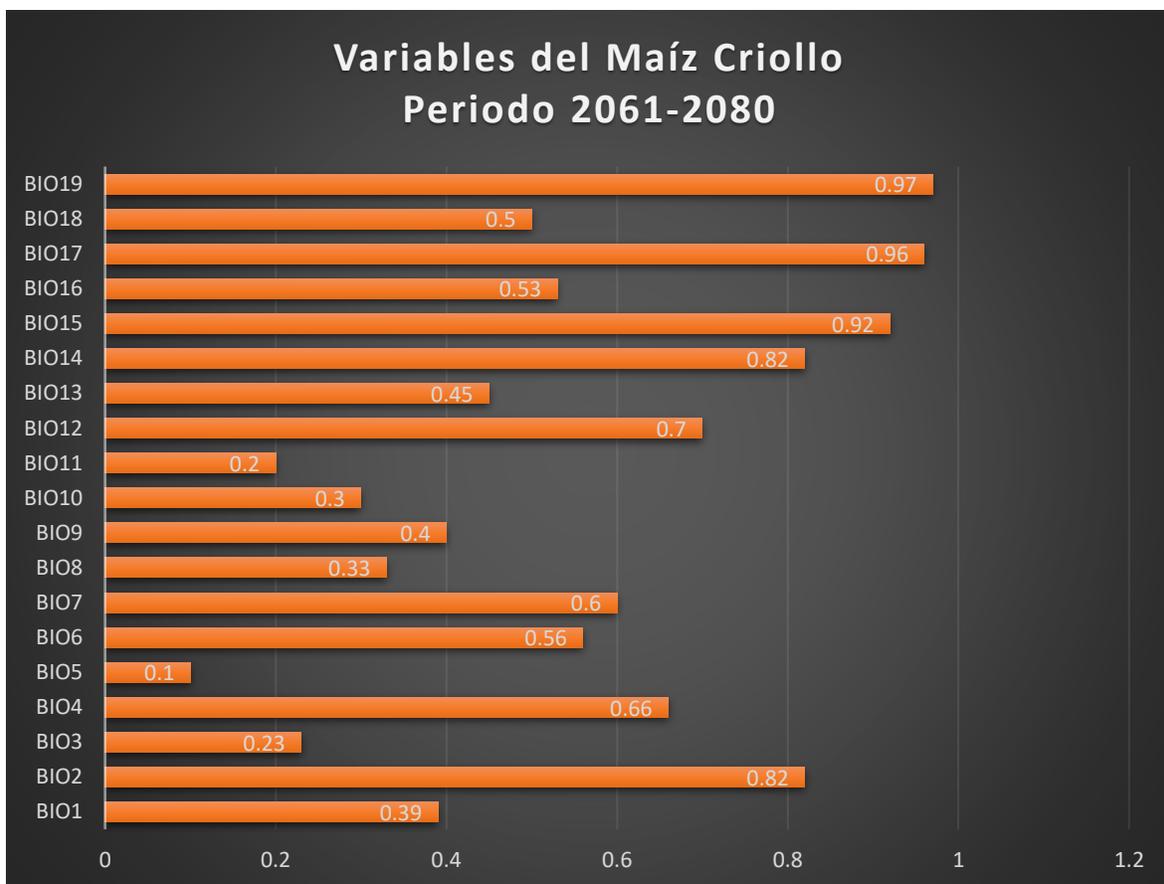


Figura 14.5 Distribución potencial del maíz criollo para el periodo 2061-2080 de la Depresión Central, Chiapas.

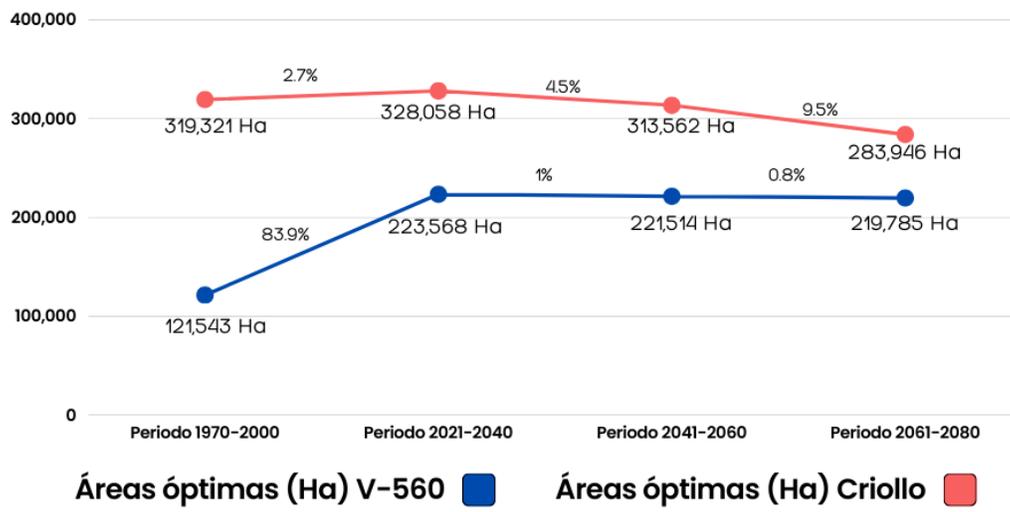
En la gráfica 14.4, se observa la misma tendencia de las anteriores gráficas, al ser la BIO19 (Precipitación del trimestre más frío), BIO17 (Precipitación del trimestre más seco), BIO15 (Precipitación de estacionalidad), BIO14 (Precipitación del mes más seco) y BIO2 (Media gama diurna) las más influyentes en los resultados del escenario anterior (Figura 14.5), por otro lado, las de menor influencia fueron: la BIO5 (Temperatura máxima del mes más caliente), BIO11 (Temperatura media del trimestre más frío) y BIO3 (Isotermalidad)..



Grafica 14.4 Valor de importancia de cada variable para la distribución del maíz criollo, periodo 2061-2080.

En la Gráfica 14.5, se compara la distribución de las áreas óptimas para cada cultivo, se observa que a pesar de que ambas están sujetas a las mismas variaciones climáticas esperadas y a las intensificadas por el cambio climático, la variedad 560 está diseñada para soportar de mejor manera este estrés climático esperado, a lo que el maíz criollo no.

DISTRIBUCIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS



Grafica 14.5 Comparación de las hectareas ganadas para el maíz criollo y la variedad 560.

14.2 Anexo II. Escenarios climáticos para la Depresión Central del Estado de Chiapas

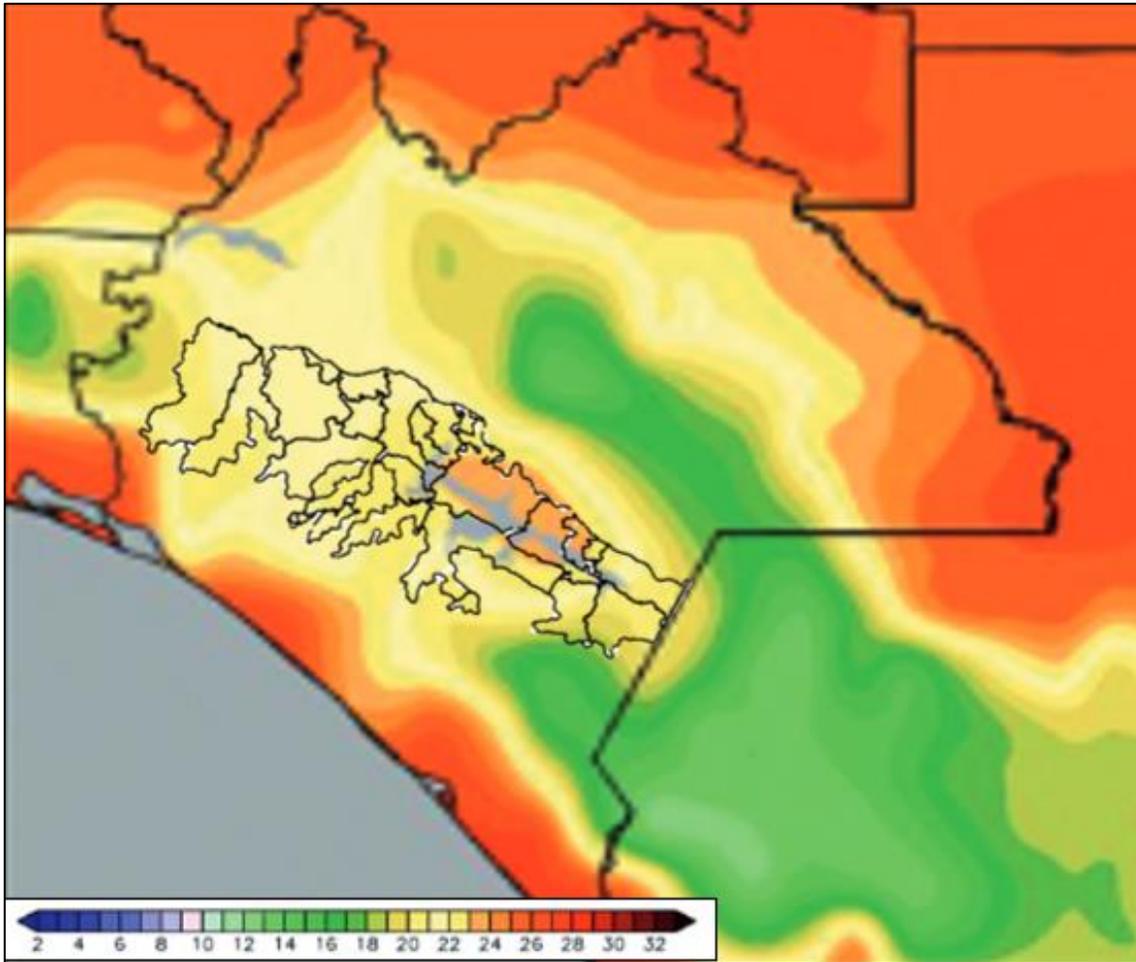


Figura 14.6 Valores de Temperatura para el periodo 1979-2003 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.

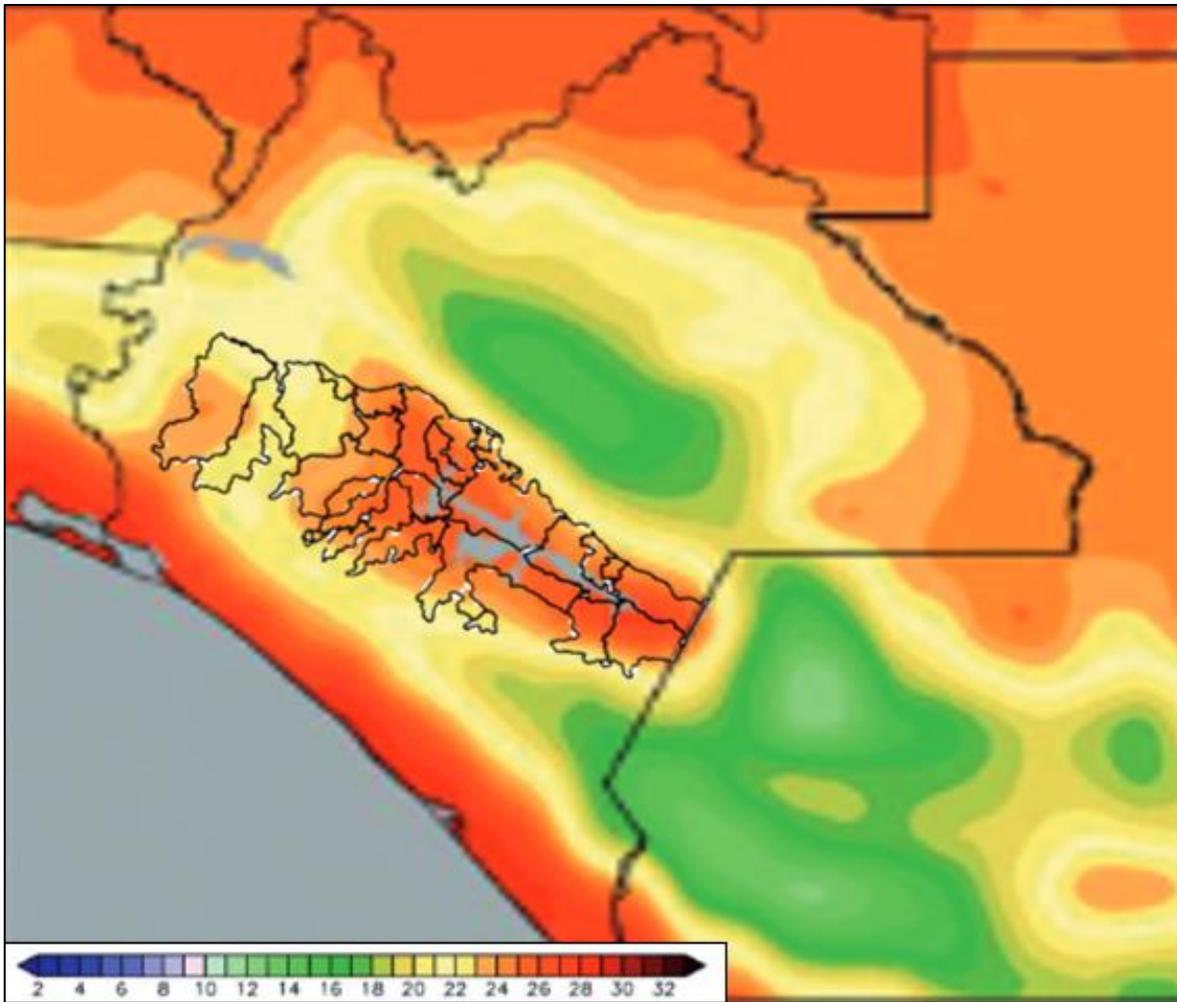


Figura 14.7 Valores de Temperatura para el periodo 2015-2039 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.

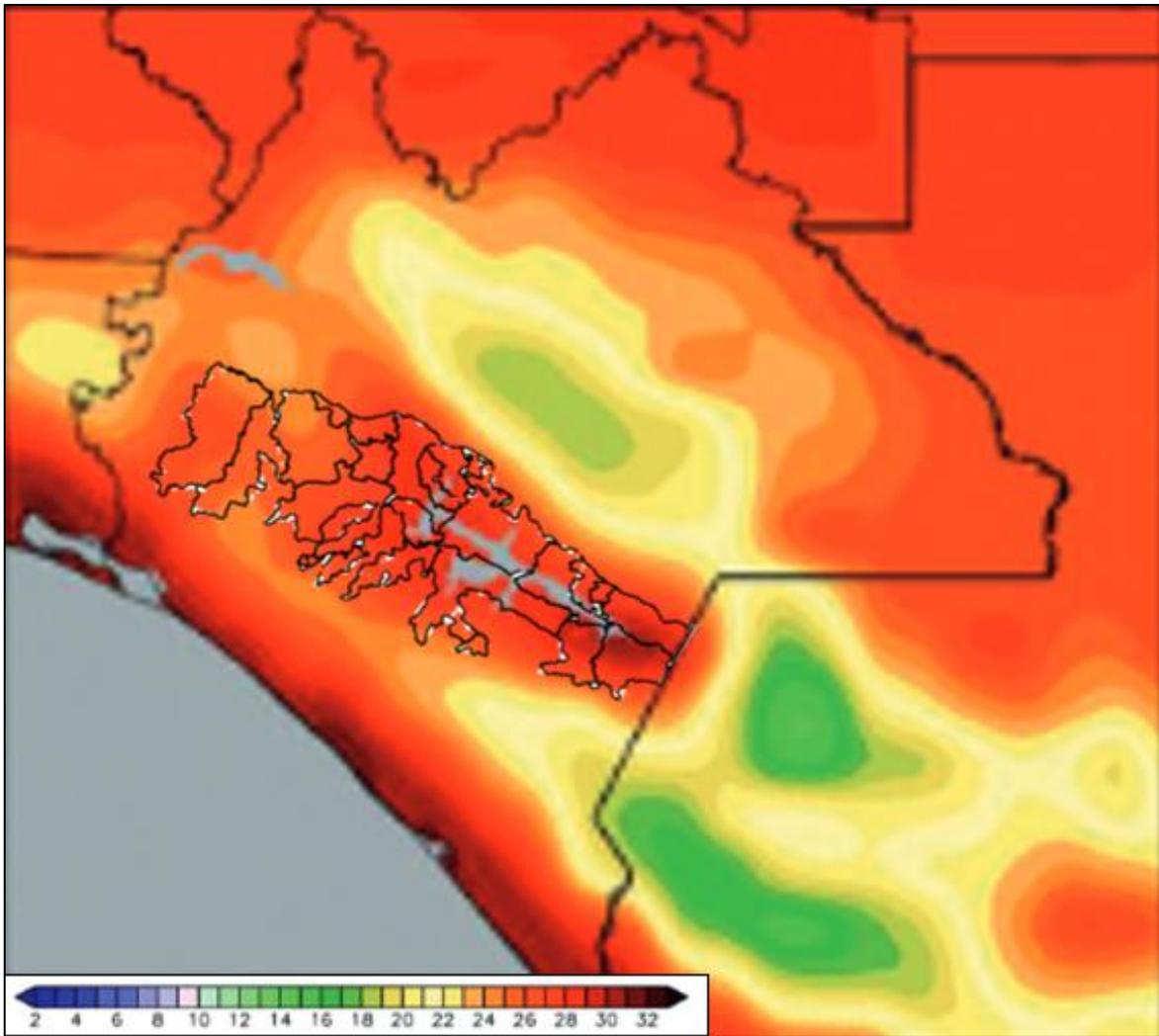


Figura 14.8 Valores de Temperatura para el periodo 2075-2099 en Chiapas, Tomado del PACCCH, 2011.