

PROGRAMA  
DE GESTIÓN DE  
**CALIDAD DEL AIRE**  
Y DE ACCIÓN ANTE EL  
**CAMBIO CLIMÁTICO**  
ESTADO DE PUEBLA  
2021-2030

**VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA**

proAire  
**PEACC**



**MEDIO AMBIENTE**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**INECC**

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO



COMISIÓN AMBIENTAL  
DE LA MEGALÓPOLIS



**Gobierno  
de Puebla**

Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490  
para Apoyar los Programas, Proyectos  
y Acciones Ambientales de la Megalópolis

# PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

"Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490  
para Apoyar los Programas, Proyectos  
y Acciones Ambientales de la Megalópolis"

Este documento fue desarrollado por:

AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática SA de CV para la  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y ORDENAMIENTO  
TERRITORIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

Bajo el proyecto con número de contrato  
GESAL-140-027/2022



Secretaría de  
Medio Ambiente,  
Desarrollo Sustentable y  
Ordenamiento Territorial  
Gobierno de Puebla

**Autores del documento:**

Mtra. Anais Vermonden Thibodeau

**Con la colaboración de:**

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Mat. Jorge Martínez Castillejos

Este documento se elaboró para la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla con recursos del Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 “Para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”.

Citar el documento como: Vulnerabilidad del Sector Agrícola, 2023. Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático, 2021-2030. SMADSOT – CAME – SEMARNAT.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito correspondiente.

© 2023

PROGRAMA  
DE GESTIÓN DE **CALIDAD DEL AIRE**  
Y DE ACCIÓN ANTE EL **CAMBIO CLIMÁTICO**  
ESTADO DE PUEBLA  
2021-2030

**VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA**

## CONTENIDO

|   |     |
|---|-----|
| VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA.....   | 7   |
| Introducción .....  | 7   |
| Cambio climático y el sector agrícola.....  | 10  |
| Aptitud climática del cultivo del maíz en el estado de Puebla .....   | 14  |
| Resultado de la aptitud climática del cultivo de maíz.....  | 17  |
| Vulnerabilidad al cambio climático del sector agrícola en Puebla .....  | 21  |
| Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico.....   | 22  |
| Metodología para calcular la vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico .....                        | 23  |
| Resultados de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico .....                                   | 35  |
| Recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de la agricultura ante el estrés hídrico.....                | 88  |
| Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.....   | 91  |
| Metodología para el análisis de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones y cambio climático..... | 92  |
| Resultados del análisis de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.....                         | 103 |
| Recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.....                     | 157 |
| Referencias.....  | 159 |
| Anexos.....   | 170 |
| Anexo 1: Tabla con los 120 productos en modalidad de temporal.....  | 170 |
| Anexo 2: Tabla con los 124 productos en modalidad de riego .....  | 173 |

## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Comparación del área sembrada y cosechada en modalidad de temporal y riego para el estado de Puebla de 2009 a 2020.....                                       | 8  |
| Figura 2. Cambio en el rendimiento de los seis cultivos modelados bajo condiciones de temporal para el RCP 8.5 al horizonte temporal de 2061-2099.....                  | 13 |
| Figura 3. Cambio en el rendimiento de los seis cultivos modelados bajo condiciones de riego para el RCP 8.5 al horizonte temporal de 2061-2099 .....                    | 13 |
| Figura 4. Requerimientos agroclimatológicos del maíz. Tomada de INIFAP (2012). .....  | 15 |
| Figura 5. Mapa de construcción de aptitud climática actual del maíz.....  | 16 |
| Figura 6. Mapa de aptitud climática utilizando los escenarios de cambio climático para el cultivo del maíz, respecto a la superficie agrícola actual.....               | 17 |
| Figura 7. Porcentajes de cambio en la aptitud climática para el maíz en las áreas de uso de agricultura de temporal para las distintas regiones de Puebla.....          | 19 |
| Figura 8. Porcentajes de cambio en la aptitud climática para el maíz en las áreas de uso de agricultura de riego para las distintas regiones de Puebla.....             | 20 |
| Figura 9. Porcentaje por tipo de fenómeno de declaratorias de emergencia, desastre o contingencia climática en el estado de Puebla.....                                 | 21 |
| Figura 10. Árbol jerárquico de la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura ante el estrés hídrico.....   | 23 |
| Figura 11. Árbol jerárquico de la evaluación de exposición actual y futura para la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico .....                           | 24 |
| Figura 12. Variables de evaluación de sensibilidad para la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico.....  | 26 |
| Figura 13. Variables de evaluación de capacidad adaptativa de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico.....  | 31 |
| Figura 14. Gráfica de la Región Angelópolis: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....              | 41 |
| Figura 15. Gráfica de la Región Mixteca: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....                  | 48 |
| Figura 16. Gráfica de la Región Tehuacán y Sierra Norte: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585.....   | 55 |
| Figura 17. Gráfica de la Región Nororiental: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....              | 62 |
| Figura 18. Gráfica de la Región Sierra Norte: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....             | 68 |
| Figura 19. Gráfica de la Región Valle Atlixco y Matamoros: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585..... | 75 |
| Figura 20. Gráfica de la Región Serdán y Valles Centrales: Vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585..... | 82 |
| Figura 21. Árbol jerárquico de la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.....  | 91 |
| Figura 22. Variables de evaluación de exposición actual y futura para la evaluación de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones .....                      | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 23. Variables de evaluación de sensibilidad para la evaluación de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones .....                                   | 94  |
| Figura 24. Variables de evaluación de capacidad adaptativa de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones .....  | 98  |
| Figura 25. Gráfica de la Región Angelópolis: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....               | 109 |
| Figura 26. Gráfica de la Región Mixteca: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....                   | 116 |
| Figura 27. Gráfica de la Región Tehuacán y Sierra Norte: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....   | 123 |
| Figura 28. Gráfica de la Región Nororiental: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....               | 130 |
| Figura 29. Gráfica de la Región Norte: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....                     | 137 |
| Figura 30. Gráfica de la Región Atlixco y Matamoros: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 .....       | 144 |
| Figura 31. Gráfica de la Región Serdán y Valles Centrales: Vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones actual y el futuro lejano de los dos SSP 245 y 585 ..... | 151 |

## **TABLAS**

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Resultados por cultivos para tres horizontes de tiempo corto (2021-2030), mediano (2031-2060) y largo (2061-2099) y un escenario de RCP 8.5. ....  | 12  |
| Tabla 2. Clasificación de las variables climáticas para el cultivo del maíz. ....   | 15  |
| Tabla 3. Por región, área utilizada por agricultura de temporal y riego (INEGI), Porcentaje del uso para el cultivo de maíz (SIAP) y el rendimiento promedio por región del maíz de temporal y riego (SIAP) ..... | 18  |
| Tabla 4. Municipios con alta vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico y recomendaciones para disminuir su vulnerabilidad. ....  | 89  |
| Tabla 5. Municipios con alta vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones y recomendaciones para disminuir su vulnerabilidad. ....  | 158 |

# VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA

---

## INTRODUCCIÓN

El estado de Puebla tiene una extensión de 34 mil 310 kilómetros cuadrados, el cual representa el 1.7% del territorio nacional. Cuenta con más de 6 millones 600 mil habitantes, de las cuales el 58% de la población en edad de trabajar se encuentra ocupada, y 20% de ellos se dedican al sector primario. En este sector primario, 96.2% se ocupan en el subsector agrícola, 3.8% en el pecuario y 0.03% en el pesquero (SIAP, 2018). Actualmente, el 43.2% del territorio del estado tiene uso de suelo agrícola, de los cuales, el 84% es de temporal y 16% de riego (INEGI, 2017).

De acuerdo con la Secretaría de Economía del estado de Puebla, en 2020 su Producto Interno Bruto (PIB) fue de 532,159.2 millones de pesos, el cual aportó el 3.3% a la economía nacional, posicionándose como la onceava economía del país. Las actividades primarias aportaron 24,906 millones de pesos representando el 4.7% del PIB estatal y el 4.2% a nivel nacional por lo que ocupa el octavo lugar (Secretaría de Economía, 2022).

De acuerdo con el Atlas agroalimentario 2012-2018 publicado por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) el estado de Puebla destaca a nivel nacional, en la producción de ajonjolí, alfalfa verde, amaranto, arándano, avena grano, berenjena, brócoli, café cereza, calabacita, caña de azúcar, cebada, cebolla, coliflor, durazno, frambuesa, fresa, jitomate, lechuga, maíz forrajero, maíz grano, naranja, nopalitos, papa, pera, plátano, rosa, sorgo grano, tomate verde, toronja y uva fruta. El volumen generado proveniente del sector agrícola es por encima de los 7,600,000 de toneladas. Los principales municipios productores son Tlatlauquitepec y Atlixco. La superficie sembrada para la actividad se desarrolla en los ciclos de primavera-verano en un 76.4% y un 5.7% en el ciclo otoño-invierno, mientras un 19% de los cultivos perennes. Solo un 0.1% se desarrolla en bajo una agricultura protegida (SIAP, 2018).

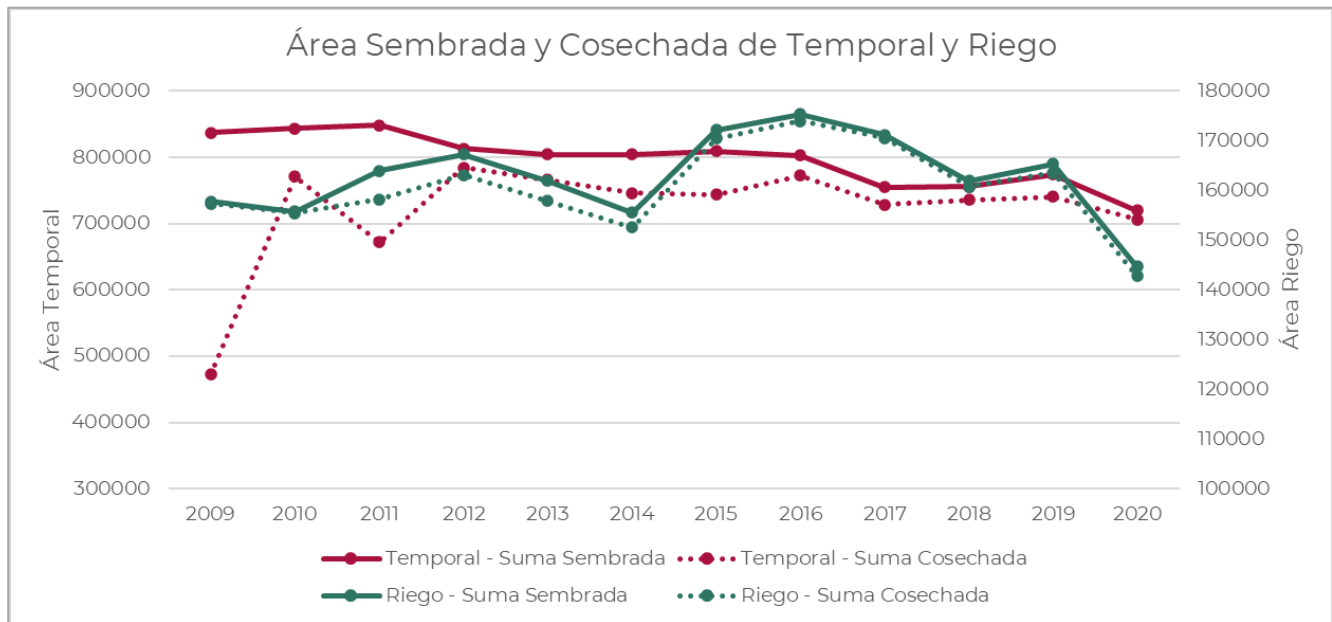
Con los datos del SIAP del cierre agrícola de 2009 a 2020 (SIAP, 2022) de los 120 productos, los 10 con mayor superficie sembrada en el estado en modalidad de temporal son: maíz de grano, café cereza, frijol, cebada grano, naranja, sorgo grano, haba grano, manzana, avena forrajera y cacahuete. Los 10 productos con mayor valor por su producción en modalidad de temporal son: maíz grano, café cereza,



papa, frijol, tuna, naranja, cebada grano, sorgo grano, haba grano y plantas de ornamento (Anexo 1).

En la modalidad de riego de los 124 productos, los 10 con mayor superficie sembrada son: maíz grano, alfalfa verde, caña de azúcar, elote, frijol, maíz forrajero, cebolla, calabacita, tomate verde y lechuga. Los 10 productos con mayor valor en su producción son: caña de azúcar, maíz grano, alfalfa verde, tomate rojo, gladiola, papa, calabacita, elote y tomate verde. La tabla se puede revisar en el anexo 2.

Con datos del SIAP de 2009 a 2020, se observa un declive en el área sembrada de temporal constante en el periodo de 2009 a 2020. El área bajo riego en el estado de Puebla muestra otro comportamiento más variable y a la baja de 2016 a 2020. En 2009 se puede observar que se siniestraron por encima de 40% de área sembrada. De acuerdo con las declaratorias de contingencias climáticas se debió a la combinación de dos eventos una sequía y una helada en distintas fechas (SEGOB, 2010, DOF 2009). Según el SIAP la frontera agrícola del estado de Puebla se redujo en un 2.8% entre la serie III y la Serie IV de INEGI, sin embargo, los municipios de Hueytamalco, Acateno y Jalpan tuvieron un aumento y los municipios de Cuyoaco, Chalchicomula de Sesma y Lafragua una disminución importante (SIAP, 2022c).



**FIGURA 1. COMPARACIÓN DEL ÁREA SEMBRADA Y COSECHADA EN MODALIDAD DE TEMPORAL Y RIEGO PARA EL ESTADO DE PUEBLA DE 2009 A 2020.**

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP.

De un estudio realizado en 2002, el 76.6% de la superficie del estado de Puebla podría ser afectada por erosión hídrica (SEMARNAT, 2015). En 2017 se calculó el Índice de Degradación de Suelo (IDS) para el estado de Puebla, y se encontró que 43 km<sup>2</sup> (0.1% del estado) poseen una muy alta degradación de suelo, 6,600 km<sup>2</sup> (19%) tiene una alta degradación, 8,190 km<sup>2</sup> (31%) tiene una degradación mediana, 10,800 km<sup>2</sup> (31%) de baja degradación y 8,700 km<sup>2</sup> (25%) muy baja degradación. Este suelo con clasificación de muy alta y alta degradación se ubica en el centro del estado (Flores-Domínguez, et al. 2017).

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural lanzó la Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible (ENSAS) en cuatro entidades del país, entre estas se encuentra el estado de Puebla. La ENSAS delinea que por medio de estudios sobre el recurso suelo para contar con un mapeo con el cual se permita mejorar la productividad de cultivos como el maíz, frijol, y hortalizas y evitar el deterioro del campo mexicano. Uno de los municipios de Puebla iniciados en este proceso es el de Guadalupe Victoria. Se busca impulsar acciones de conservación y manejo sostenible del suelo, y, de variedades mejoradas y criollas, así como el uso correcto de fertilizantes y la adopción de insumos orgánicos. Este es un trabajo en conjunto con los tres órdenes de gobierno, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por medio del Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios por el Suelo (PUEIS) (SADER, 2022).

El eje 2 en el Plan Estatal de Desarrollo de 2019 a 2024 de Puebla es la recuperación del campo poblano, el cual cuenta con 4 estrategias, impulsar las cadenas productivas agrícolas, pecuarias, acuícolas y apícolas para fortalecer la productividad, fortalecer canales de comercialización que propicie la integración de cadenas de valor estratégico, fortalecer la gestión de conocimiento en el desarrollo rural para el mejoramiento de capacidades, e impulsar la capitalización del campo a fin de transitar hacia un desarrollo rural sostenible. Por lo que, está ligado a la estrategia transversal cuidado ambiental y atención al cambio climático en la estrategia de *promover mecanismos de adaptación en el medio rural para mitigar los impactos negativos del cambio climático y de la contaminación ambiental* (Gobierno del Estado de Puebla, 2019).

En la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 (SMADSOT, 2022b), en la estrategia 2: Desarrollar sistemas innovadores de aprovechamiento regenerativo y justo de los ecosistemas y biodiversidad del estado, la primera línea de acción es promover prácticas de producción agroecológicas sostenibles, de aprovechamiento

sustentable del patrimonio biocultural y la recuperación de ecosistemas. Denotan la importancia de la agricultura como un sector no solo para mitigar las emisiones de gases efecto invernadero, pero también sus posibilidades para disminuir los impactos del cambio climático y adaptarse.

## CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SECTOR AGRÍCOLA

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Los cambios pueden ser naturales, por ejemplo, por variaciones del ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y la deforestación, este último por cambio de uso de suelo (ONU, 2022). Los efectos del cambio climático ponen en riesgo a la producción mundial de cultivos y en consecuencia el riesgo de una menor disponibilidad de alimentos.

El incremento en las temperaturas genera efectos negativos como la escasez de agua, olas de calor, precipitaciones pluviales, daños por inundaciones y sequías, que afectan la actividad agrícola. El acuerdo de París se firmó con el objetivo de limitar el incremento de la temperatura media global a final del siglo muy por debajo de los 2°C y preferiblemente de 1.5°C, de acuerdo con el último reporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) *Emissions Gap Report* (UNEP, 2022), la temperatura que podría alcanzarse es de 2.4 a 2.6°C. En el reporte del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) se puede alcanzar el 1.5°C de incremento entre 2030 y 2052 de continuar las tasas actuales de emisiones (IPCC, 2018). Se ha estimado que las actividades agrícolas generan 24% de las emisiones de gases de invernadero. Aunado a esto, la agricultura promueve la pérdida de suelos hasta en 2.5 veces mayor en comparación con su pérdida natural (CIMMYT, 2021).

Las pérdidas económicas debido al cambio climático —que, en 2018, por ejemplo, se estimaron en 49 mil millones de dólares a nivel global (ONU, 2019)— consisten principalmente en impactos agrícolas que pueden estimarse o cuantificarse de forma más o menos directa (como la pérdida de cosechas) o mediante la revisión de registros históricos (como la cantidad de personas desnutridas debido a sequías asociadas con fenómenos como El Niño). Sin embargo, hay otros impactos más difíciles de calcular y hasta hace poco no se relacionaban con el cambio climático.

Cuando las cosechas se pierden por sequías o inundaciones —en 2019 se perdió alrededor del 70% de cultivos en Centroamérica a causa de fenómenos

meteorológicos extremos (ONU, 2020)— no solo aumenta el hambre en el corto plazo o de forma inmediata, sino que las vulnerabilidades socioeconómicas continúan en el mediano y largo plazo impactando los medios de vida, la toma de decisiones agrícolas y la toma de riesgos de las comunidades vulnerables.

En México, la sequía presentada en 2019 fue tan severa que afectó el 60% del territorio nacional incluidos estados que no habían enfrentado este problema como Chiapas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y el norte de Veracruz, lo que limitó el desarrollo de la agricultura. Sumado a ello, en 2020 la emergencia sanitaria por Covid-19 agravó la situación, si bien la variabilidad del clima y los fenómenos meteorológicos extremos ya implicaban afectaciones a la seguridad alimentaria de las poblaciones (propiciando el desplazamiento de las más vulnerables), con los efectos de la nueva enfermedad el riesgo de una gran crisis alimentaria se ha maximizado (CIMMYT, 2021).

La adaptación del sector al cambio climático también es importante en cuestiones económicas en México, ya que de acuerdo con el último artículo *Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture* (Impactos y costos económicos del cambio climático en la agricultura mexicana) publicado en 2022 (Estrada et al. 2022):

- 70% de la producción se hace en modalidad de temporal,
- 6.5 millones de personas dependen directamente del campo (si se consideran sus dependientes el número sube a 26.9 millones) (SIAP, 2022b),
- Genera el 3.4% del producto interno bruto,
- 87% de los productores de maíz en el sur de México ya reportan efectos negativos por eventos meteorológicos (Harvey et al. 2018). A su vez estos impactos refuerzan la migración rural-urbano e internacional (Sánchez-Cohen et al. 2013; Nawrotzki et al. 2015),
- La migración de agricultores rurales de bajos ingresos se triplicó durante la sequía (representa un tercio de toda la migración histórica) (Murray-Tortarolo and Salgado 2021),
- Los impactos de las sequías en comunidades rurales pueden aumentar hasta en 5% la probabilidad de empobrecerse y hasta 3% la pérdida del empleo de mujeres y reduce la asistencia de hombres a la escuela (Arceo-Gómez et al. 2020).

En dicha publicación se modelaron seis cultivos para el país: maíz, sorgo, soya, trigo, arroz y caña de azúcar para tres horizontes de tiempo corto (2021-2030), mediano (2031-2060) y largo (2061-2099) RCP 8.5.

TABLA 1. RESULTADOS POR CULTIVOS PARA TRES HORIZONTES DE TIEMPO CORTO (2021-2030), MEDIANO (2031-2060) Y LARGO (2061-2099) Y UN ESCENARIO DE RCP 8.5.

| CULTIVO         | RENDIMIENTO MEDIO ACTUAL |                | CORTO        |           | MEDIANO      |           | LEJANO       |           |
|-----------------|--------------------------|----------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|                 | TEMPORAL (TON/HA)        | RIEGO (TON/HA) | TEMPORAL (%) | RIEGO (%) | TEMPORAL (%) | RIEGO (%) | TEMPORAL (%) | RIEGO (%) |
| Maíz            | 1.7                      | 4.9            | -6.5         | -4.3      | -17.9        | -12.4     | -42.6        | -31.4     |
| Sorgo           | 3.0                      | 5.0            | -7.2         |           | -24.4        | -24.7     | -41.1        | -36.6     |
| Soya            | 1.8                      | 2.0            | -11.8        | -5.9      | -33.8        | -19.9     | 59.1         | -44.4     |
| Trigo           | 1.6                      | 4.0            | -1.2         | -2.3      | -14.3        | -9.0      | -23.3        | 20.0      |
| Arroz           | 3.9                      | 6.4            | -8           | -7.3      | -24.4        | -21.9     | -51.4        | -41.3     |
| Caña de azúcar* | 59.9                     | 88             | +28.1        | +27.7     | 29.3         | +48.5     | +39.7        | +59.5     |

\* Los impactos son positivos si se toma en cuenta la fertilización por CO<sub>2</sub> en los de temporal, si no serían reducciones de 23.7%, 52.6% y 72.2% respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con resultados de Estrada et al. 2022.

En las Figura 2 (cultivos de temporal) y Figura 3 (cultivos de riego) el estado de Puebla hay tiene un cambio negativo en el rendimiento de maíz, trigo y sorgo en las dos modalidades. El maíz y el sorgo de temporal podría disminuir su rendimiento entre un -30 a un -50%, mientras que en la modalidad de riego entre -1% a -30%, en el horizonte lejano. El rendimiento de la producción de trigo, tanto en modalidad de temporal como riego, podría disminuir entre -1% a -30%. En cambio, hay rendimientos positivos, por ejemplo, el rendimiento de la caña de azúcar es de más de 20% en ambas modalidades en el horizonte lejano. Para el arroz y soya el cambio en rendimiento en ambas modalidades para el horizonte lejano esta entre -1% a 1%.

Actualmente, en el estado de Puebla la combinación de la emergencia sanitaria y la sequía también se presentó en la entidad, donde se reportaron 50.9 mil trabajadores ocupados menos en el sector primario en el trimestre julio-septiembre 2021 según los datos del SIAP con base en la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), el campo poblano reportó 615 mil 375 trabajadores en el tercer trimestre de 2020, mientras que en igual lapso de este año se contabilizaron 564 mil 441 (SIAP, 2021). En 2022 el estado de Puebla por medio de la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR) destinará apoyo por medio del pago de seguros a 73 municipios que se vieron afectados por la sequía por el monto de 72 millones de pesos (SDR, 2022).

El sector agrícola representa un sector clave para la mitigación de gases efecto invernadero, pero también es necesaria la adaptación del sector a los entornos de variabilidad climática y calentamiento global (CIMMYT, 2021). Adicionalmente, se deben de buscar medidas para reducir la perdidas y desechos de los alimentos ya que globalmente se pierden alrededor de un tercio a nivel global, las cuales pueden ayudar a disminuir la presión sobre el medio ambiente y alcanzar las metas de desarrollo sostenible (World Bank, 2020).

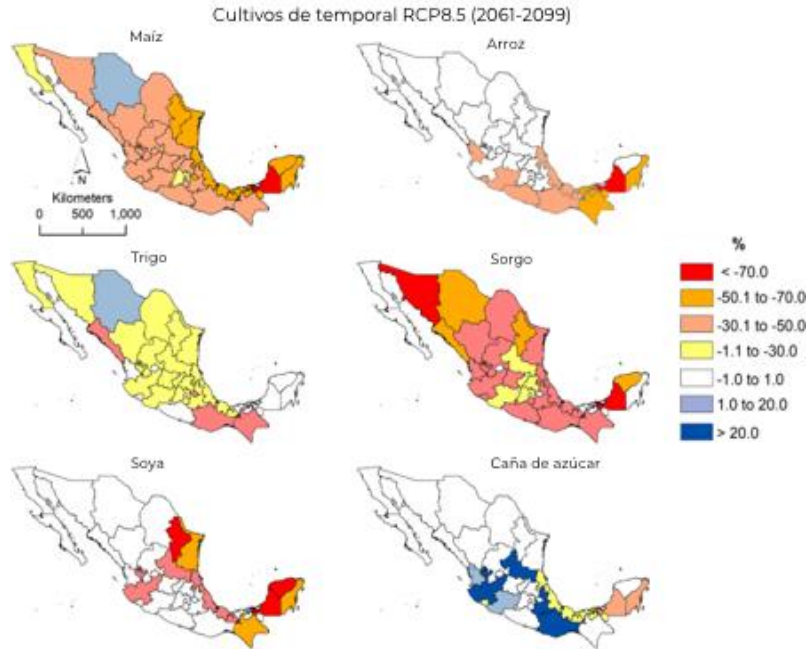


FIGURA 2. CAMBIO EN EL RENDIMIENTO DE LOS SEIS CULTIVOS MODELADOS BAJO CONDICIONES DE TEMPORAL PARA EL RCP 8.5 AL HORIZONTE TEMPORAL DE 2061-2099.

Fuente: Figura tomada de Estrada et al. 2022.

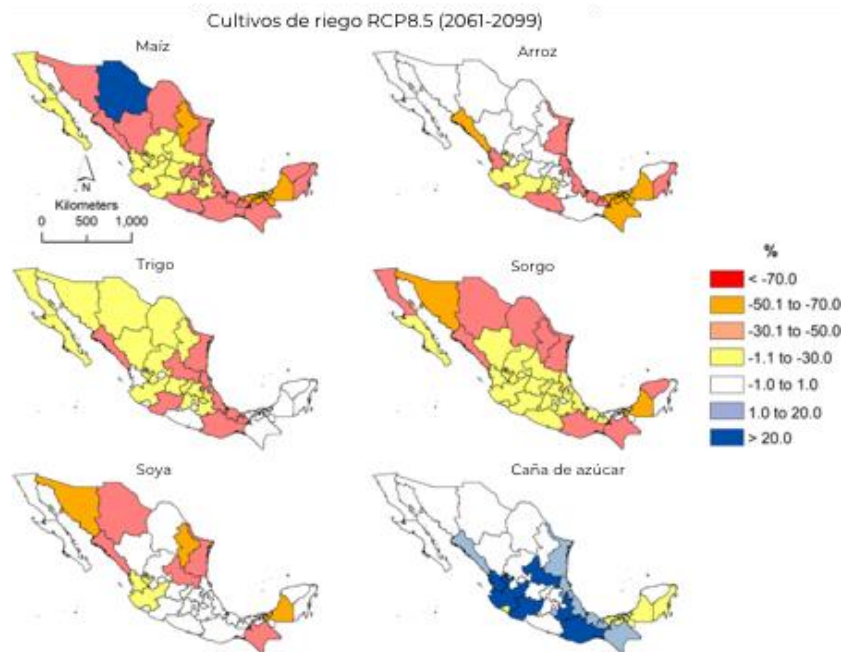


FIGURA 3. CAMBIO EN EL RENDIMIENTO DE LOS SEIS CULTIVOS MODELADOS BAJO CONDICIONES DE RIEGO PARA EL RCP 8.5 AL HORIZONTE TEMPORAL DE 2061-2099

Fuente: Figura tomada de Estrada et al. 2022.

# APTITUD CLIMÁTICA DEL CULTIVO DEL MAÍZ EN EL ESTADO DE PUEBLA

El maíz es el cultivo más importante de México desde un punto de vista alimentario, económico y social (Flores-Cruz et al., 2014). El Valle de Tehuacán por muchos años fue conocido como el lugar donde se dio la domesticación inicial del maíz, pero estudios más recientes muestran que fue en las cuencas del río Verde en Oaxaca y del Balsas en Guerrero y Michoacán (De Ávila, 2021). De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla, más de 500 mil hectáreas el estado se dedica al cultivo del maíz, sembrando 21 de las 64 variedades de maíces nativos (SDR, 2022b). En 2021, el estado de Puebla se encontraba en el décimo lugar de producción de maíz con una producción de más de 1,151,000 toneladas, que representa el 4.2% de la producción nacional (SIAP, 2023).

Para tener una aproximación al cambio de rendimiento del cultivo del maíz en el estado de Puebla, se abordó desde el cambio en la aptitud climática del cultivo con los escenarios de cambio climático. La aptitud climática puede definirse como la zonificación de cultivos por medio de la identificación de áreas potenciales por medio de la superposición espacial de información de variables de clima y cultivo (Gómez et al., 2020). Se realizó una búsqueda bibliográfica respecto a los parámetros de idoneidad climática para el rendimiento óptimo del cultivo de maíz, específicamente de temperatura y precipitación. El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018b), reporta los siguientes rangos:

- **Precipitación:** Para los 125 días de cultivo, de siembra a cosecha, se estima necesaria como un mínimo de lámina de precipitación acumulada de 480 mm (lámina mínima acumulada para un cultivo con escasez de agua) para una aptitud agroclimática mediana y de **700 a 1300 mm** para una aptitud óptima del cultivo (INIFAP, 2012). Donde para el ciclo primavera verano se consideran los meses de abril a septiembre y para el ciclo otoño invierno de octubre a marzo (INIFAP, 2018). Con el análisis climatológico de 30 años de 1981 a 2010, la temperatura media también se estimó para el mismo periodo.
- **Temperatura media:** para el maíz se necesita una temperatura media de 14 a 18 °C y de 24 a 26 °C para una aptitud agroclimática media y para una aptitud agroclimática alta de **18 a 24 °C**.

A partir de estos rangos se calcularon las zonas con aptitud agroclimática óptima actual y futuro, a partir de la clasificación siguiente como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ.

| VARIABLE CLIMÁTICA      | APTITUD AGROCLIMÁTICA MEDIANA | APTITUD AGROCLIMÁTICA ÓPTIMA | APTITUD AGROCLIMÁTICA MEDIANA |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Precipitación acumulada | 480 - 700                     | <b>700- 1300</b>             | >1300                         |
| Temperatura media       | 14 - 18                       | <b>18-24</b>                 | 24 - 26                       |

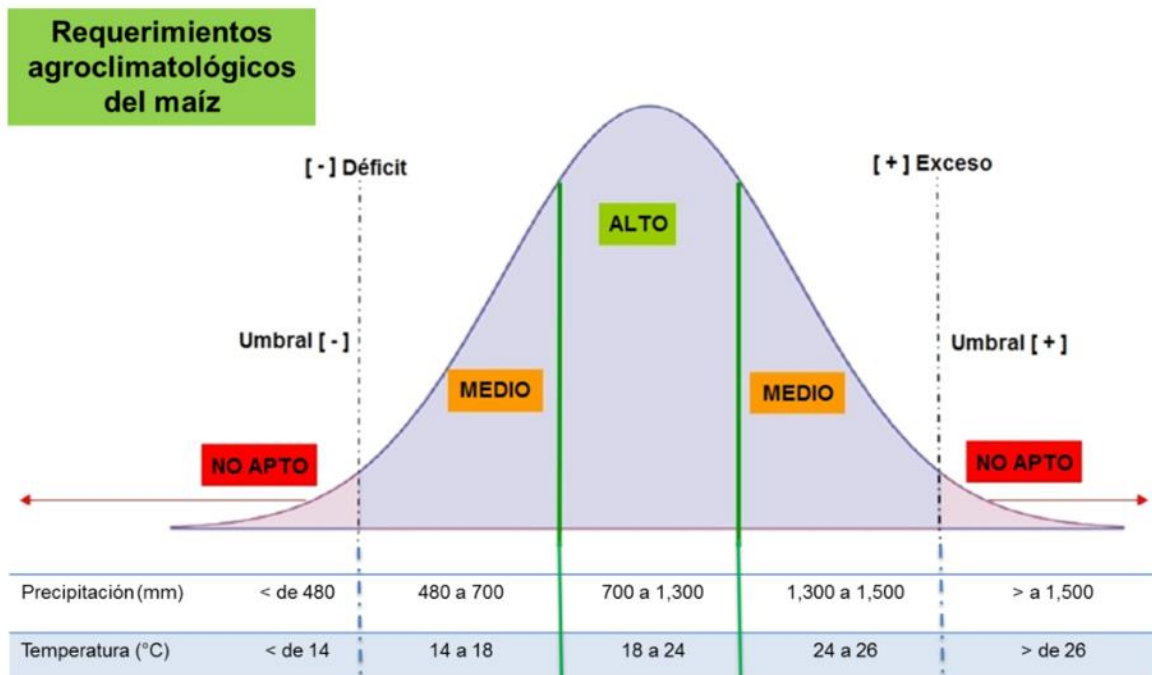


FIGURA 4. REQUERIMIENTOS AGROCLIMATOLÓGICOS DEL MAÍZ. TOMADA DE INIFAP (2012).

Se obtuvo la zonificación de parámetros para Precipitación acumulada (PA) y Temperatura media (TM), se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1.

Se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1 km<sup>2</sup>) de precipitación y de temperatura promedio para los meses de abril a septiembre, posteriormente se sumaron y se calculó el promedio para cada pixel, se sumaron las condiciones de PA y TM, se clasificó en aptitud óptima donde se cumplieron espacialmente ambas condiciones y mediano rendimiento donde se cumplió alguna de las condiciones, posteriormente se calculó la superficie óptima respecto al área agrícola actual, total, agricultura de riego y temporal, se obtuvo el área total y porcentual para cada municipio del estado de Puebla.



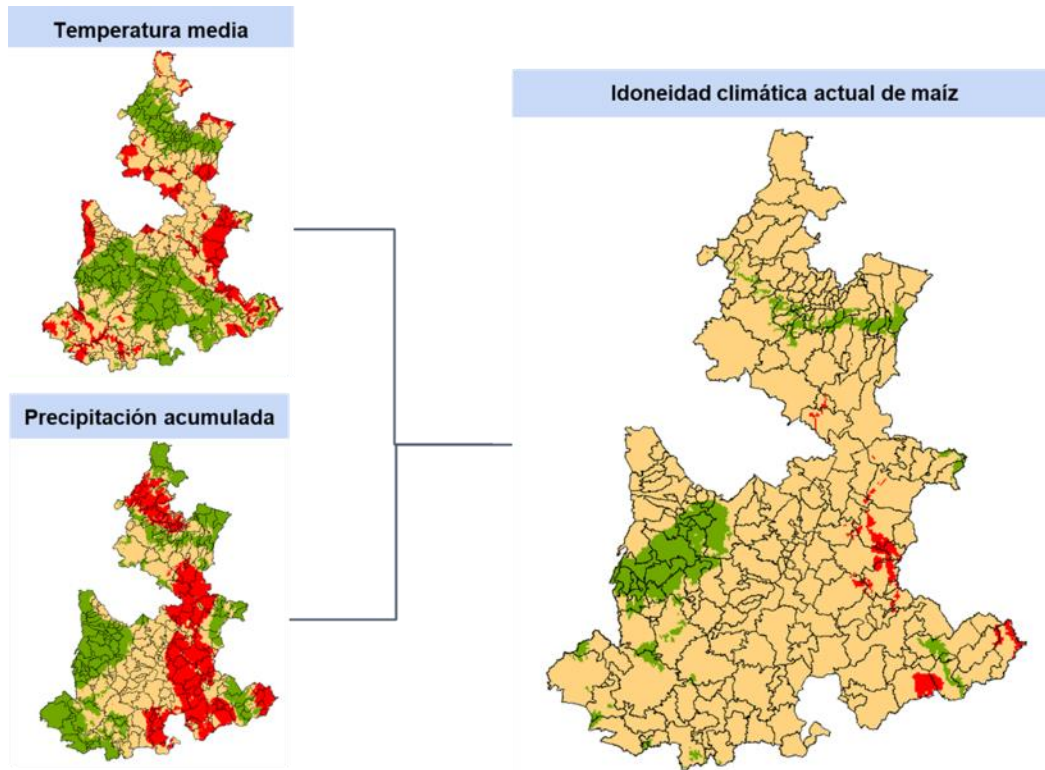


FIGURA 5. MAPA DE CONSTRUCCIÓN DE APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL DEL MAÍZ.

Para las condiciones futuras, se utilizó la capa de precipitación acumulada y para temperatura media de los meses correspondientes al ciclo primavera verano, abril a septiembre, y se calculó a partir de la sumatoria de temperatura máxima y mínima, dividido entre dos, se sumaron los resultados de los 6 meses del año y se dividieron entre 6, para cada uno de los escenarios de cambio climático seleccionados (WorldClim, 2020):

- HadGEM3 ssp245 (2021-2040),
- HadGEM3 ssp245 (2081-2100),
- HadGEM3 ssp585 (2021-2040),
- HadGEM3 ssp585 (2081-2100),
- MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040),
- MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100),
- MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040),
- MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100).

Para cada escenario se calcularon las zonas de óptimo rendimiento, con la sumatoria espacial de PA y TM, posteriormente se calculó la superficie óptima respecto al área agrícola, total, agricultura de riego y temporal, se obtuvo el área total y porcentual para cada municipio del estado de Puebla para cada escenario.

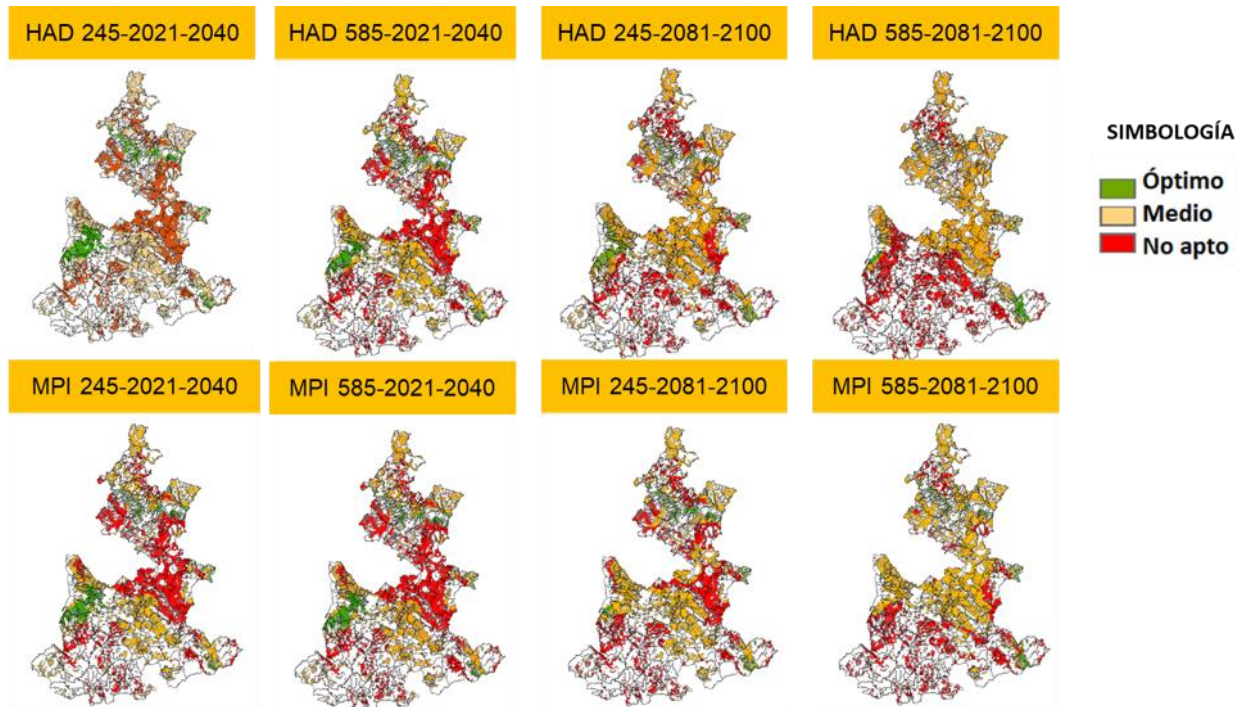


FIGURA 6. MAPA DE APTITUD CLIMÁTICA UTILIZANDO LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ, RESPECTO A LA SUPERFICIE AGRÍCOLA ACTUAL.

## RESULTADO DE LA APTITUD CLIMÁTICA DEL CULTIVO DE MAÍZ

Para el escenario actual 91% del área utilizada para la agricultura se cumple por lo menos con una condición de temperatura o precipitación (77.6% en modalidad de temporal y el 13.4% en riego) y solo el 8.6% cumple con las dos condiciones (6.3% en temporal y el 2.3% en riego).

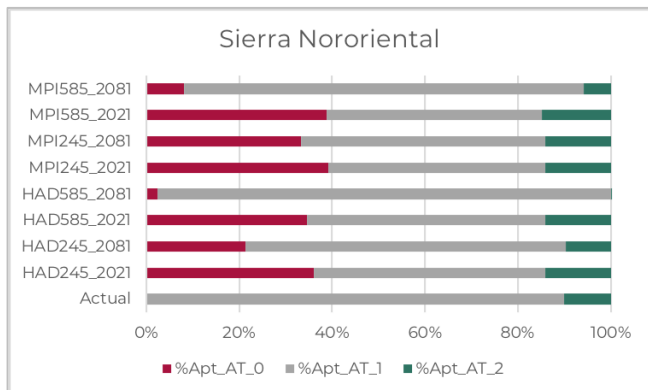
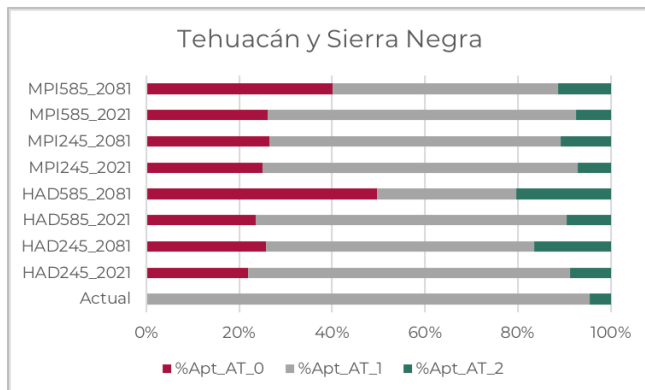
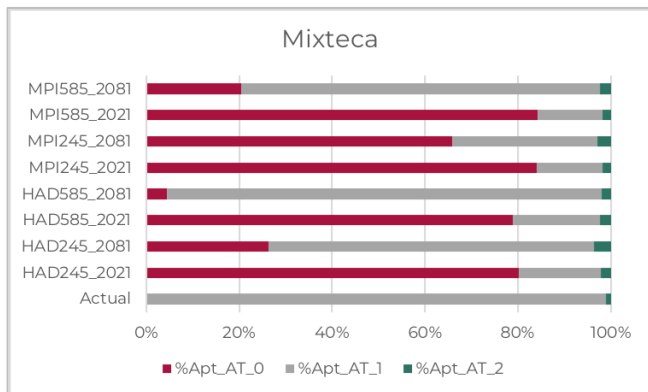
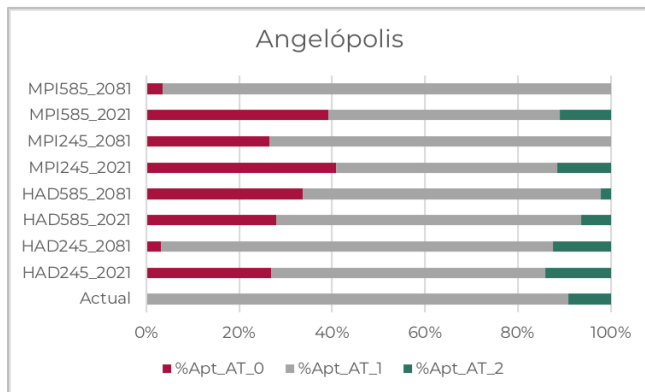
En la Tabla 3, se presentan los rendimientos promedio del maíz de temporal por región (datos promedio del SIAP de 2009 a 2020 (SIAP, 2022)) y el área ocupada por agricultura de temporal (uso de suelo y vegetación de INEGI 2021). En la Tabla 3, se puede observar que en la región de Serdán y Valles Centrales se tiene el mejor rendimiento y Sierra Negra el menor. Mientras que el área bajo la modalidad de temporal el mayor es la Mixteca y el menor es Valle Atlixco y Matamoros.

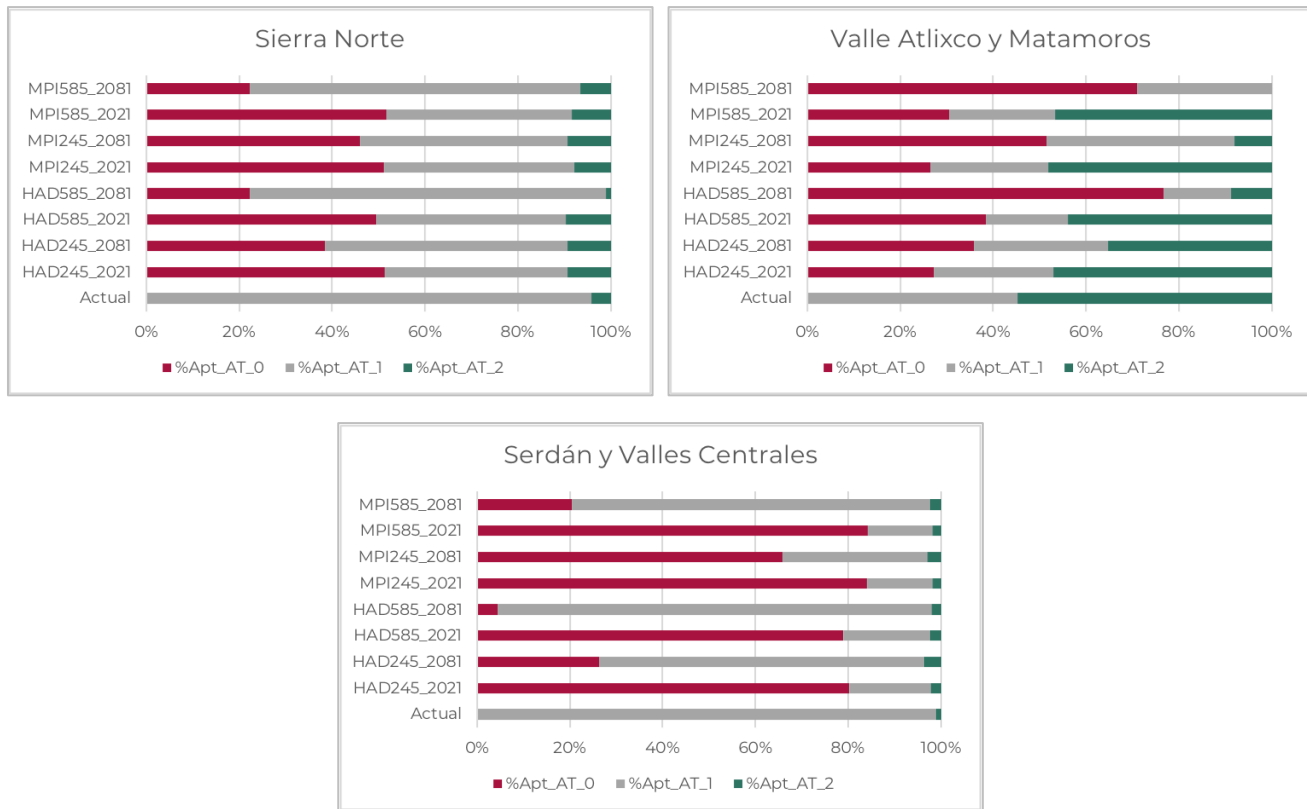
En la Figura 7, se presentan los resultados por región para el horizonte temporal cercano y lejano bajo el ssp245 y el ssp585 de los modelos de circulación general (MCG) HadGEM3 y MPI-ESM1.2 para las áreas de cultivo bajo modalidad de temporal.

En general para todas las regiones hay un aumento en las zonas donde no se va a presentar ninguna de las dos variables, esta disminución en aptitud puede estar acompañada de una baja en el rendimiento y también asociarse a un incremento en las pérdidas por eventos de desastre.

**TABLA 3. POR REGIÓN, ÁREA UTILIZADA POR AGRICULTURA DE TEMPORAL Y RIEGO (INEGI), PORCENTAJE DEL USO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (SIAP) Y EL RENDIMIENTO PROMEDIO POR REGIÓN DEL MAÍZ DE TEMPORAL Y RIEGO (SIAP)**

| REGIÓN                    | ÁREA RIEGO | ÁREA TEMPORAL | TOTAL ÁREA AGRÍCOLA | PORCENTAJE DEL ÁREA DE RIEGO USADA PARA MAÍZ | PORCENTAJE DEL ÁREA DE TEMPORAL USADA PARA MAÍZ | PROMEDIO RENDIMIENTO RIEGO | PROMEDIO RENDIMIENTO TEMPORAL |
|---------------------------|------------|---------------|---------------------|--|---|----------------------------|-------------------------------|
| Angelópolis               | 43,899     | 141,859       | 185,758             | 33.1   | 84.1  | 4.3                        | 1.8                           |
| Mixteca                   | 23,437     | 210,187       | 233,624             | 40.4   | 78.5  | 3.6                        | 0.8                           |
| Tehuacán y Sierra Negra   | 46,496     | 121,587       | 168,083             | 33.1   | 76.5  | 3.3                        | 0.6                           |
| Sierra Nororiental        | 0          | 132,905       | 132,905             | 0.0  | 48.9  | 0.0                        | 1.4                           |
| Sierra Norte              | 856        | 265,472       | 266,328             | 73.1   | 44.0  | 2.8                        | 1.3                           |
| Valle Atlixco y Matamoros | 55,723     | 86,110        | 141,833             | 14.7   | 56.6  | 3.7                        | 1.4                           |
| Serdán y Valles Centrales | 59,911     | 288,089       | 348,000             | 30.2   | 66.4  | 4.5                        | 1.9                           |





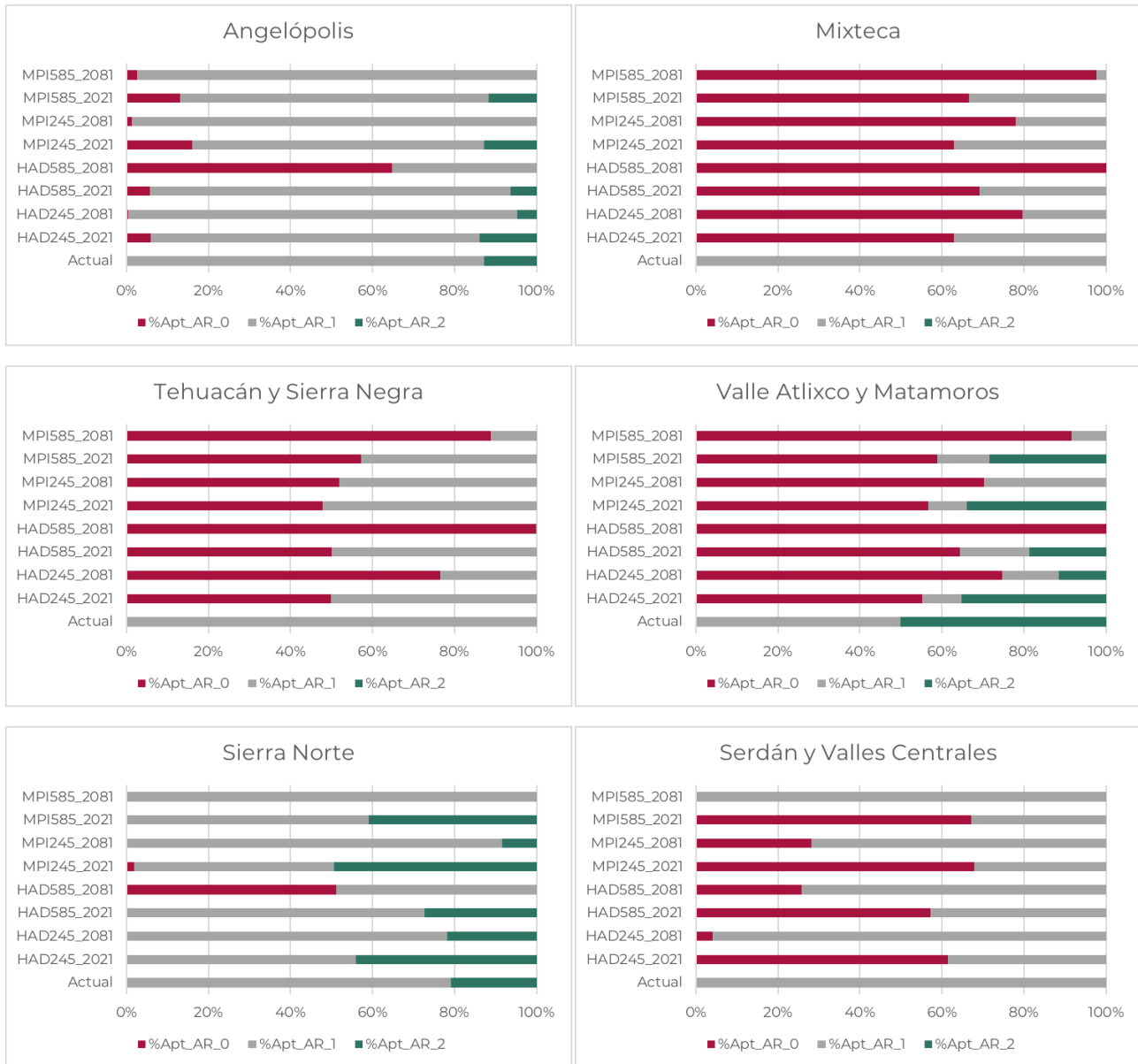
\*AT= Agricultura de Temporal, 0 Ninguna condición se cumple, 1 Se cumple una condición de Temperatura o Precipitación, 2 Cumple con las dos condiciones.

**FIGURA 7. PORCENTAJES DE CAMBIO EN LA APTITUD CLIMÁTICA PARA EL MAÍZ EN LAS ÁREAS DE USO DE AGRICULTURA DE TEMPORAL PARA LAS DISTINTAS REGIONES DE PUEBLA.**

En la Figura 8, se presentan los resultados por región para el horizonte temporal cercano y lejano bajo el ssp245 y el ssp585 de los modelos de circulación general (MCG) HadGEM3 y MPI-ESM1.2 para las áreas de cultivo bajo modalidad de riego. En general, para todas las regiones hay un aumento en las zonas donde no se va a presentar ninguna de las dos variables, en especial para la región Mixteca, Tehuacán y Sierra Negra, Serdán y Valles Centrales, y la región de Valle Atlixco y Matamoros. En la Región Nororiental de acuerdo con la capa de uso de suelo de vegetación de INEGI (2021) no se cuenta con áreas de agricultura de riego. La disminución en aptitud puede estar acompañada de una baja en el rendimiento y también asociarse a un incremento en las pérdidas por eventos de desastre.

Se deberán desarrollar estrategias para minimizar los impactos ambientales y analizar las opciones de expansión o intensificación agrícola. Se debe continuar con los apoyos y la inversión en regiones donde la producción es de temporal para promover estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para disminuir los impactos de este. Las estrategias deberán integrar distintas formas de

producción (ej. Agricultura de conservación, agroforestal, etc.), la migración de cultivos a variedades que soporten mejor las condiciones futuras y se deberá de hacer una planificación del uso de la tierra.



\*AT= Agricultura de Riego, 0 Ninguna condición se cumple, 1 Se cumple una condición de Temperatura o Precipitación, 2 Cumple con las dos condiciones.

**FIGURA 8. PORCENTAJES DE CAMBIO EN LA APTITUD CLIMÁTICA PARA EL MAÍZ EN LAS ÁREAS DE USO DE AGRICULTURA DE RIEGO PARA LAS DISTINTAS REGIONES DE PUEBLA**

## VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR AGRÍCOLA EN PUEBLA

Para el desarrollo de esta sección se tomaron dos problemáticas importantes a las cuales se enfrenta la agricultura a nivel global, son: inundaciones y estrés hídrico.

De acuerdo con los datos publicados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2022), el fenómeno que más causas declaratorias en Puebla son las nevadas, heladas y granizadas, seguidos por ciclones tropicales y lluvias, sequías, sismos, actividad volcánica, bajas temperaturas, lluvias severas e inundaciones fluviales, y temperaturas extremas (Figura 9).

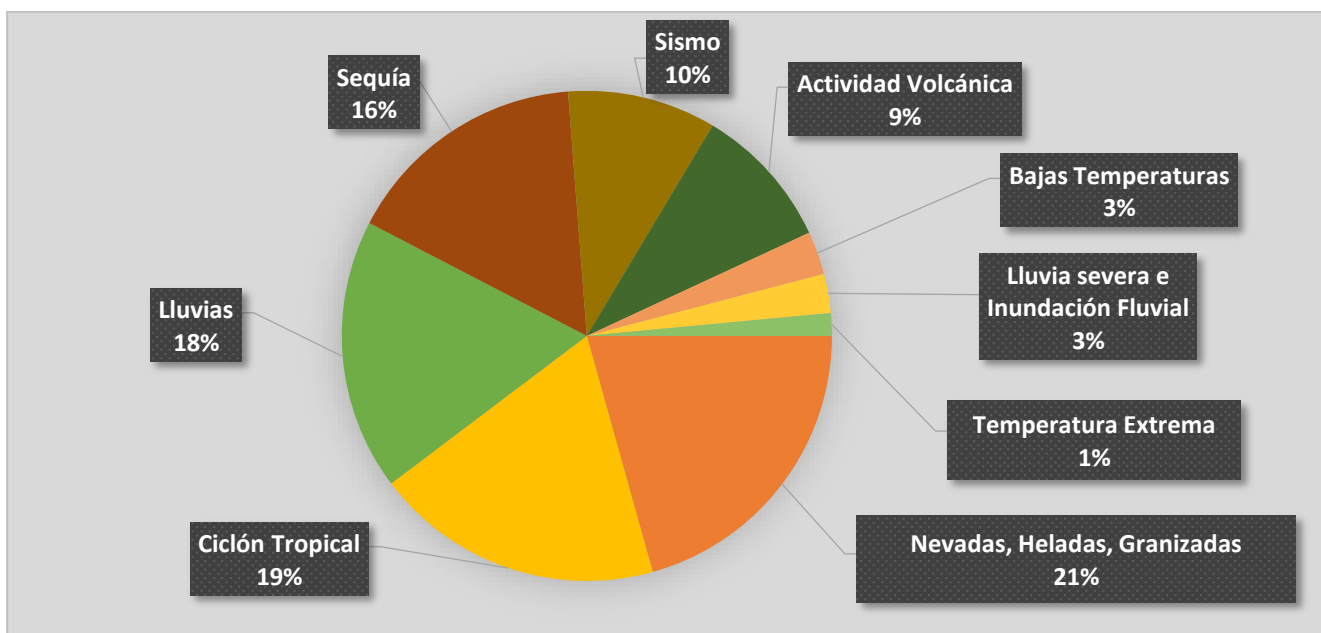


FIGURA 9. PORCENTAJE POR TIPO DE FENÓMENO DE DECLARATORIAS DE EMERGENCIA, DESASTRE O CONTINGENCIA CLIMÁTICA EN EL ESTADO DE PUEBLA.

Fuente: Elaboración propia con datos de CENAPRED, 2022.

Por el tipo de fenómeno, las granizadas no se cuentan como observaciones a largo plazo, y la comprensión del proceso del fenómeno es incompleta, y los modelos que permiten convección son limitados, los efectos actuales y futuros con cambio climático en las tormentas de granizo siguen siendo muy inciertos (Raupach et al. 2021), por lo que no se pudo tomar en cuenta para este estudio. Debido a que los cambios en los patrones de lluvia sí pueden ser aproximados con uso de índices como el de Lang y el de estacionalidad, se optó por modelar la vulnerabilidad ante estrés hídrico e inundaciones.

Es importante resaltar, que se utilizó la conceptualización de Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (INECC, 2019). La vulnerabilidad se define como el grado en que los sistemas pueden verse afectados adversamente por el cambio climático, dependiendo de si éstos son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos.

- **Exposición:** Es el carácter, magnitud y velocidad de cambio y variación del clima que afecta a un sistema en condiciones actuales y con cambio climático.
- **Sensibilidad:** Es el grado en que un sistema es afectado por el cambio y la variabilidad climática debido a las características que lo definen.
- **Capacidad adaptativa:** Se concentra en describir las capacidades institucionales con que se cuenta para disminuir los potenciales impactos de las amenazas relacionadas con el clima.

El análisis de las problemáticas se realizó bajo los principios de análisis de multicriterio. Todos los criterios utilizados en estas problemáticas tienen el mismo peso (Saaty, 1988).

## VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO

En México, el 49.2% del territorio está conformado por tierras secas, de estas el 0.2% son zonas hiperáridas, el 28.3% zonas áridas, el 23.7% zonas semiáridas y el 17.6% son zonas subhúmedas secas, las cuales se encuentran distribuidas en el centro y norte del país. En estos lugares la población alcanza los 22 millones de habitantes (CONABIO, 2017). Los diez estados mexicanos con mayor grado de aridez son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (SAGARPA, 2016).

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial, el estado de Puebla 85% de su territorio tiene un potencial de ser afectado por algún grado de sequía. Esto se debe a la variabilidad en la precipitación, la baja humedad del suelo, altas temperaturas y evapotranspiración de la vegetación en especial en zonas áridas y semiáridas de Puebla (SMADSOT, 2022). Este año 2022 el estado de Puebla se vio afectado por una sequía en 73 municipios (SDR, 2022). En la figura 10 se muestra el árbol jerárquico para la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

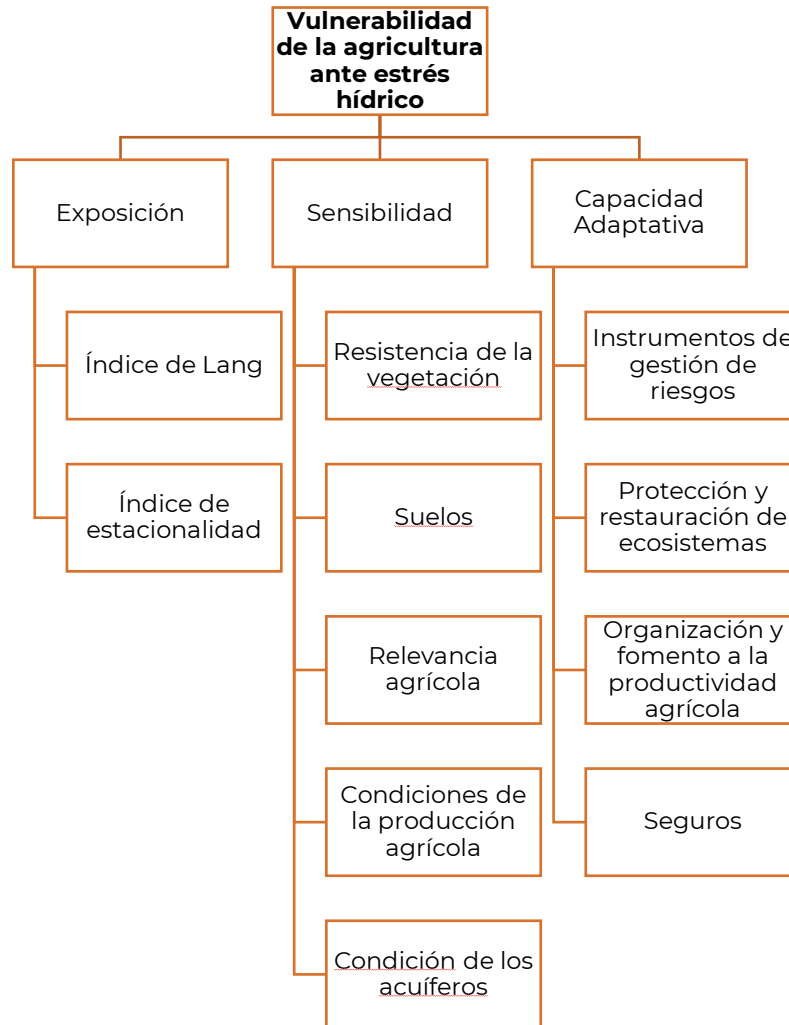


FIGURA 10. ÁRBOL JERÁRQUICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE EL ESTRÉS HÍDRICO.

## Metodología para calcular la vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

### *Exposición de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Para el cálculo de la exposición para la vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico se utilizaron dos criterios, el de condición de aridez y el índice de estacionalidad de la lluvia. Se usaron como insumos la precipitación acumulada, precipitación mensual y temperatura media mensual, actual y futura. Para los datos actuales se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1 (base de datos Harris et al. 2014); se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1km<sup>2</sup>) (Fick and Hijmans, 2017). Para los cálculos a futuro se utilizaron los escenarios de cambio climático seleccionados: HadGEM3 ssp245 (2021-



2040), HadGEM3 ssp245 (2081-2100), HadGEM3 ssp585 (2021-2040), HadGEM3 ssp585 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100) (WorldClim, 2020).

Para el cálculo de **precipitación acumulada** actual se descargaron los datos de los 12 meses del año, posteriormente se sumaron y se calculó el promedio para cada municipio del estado de Puebla. Para el cálculo futuro se obtuvo el promedio a nivel municipal para cada uno de los escenarios de cambio climático.

Para el cálculo actual de la variable **precipitación mensual** actual, se descargaron los datos de los 12 meses del año y se calculó el promedio para cada municipio del estado de Puebla. Para el cálculo futuro se obtuvo el promedio de precipitación para cada mes con la sumatoria de los 12 meses dividido entre 12, y se calculó el promedio a nivel municipal para cada uno de los escenarios de cambio climático seleccionados.

Para la **temperatura media** actual se descargaron los datos de los 12 meses del año, posteriormente se calculó el promedio para cada municipio del estado de Puebla. Para el cálculo futuro se obtuvo la sumatoria de temperatura máxima y mínima, dividido entre dos, se sumaron los resultados de los 12 meses del año y se dividieron entre 12, posteriormente se calculó un promedio a nivel municipal para cada uno de los escenarios de cambio climático seleccionados.

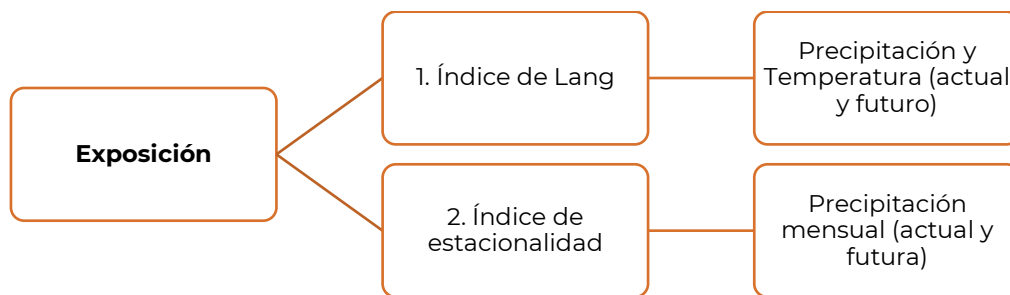


FIGURA 11. ÁRBOL JERÁRQUICO DE LA EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN ACTUAL Y FUTURA PARA LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO

### **Criterio 1. Índice de Lang**

La aridez puede evaluarse con base en variables climáticas (como los índices de aridez, en este caso el de Lang), o, a partir del número de días que el balance de agua permite el crecimiento de las plantas. Más allá de la clasificación de las zonas áridas se debe de considerar la duración y el periodo de la estación de lluvias (UNESCO, 1982), ya que esto tiene una influencia directa sobre las actividades primarias ya que permite tomar medidas para el mejor aprovechamiento de las condiciones climáticas.

Para este criterio se utilizó el índice de aridez de Richard Lang el cual estableció en 1915 una clasificación basada en el volumen de la precipitación anual (acumulada) y la temperatura promedio. Este Índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región (Sánchez y Garduño, 2008).

El índice de Lang ( $IL$ ) se basa en el factor de la razón entre la precipitación y la temperatura, de los cuales se proponen seis clasificaciones. El factor ( $L$ ) se obtiene con la relación entre la precipitación media anual ( $P$ ) en mm y la temperatura media anual ( $T$ ) en °C, usando la siguiente fórmula:

$$L = P/T$$

donde:

$L$ : factor de Lang

$P$ : Precipitación media anual

$T$ : Temperatura media anual

La ventaja del Índice de Lang es que define clases más bajas de aridez, tal es el caso de la clasificación de “desértico” seguida de la clasificación de “árido”, mientras que en otros índices la clasificación más extrema es la de “árido” (como el de Martonne, Thornthwaite y Emberger). El Índice de Lang detalla de mejor manera la clasificación de aridez y por tanto no subestima los valores (Neira, 2006).

Insumos:

- WorldClim (2020). WorldClim version 2.1 climate data for 1970-2000. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- WorldClim (2020). Future climate, 30 seconds spatial resolution. [https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim30s.html](https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html)
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>

## **Criterio 2. Índice de estacionalidad**

La precipitación se presenta con un patrón de estacionalidad, se puede obtener al dividir los meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez et al., 2008).

Para representar la estacionalidad se utilizó el índice de estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año. Los valores altos de este índice indican que la precipitación se concentra en menos meses, por lo que el estrés hídrico puede presentarse en mayores meses del año.

Insumos:

- WorldClim (2020). WorldClim version 2.1 climate data for 1970-2000. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- WorldClim (2020). Future climate, 30 seconds spatial resolution. [https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim30s.html](https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html)
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>

### *Sensibilidad de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Para la variable de sensibilidad se utilizaron cinco criterios resistencia de la vegetación, suelos, relevancia agrícola, condiciones de la producción agrícola y condición de los acuíferos.

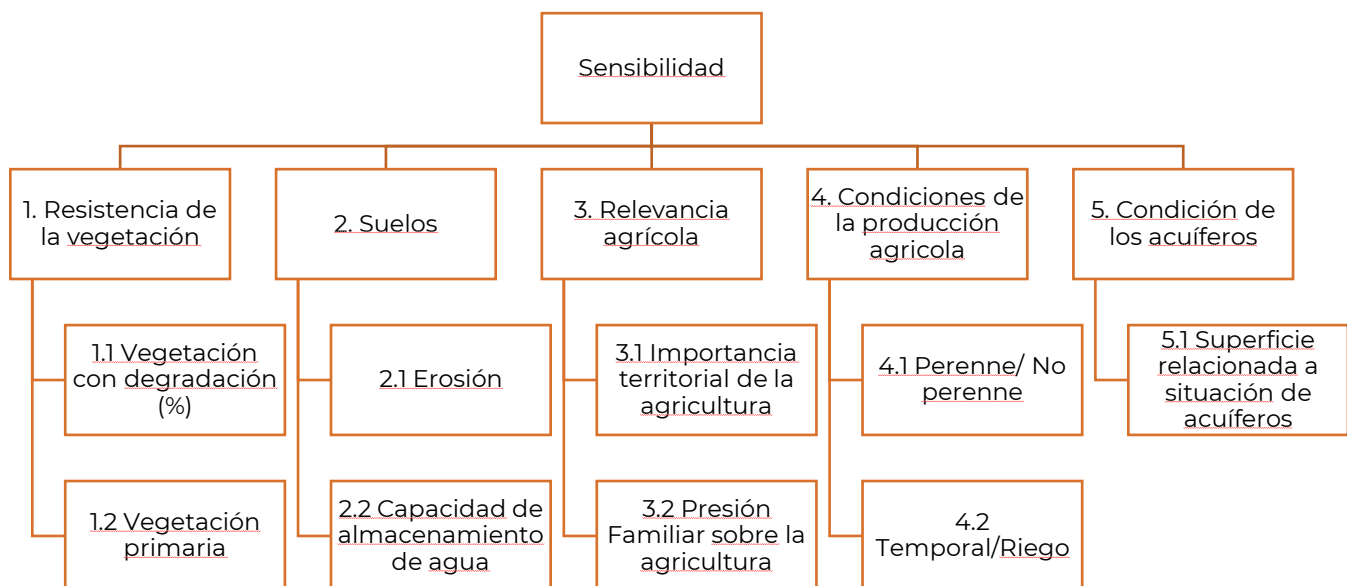


FIGURA 12. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE SENSIBILIDAD PARA LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO.

## **Criterio 1. Resistencia de la Vegetación**

Los usos predominantes del suelo en zonas áridas son el pastoreo y la producción de alimentos de subsistencia (FAO, 2007; Granados-Sánchez et al., 1998). La vegetación en estas zonas puede tener mucha resistencia a condiciones adversas, pero no está exenta del mal manejo y la eliminación o pérdida de la vegetación puede incrementar los riesgos de erosión y degradación de suelos. Esto puede provocar cambios estructurales en el ecosistema, y en su diversidad florística (Molina-Guerra et al., 2013) y con ello los bienes y servicios ecosistémicos que proveen. Para representar este criterio se utilizaron como variables la vegetación con degradación y la cobertura de vegetación primaria.

### Variable 1.1 Vegetación con degradación

Para el cálculo de la **vegetación con degradación** se tomaron las subclases de vegetación primaria y secundaria de la Serie VII de uso de suelo y vegetación de (INEGI, 2017), se sobrepuso con la capa de degradación y se calculó el porcentaje relativo a la superficie total del municipio.

### Variable 1.2 Vegetación primaria

Para la presencia de **vegetación primaria** se tomaron las subclases de vegetación primaria de la Serie VII.

de uso de suelo y vegetación de INEGI, se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

Insumos:

- INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- SEMARNAT, Dirección de Geomática, (2004); Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/degra250kgw.html>

## Criterio 2. Suelos.

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable, al ser difícil de recuperar una vez erosionado (Cardoza *et al.*, 2006). El suelo es el soporte de la vegetación, la infraestructura, el hábitat de la biodiversidad, regulador del ciclo hidrológico, es la base productiva de la agricultura, la producción forestal y la ganadería (Calle y Muygueitio, 2015).

### Variable 2.1 Erosión de suelos.

Para la variable de **erosión** se calculó el porcentaje municipal con algún tipo de erosión, se consideraron los polígonos de erosión eólica e hídrica.

### Variable 2.2 Capacidad de almacenamiento de agua

Para la variable de **capacidad de almacenamiento de agua** se extrajo la información de la carta edafológica la textura de suelo y se asoció al potencial de retención, según las siguientes características:

| TEXTURA | TIPO DE SUELO | RETENCIÓN DE AGUA |
|---------|---------------|-------------------|
| Fina    | Arcilloso     | Alta              |
| Media   | Limoso        | Media             |
| Gruesa  | Arenoso       | Baja              |

Se calculó el porcentaje de potencial de retención municipal y se ponderó el de mayor superficie. Se asignaron las clases de la columna retención de agua, alta, media y baja.

### Insumos:

- INEGI (2014). Conjunto de datos vectoriales Edafológico. Escala 1:250000. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- INEGI (2014). Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004223>

### **Criterio 3. Relevancia Agrícola**

La demanda alimentaria generada por el aumento de la población puede provocar que se degraden las tierras por el mal manejo de estas. Factores como la importancia territorial agrícola y la presión familiar sobre la tierra tiene influencia sobre cómo se usa y aprovecha la tierra. Esta presión puede agravarse si se agrega un estresor como el déficit agua.

#### Variable 3.1 Importancia territorial agrícola.

Para el cálculo de **importancia territorial agrícola** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal para obtener los datos de unidades de producción agrícola y las hectáreas que laboran. Además de los datos del SIAP para obtener el dato de valor de producción entre el volumen de producción.

#### Variable 3.2 Presión familiar sobre la tierra.

Para la **presión familiar sobre la tierra** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener el número de dependientes de los productores agrícolas.

Insumos:

- INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal:  
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>
- SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola:  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

### **Criterio 4. Condiciones de la producción agrícola**

Para el cálculo de este criterio se utilizaron los datos del SIAP para obtener la información sobre el tipo de cultivos (perenne o no perenne) y el área de superficie sembrada. Así como la información del tipo de modalidad en que lo cultivan (Temporal o Riego) y se calcularon las proporciones por municipio.

#### Variable 4.1 Tipo de Cultivo (perenne o no perenne).

Los cultivos perennes tienen ciclos más largos ya que su periodo vegetativo puede extenderse por más de 25 años, por lo que una vez realizada la siembra pueden obtenerse varias cosechas (estas pueden ser cíclicas o continuas). Esto se da por las

características de sus tallos los cuales son más duros y así les permite soportar condiciones cambiantes del medio ambiente y producir mayores cantidades de semillas absorbiendo los nutrientes y agua del suelo (SIAP, 2018c). Por ello la sensibilidad ante evento de estrés hídrico es menor.

#### Variable 4.2 Modalidad de producción Temporal o Riego

La producción bajo riego tiene una menor dependencia sobre el clima para obtener el recurso hídrico (Esparza, 2013). Por ello se obtuvo la información del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del SIAP de la modalidad de producción por municipio y se calculó la proporción. Entre mayor sea el área bajo riego menos sensible es la producción al estrés hídrico.

Insumos:

- SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

#### **Criterio 5. Condición de acuíferos**

Los acuíferos pueden usarse para mitigar los efectos de las sequías, cuando las sequías afectan la disponibilidad de agua superficial, el agua subterránea puede convertirse en la fuente principal de abastecimiento ya que tiene menos pérdidas por evaporación y posee amplia distribución espacial (Guevara-Polo, 2021). Sin embargo, si el acuífero se encuentra sobreexplotado incrementa la sensibilidad ante la problemática.

#### Variable 5.1 Superficie relacionada a situación de acuíferos

Se unió la capa de disponibilidad de agua en acuíferos con los municipios de Puebla, se asignó valor 1 a los municipios con acuíferos sin disponibilidad.

Insumos:

- CONAGUA, (2020). Comisión Nacional del Agua – Subdirección General Técnica. Disponibilidad de los acuíferos 2020. Consulta septiembre 2022. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=mapa>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>

## Capacidad Adaptativa de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico

Para la construcción de la capacidad adaptativa se utilizaron cuatro criterios instrumentos de gestión de riesgo, protección y restauración de ecosistemas para prevenir sequías, organización y fomento agrícola, y seguros.

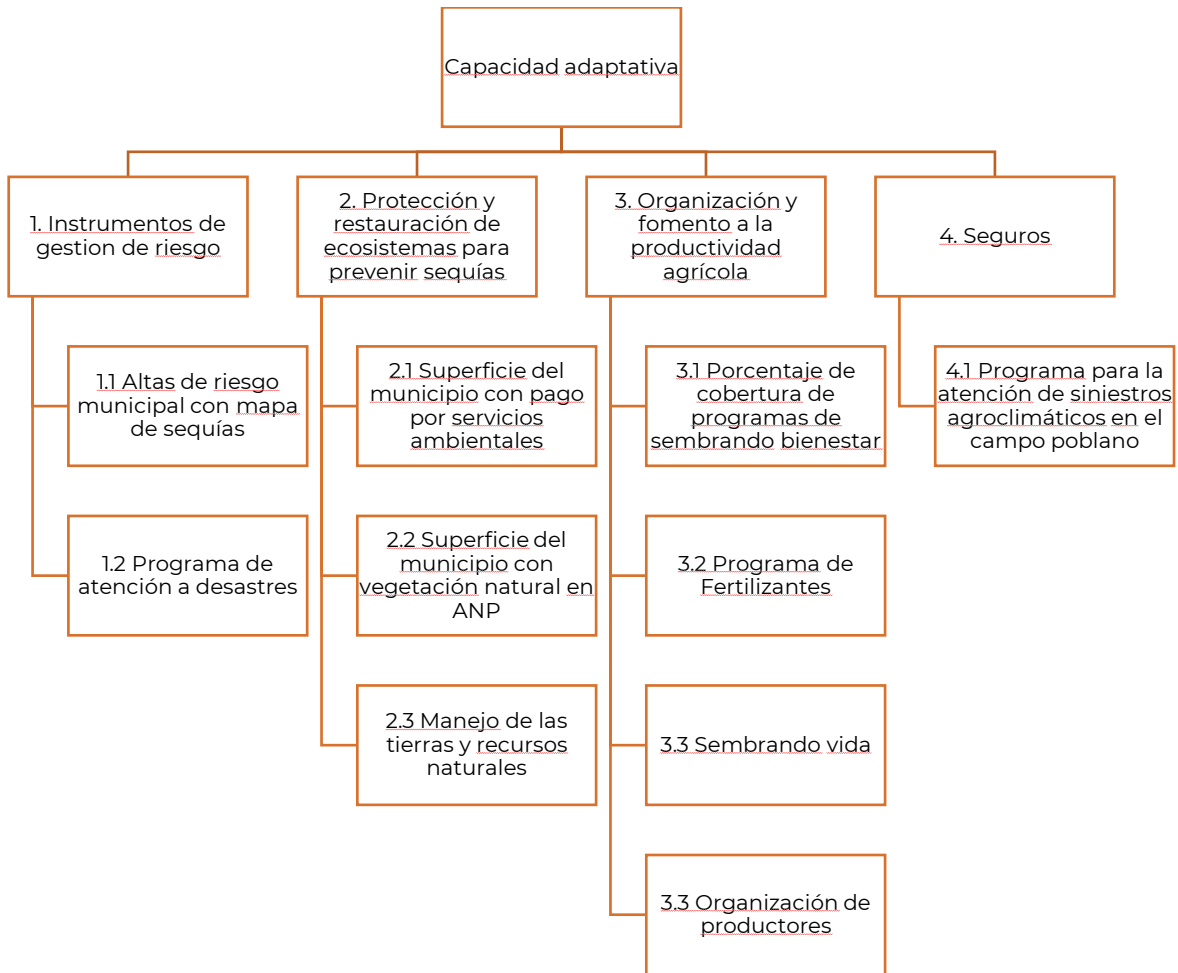


FIGURA 13. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO

### Criterio 1. Instrumentos para la gestión de riesgos

La gestión del riesgo da a conocer los peligros que pueden presentarse ante la variabilidad climática y el cambio climático, y además se deben de integrar los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados (Ulloa, 2011). Por ello este criterio se usaron dos insumos, los atlas de riesgo municipal, y los programas de atención a desastres.



### Variable 1.1 Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por sequía.

Los **atlas de riesgo municipal** son una herramienta que apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a sequías en el municipio y la afectación de la población. Se asignaron valores 0, 1 y 2, donde:

- 0 - Indica que no tiene atlas de riesgo municipal.
- 1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no tiene mapa de sequía
- 2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y tiene mapa de sequía.

### Variable 1.2 Programas de atención a desastres.

Los **programas de atención a desastres** son un componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoquen afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SADER/SAGARPA, 2018). Se asignaron valores 0, y 1, donde:

- 0 - Indica que el municipio no ha tenido apoyo del Programa.
- 1 - Indica que el municipio sí ha tenido apoyo del Programa.

Insumos:

- CENAPRED (2010-2020). Cobertura de Atlas Municipales.  
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/cob-atlas-municipales.html>
- SADER (2018). Monto y número de hectáreas y/o unidades animales apoyadas de SAGARPA. Datos Abiertos:  
<https://datos.gob.mx/busca/dataset?organization=agricultura>

## **Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir sequías**

Los programas de conservación promueven el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y así contribuyen tanto al equilibrio y la continuidad de los procesos ecológicos, y la oferta de los servicios ecosistémicos. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (OEA, 2008).

## Variable 2.1 Superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales

Para la **superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio bajo el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

## Variable 2.2 Superficie del municipio con vegetación natural en ANP

Para la **Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas federales y estatales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio con alguna categoría de vegetación natural (primario o secundaria) en Áreas Naturales Protegidas (ANP), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

## Variable 2.3 Manejo de las tierras y recursos naturales

Para **el manejo de las tierras y recursos naturales**, se tomó en cuenta si el municipio contaba con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Puebla por medio del programa Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua.

### Insumos:

- INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)
- CONAFOR (2018). Pago por Servicios Ambientales. Disponible en: <https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/PSA>
- CONANP (2018). Áreas Naturales Protegidas. [http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato\\_SHAPE\\_ANPS.html](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato_SHAPE_ANPS.html)
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- SMADSOT (2019). Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua. <https://buscador.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/buscadornacional?buscador=Obras%20de%20Infraestructura%20Productiva%20para%20el%20Aprovechamiento%20Sustentable%20de%20Suelo%20y%20Agua&coleccion=5>

### **Criterio 3. Organización y fomento a la productividad agrícola**

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tecnológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sanitarias, integración vertical y horizontal (FAO, s/f).

#### Variable 3.1 Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola

**Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola**, se obtuvieron los datos a nivel municipal de los beneficiarios del programa llamado productores que reciben programa sembrando bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

#### Variable 3.2 Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes SADER

**Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes**, se obtuvo el porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos del programa de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

#### Variable 3.3 Programa de Bienestar (Sembrando Vida)

**Programa de Bienestar (sembrando vida)**, se obtuvieron por municipio el número de beneficiarios y del porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos de la Secretaría de Bienestar.

#### Variable 3.4 Organización de productores

**Organización de productores** el dato se obtuvo del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, y se obtuvieron los datos de las organizaciones que recibieron alguna capacitación.

Insumos:

- INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal:  
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>
- Padrón único de Beneficiarios. Beneficiarios de programas federales:  
<https://pub.bienestar.gob.mx/pub>

## **Criterio 4. Seguros**

Los seguros forman parte de la gestión de riesgos en la producción agropecuaria. Permiten gestionar los peligros inherentes en la cadena de valor alimentario, a estabilizar los ingresos agropecuarios y fomentan la inversión. Por ello derivan en un impacto positivo sobre la resiliencia y como consecuencia en el desarrollo económico (SHCP, 2017).

### Variable 4.1 Programa para la atención de siniestros agroclimáticos en el campo poblano

Se obtuvieron los datos a nivel municipal que habían sido apoyados por el seguro catastrófico de la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla por medio del Programa para la atención de siniestros agroclimáticos en el campo poblano.

Insumos:

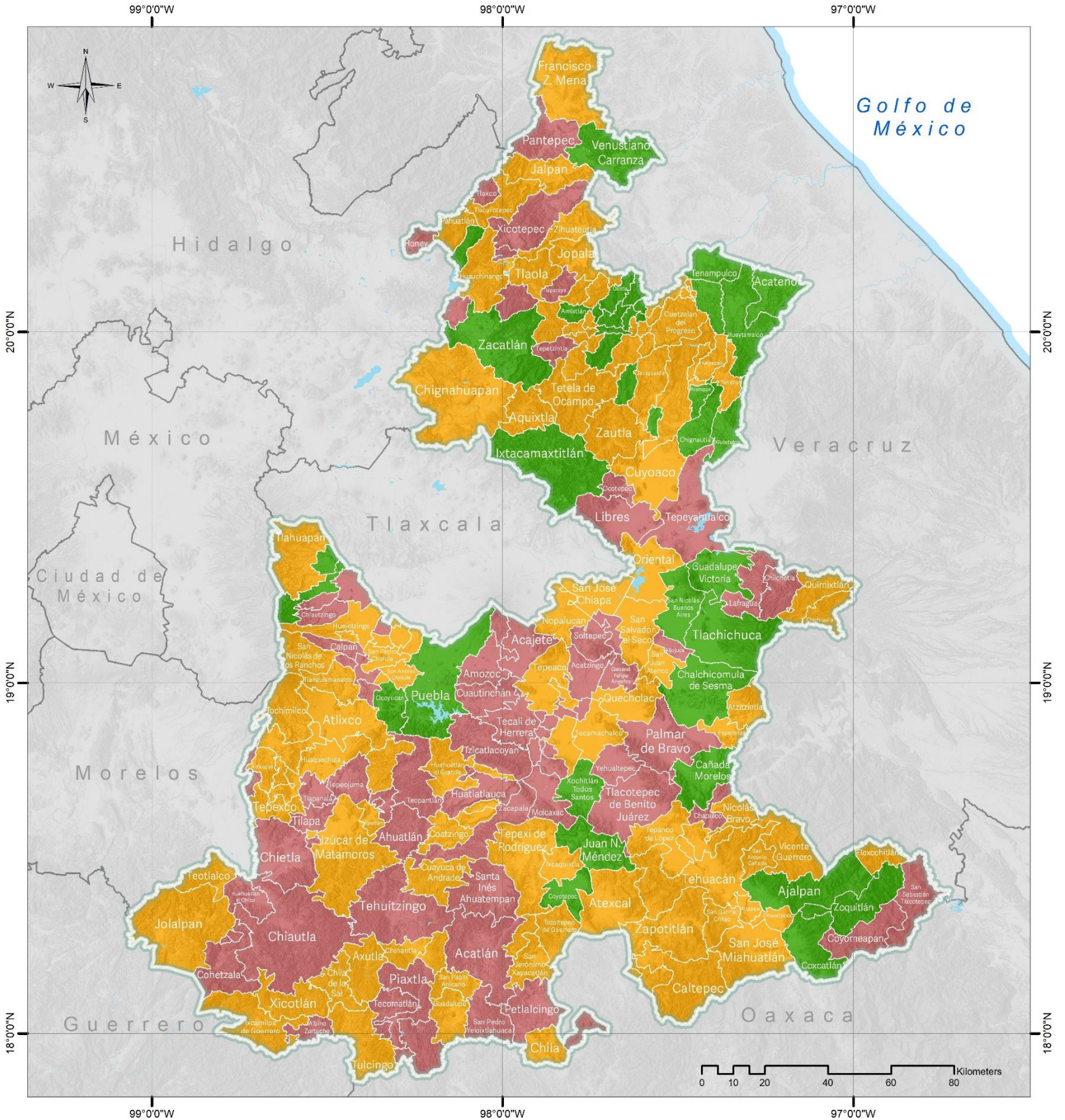
- Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla (2020). Seguro Catastrófico. Página de transparencia. Descarga:  
[https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151\\_1635986818\\_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx](https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151_1635986818_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx)

### Resultados de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico

El análisis de vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico arroja que 73 municipios de Puebla, de los 217, presentan vulnerabilidad alta: 16 en la región de Angelópolis, 18 en la región Mixteca, 5 en la Sierra Negra, 9 en la Sierra Norte, 12 en el Valle de Atlixco y 13 en el Valle de Serdán.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 068);
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 069);
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 070);
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 071).



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico**

**Clasificación**

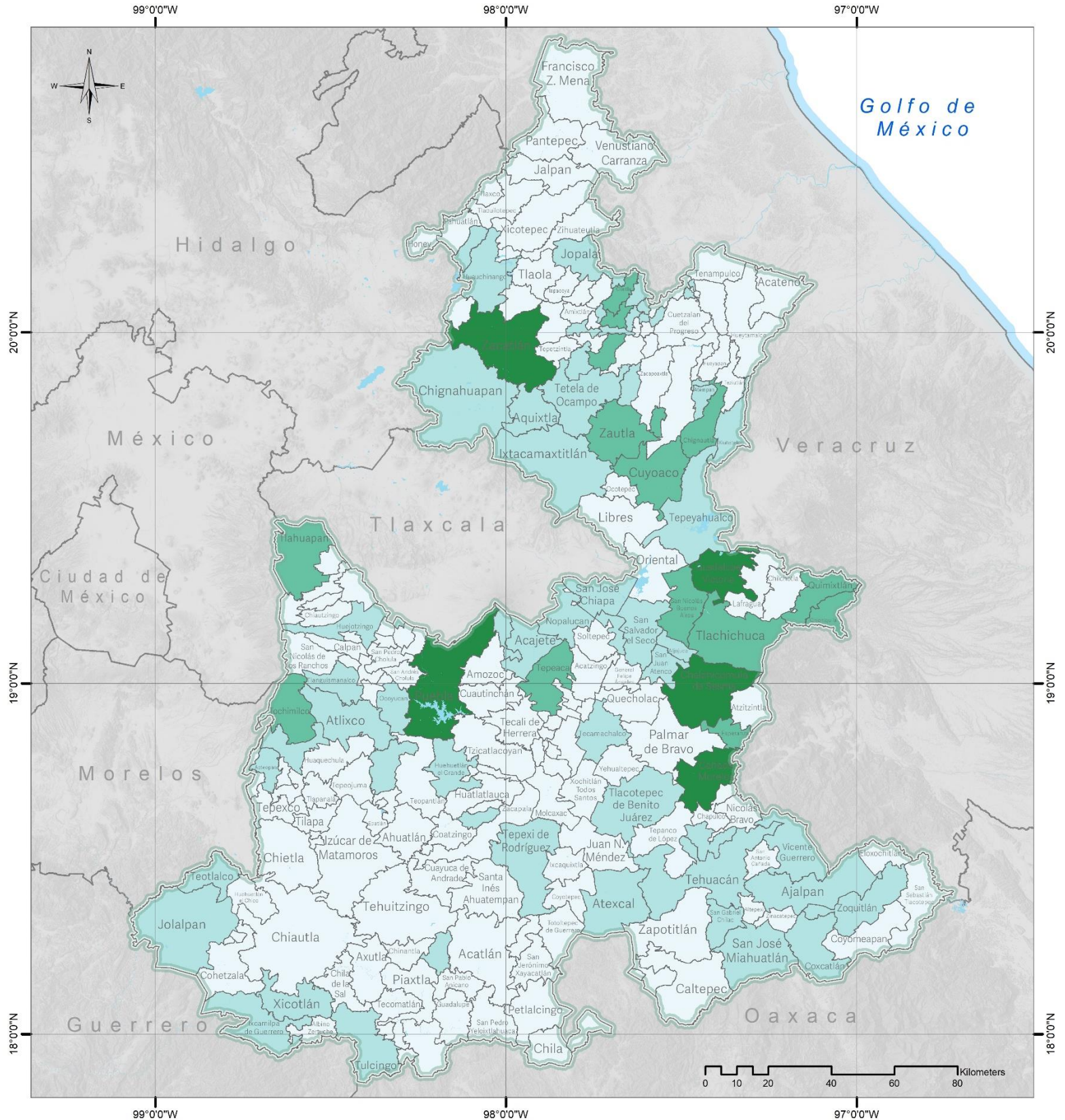
- Alta
- Media
- Baja



**M068. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

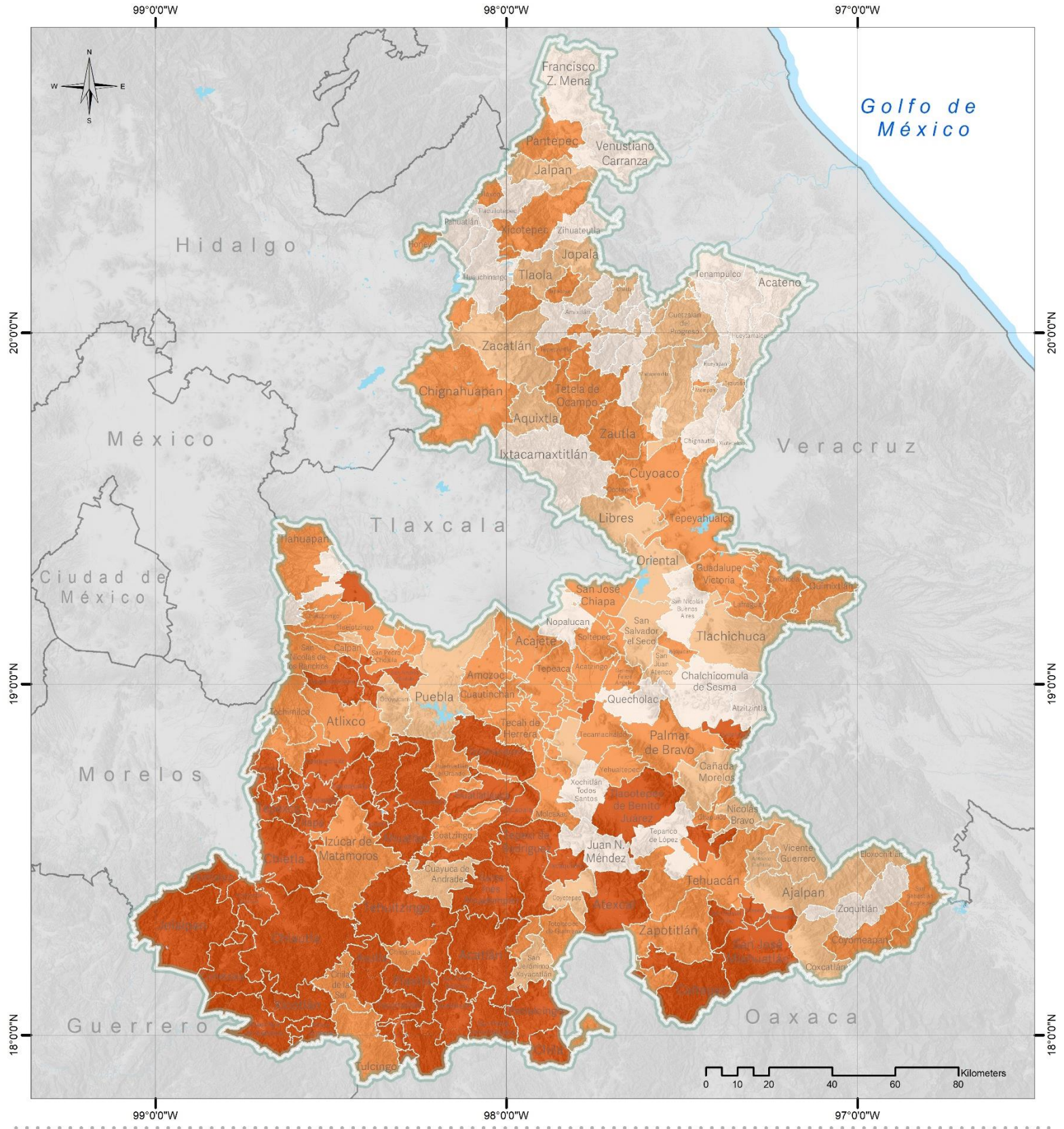
**Capacidad adaptativa**



**M069. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad adaptativa**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

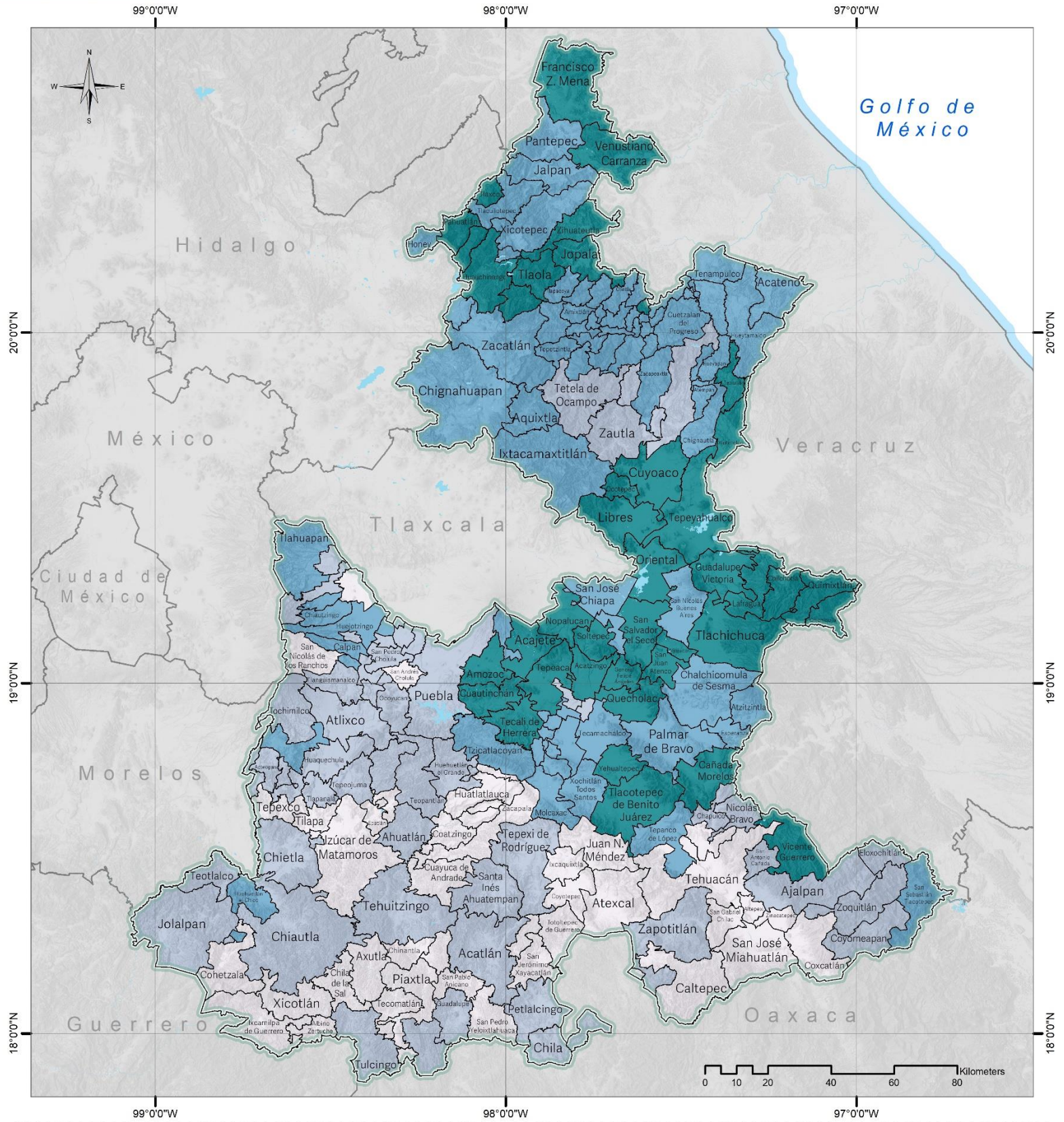
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M070. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M071. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



## *Resultado región Angelópolis de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Los resultados se presentan en los mapas: La vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico, Región Angelópolis (Mapa 072); la exposición actual de los municipios ante la problemática, Región Angelópolis (Mapa 073); la capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática, Región Angelópolis (Mapa 074); y, la sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 075). Los municipios más vulnerables en la región Angelópolis son: Acajete, Amozoc, Atoyatempan, Calpan, Cuautichán, Chiautzingo, Mixtla, Nealtican, San Felipe Teotlalcingo, San Martín Texmelucan, Santo Tomás Hueyotlipan, Tecali de Herrera, Tepatlaxco de Cuauhtémoc, Tlaltenango, y Tlanepantla.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. A manera de ejemplo en la gráfica a continuación (figura 14) se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSPs utilizados en este estudio. Para la mayoría de los municipios de la región Angelópolis, podemos observar que la vulnerabilidad proyectada con el HadGEM3 es menor a la proyectada por el MPI-ESM1.2, excepto para los municipios de Domingo Arenas, Juan C Bonilla, Nopalucan, Ocoyucan, Puebla, San Matías Tlalancaleca, y San Salvador el Verde.

En mapas (Mapa 072 y 077), se observa que varios de los municipios altamente vulnerables pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio. Se presentan estos municipios para facilitar la toma de decisiones, ya que la incertidumbre puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales. Por principio precautorio se muestran estos municipios con aumento, de esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas ante estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos. Los resultados se presentan en los mapas siguientes:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico, (Mapa 072).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 073).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 074).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 075)
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 077).

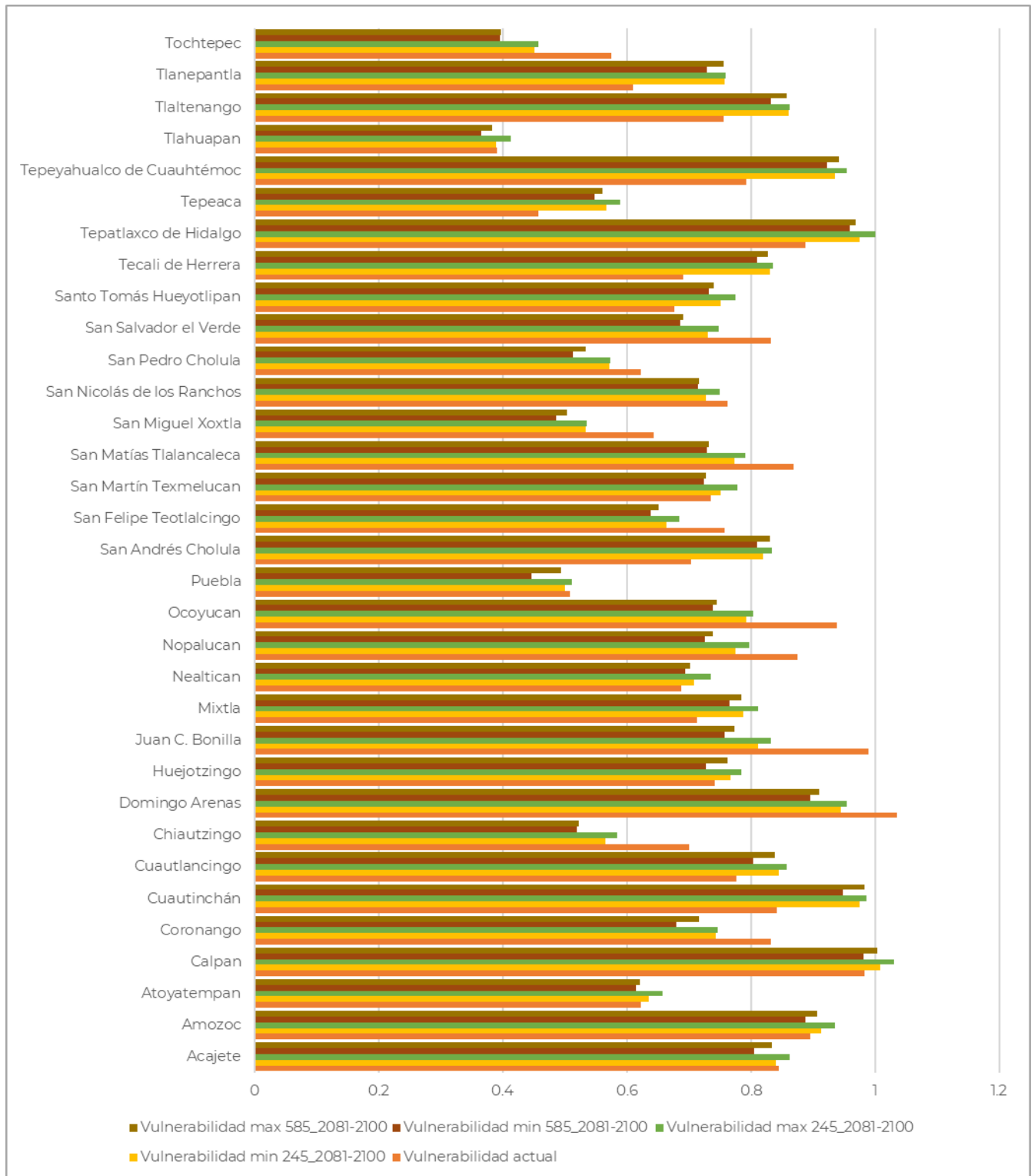
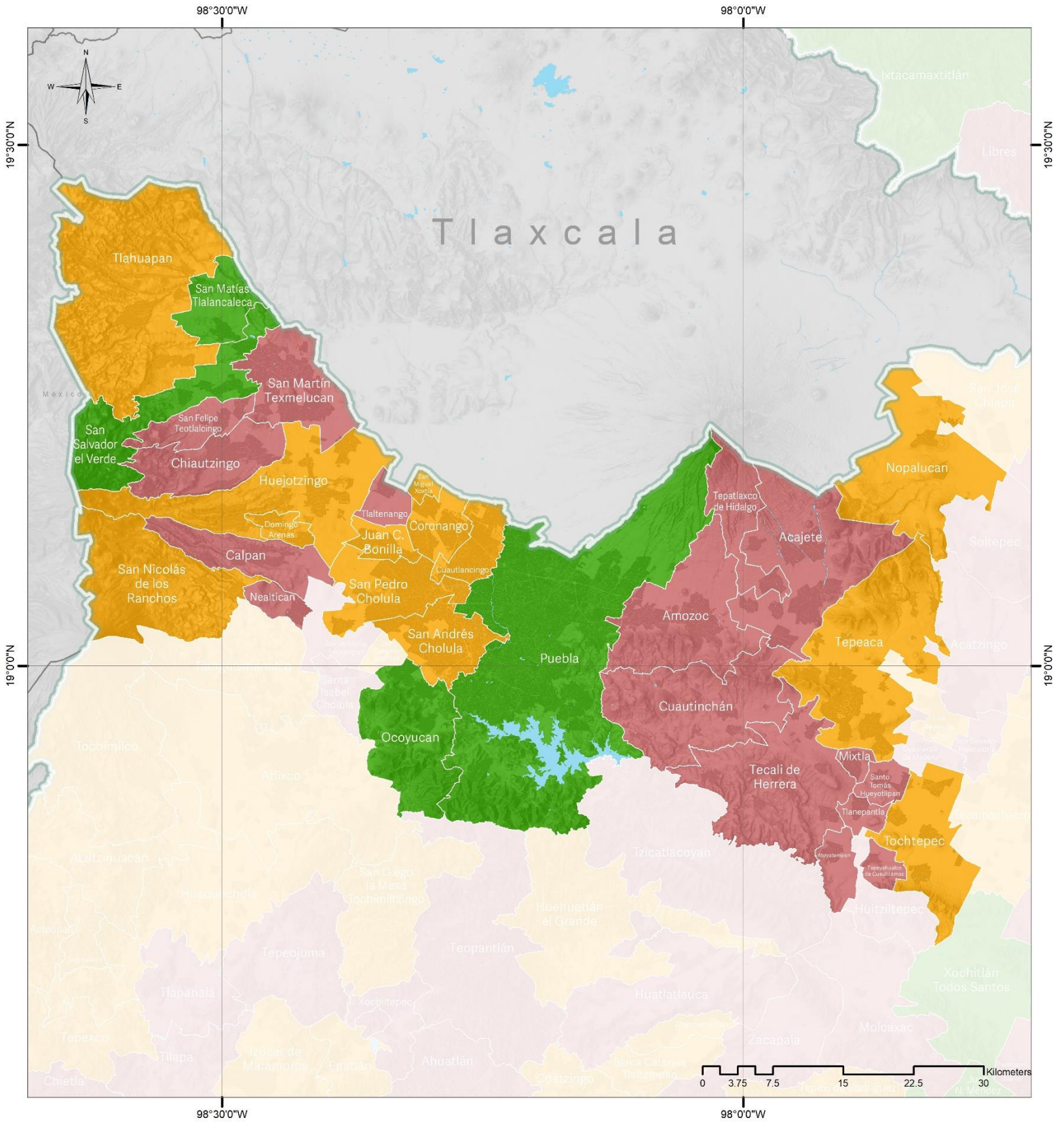


FIGURA 14. GRÁFICA DE LA REGIÓN ANGELÓPOLIS: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

\*HAD es el modelo HadGEM3; MPI es el modelo MPI-ESM1.2



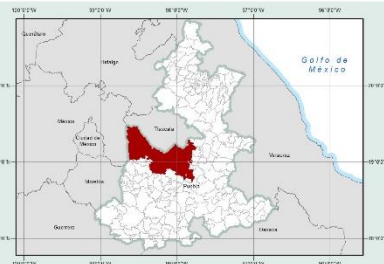
**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico**

**Clasificación**

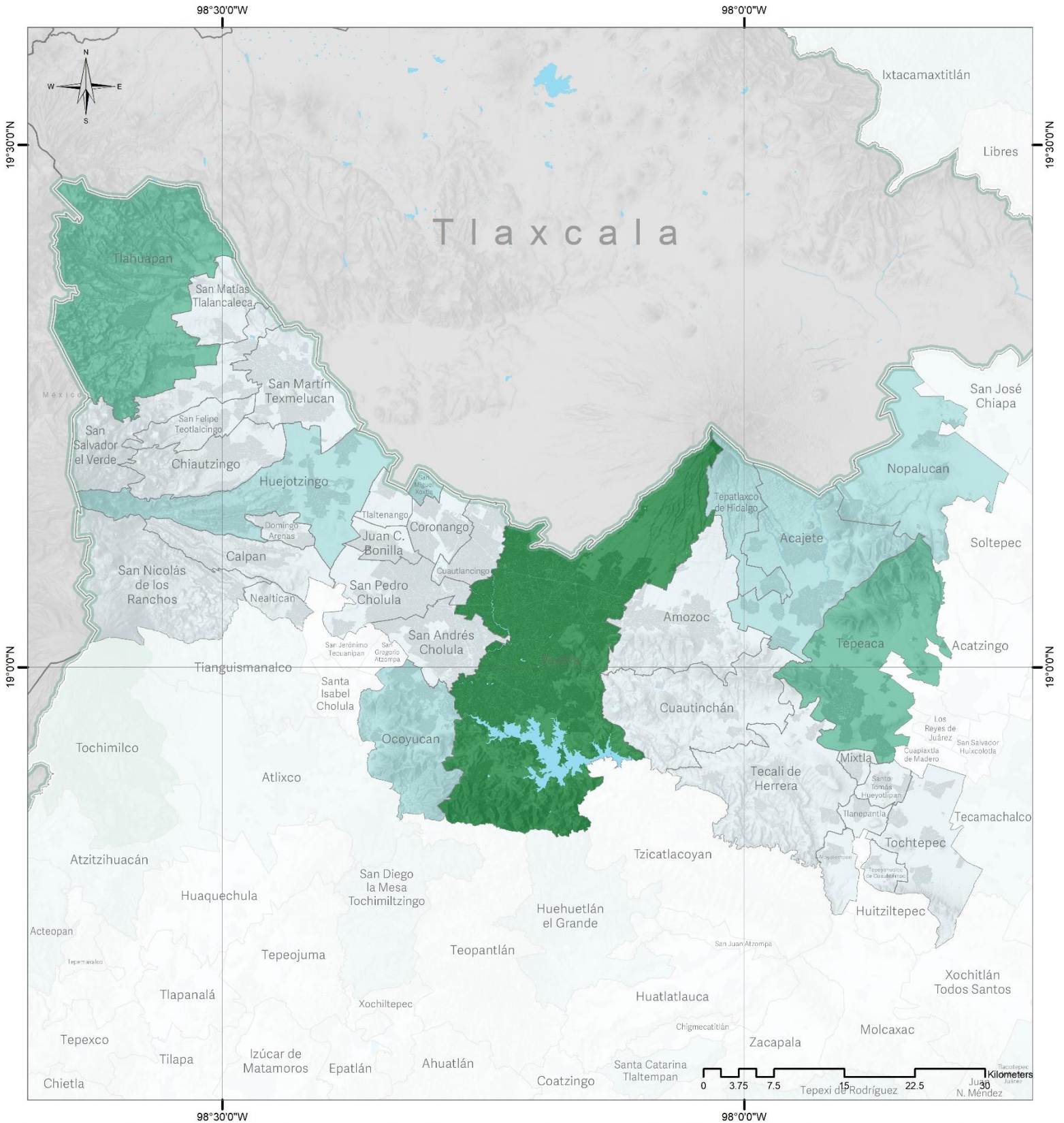
- Alta
- Media
- Baja



**M072. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico.**  
**Región Angelópolis**

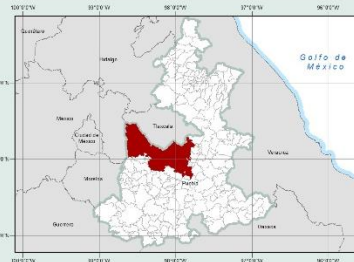
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

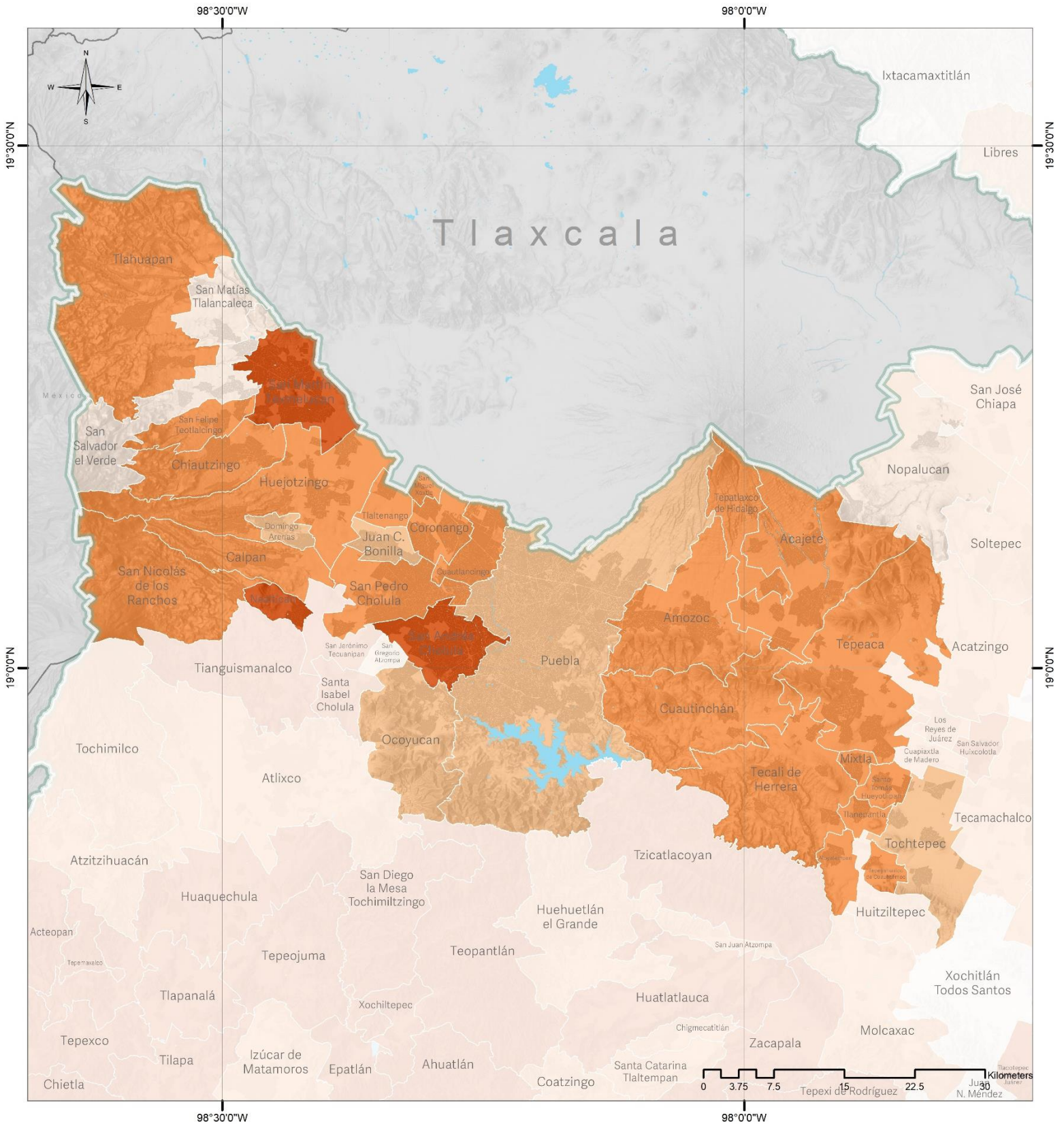
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M073. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad Adaptativa**  
**Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

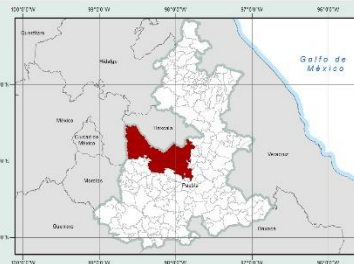
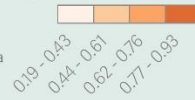
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

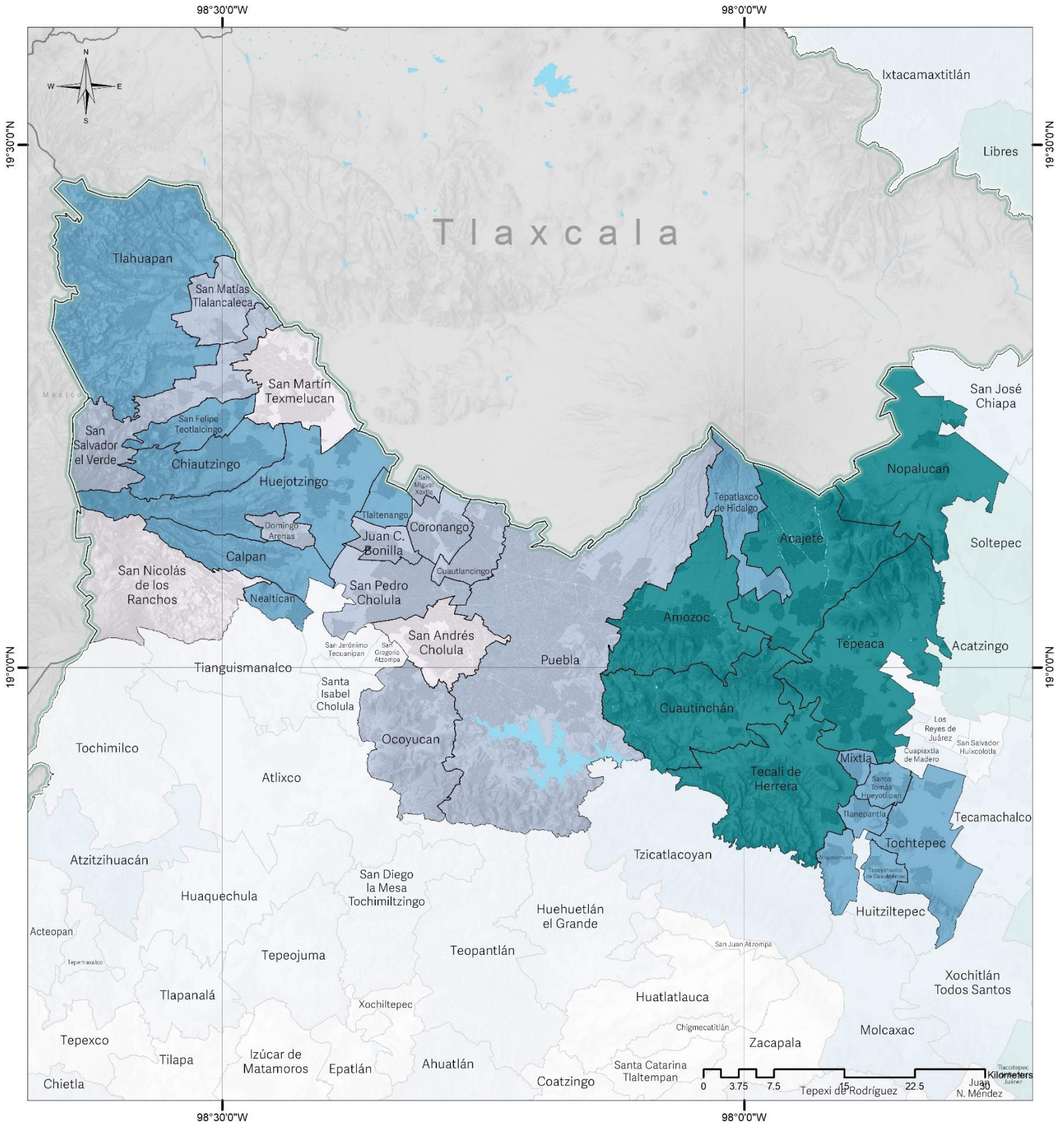
**Exposición actual**







**M074. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**  
**Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Sensibilidad**



**M075. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**

**Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

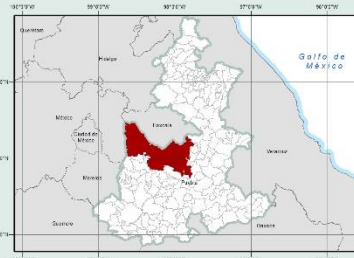
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

- Vulnerabilidad futura**
- 0
  - A



**M077. Vulnerabilidad Futura  
Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Mixteca de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región Mixteca son: Acatlán, Albino Zertuche, Cohetzala, Chiautla, Huatlatlauca, Huehuetlán el Chico, Huitziltepec, La Magdalena Tlatlauquitepec, Molcaxac, Petlalcingo, Piaxtla, San Miguel Ixitlán, San Pedro Yeloixtlahuaca, Santa Inés Ahuatempan, Tecamatlán, Tehuitzingo, Tzicatlacoyan y Zacapala.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. A manera de ejemplo en los mapas siguientes se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSP utilizados en este estudio. En la región Mixteca podemos observar que los modelos presentan un rango amplio en cuestión de los resultados de la vulnerabilidad futura. En algunos municipios el modelo MPI-ESM1.2 presenta un aumento, mientras que el HadGEM3 presenta una disminución (ej. Acatlán, Zacapala). También se presenta el caso al revés donde el HadGEM3 presenta el aumento mientras que el modelo MPI-ESM1.2 una disminución como en el municipio de Cohetzala, Cuayuca de Andrade, entre otros.

En los mapas 078 y 083, se observa que varios de los municipios altamente vulnerables pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio. Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones (como se muestra en la gráfica anterior), por principio precautorio en la figura 15 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos. En los resultados se presentan en los mapas siguientes:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 078).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 079).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 080).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 081).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 083)



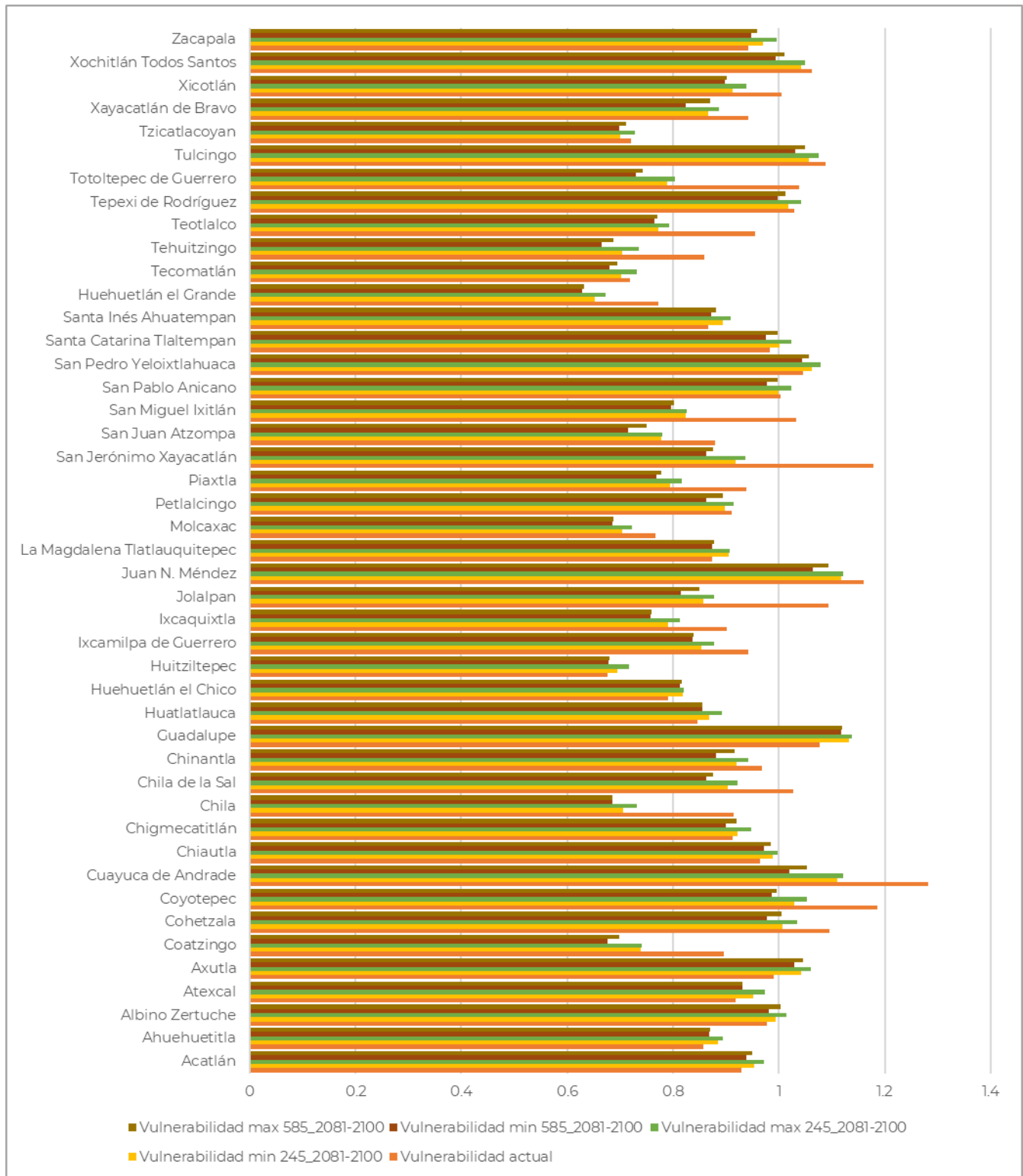
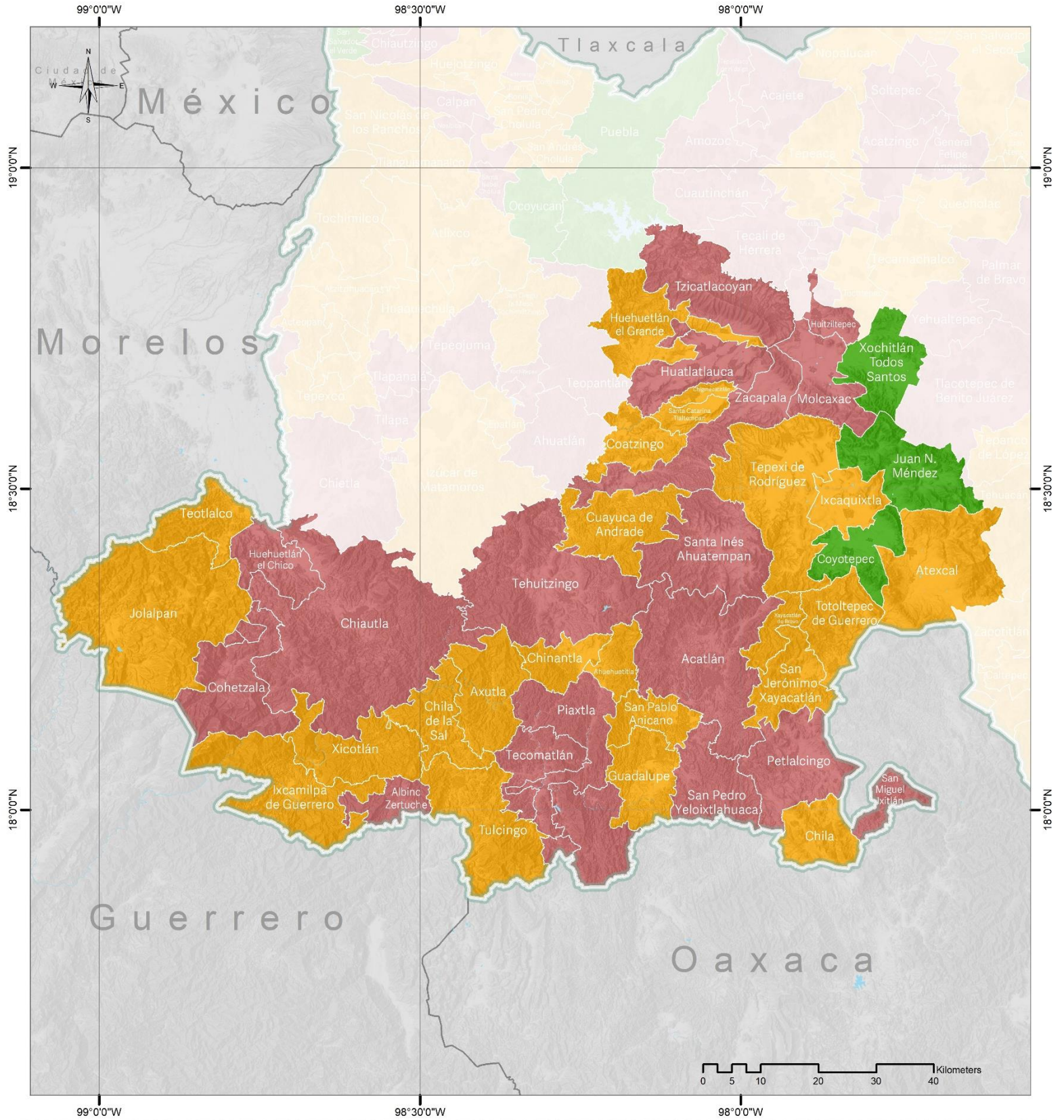


FIGURA 15. GRÁFICA DE LA REGIÓN MIXTECA: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

\*HAD es el modelo HadGEM3; MPI es el modelo MPI-ESM1.2.



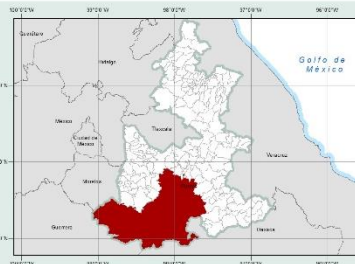
**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico**

**Clasificación**

- Alta
- Media
- Baja

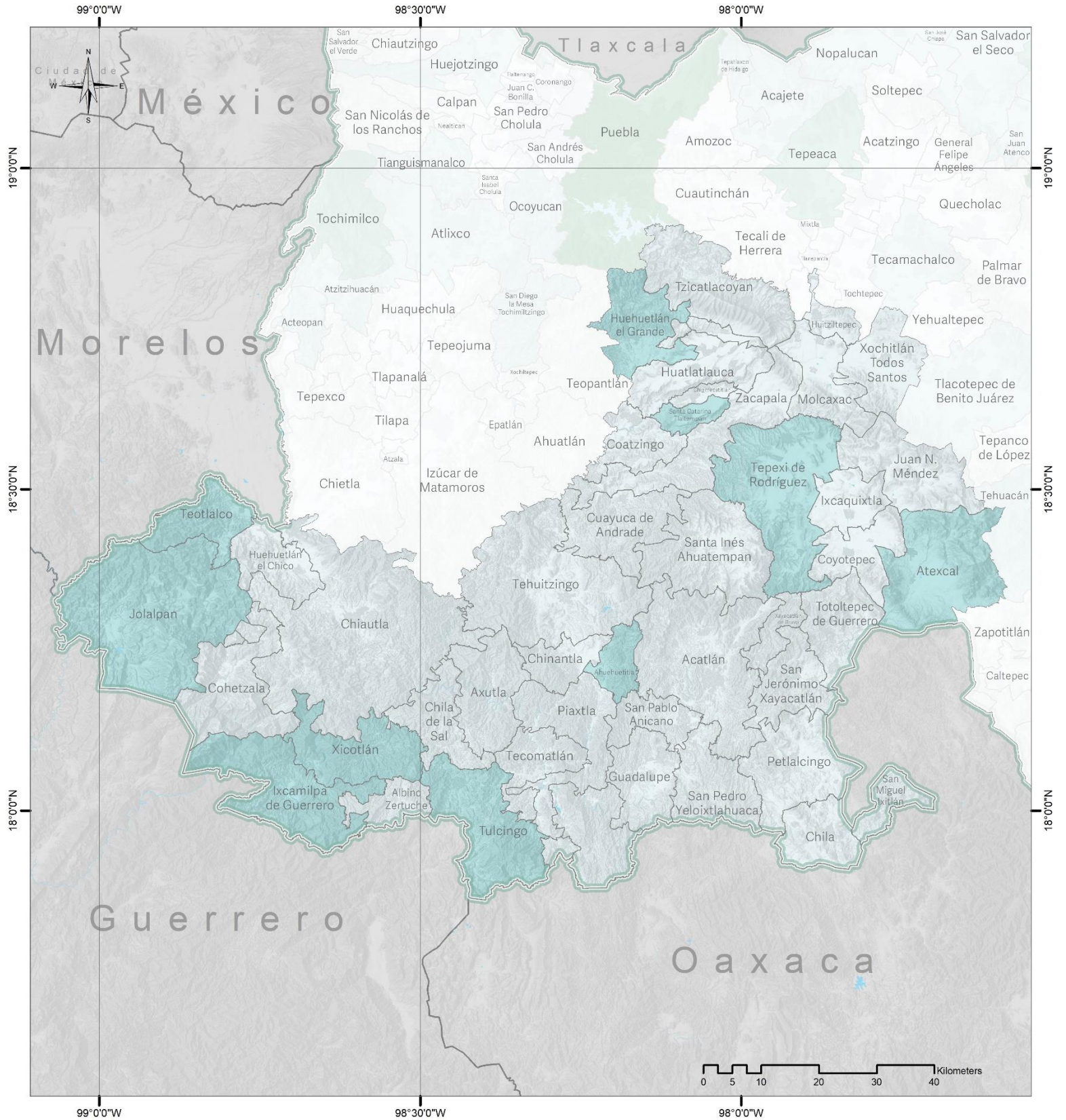


**M078. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico.**

**Región Mixteca**

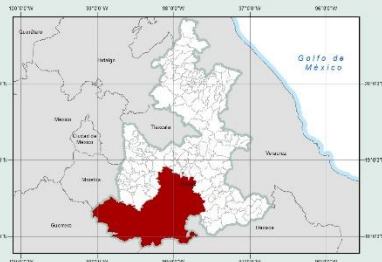
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

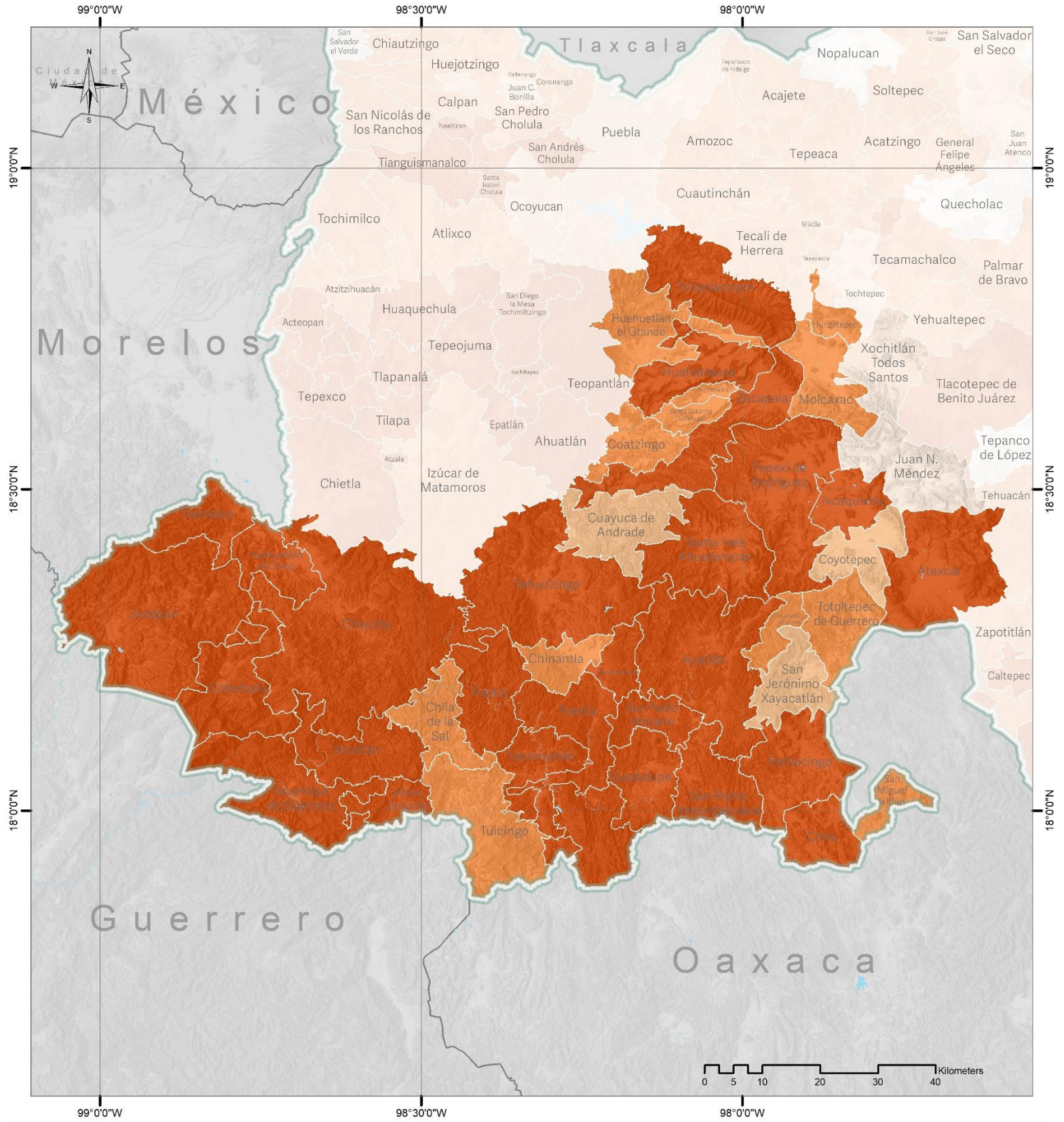
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M079. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad Adaptativa**  
**Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

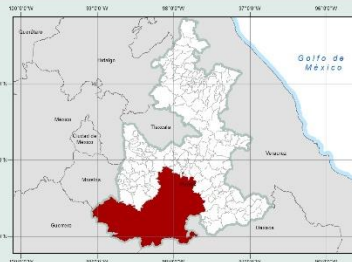
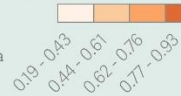
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición actual**

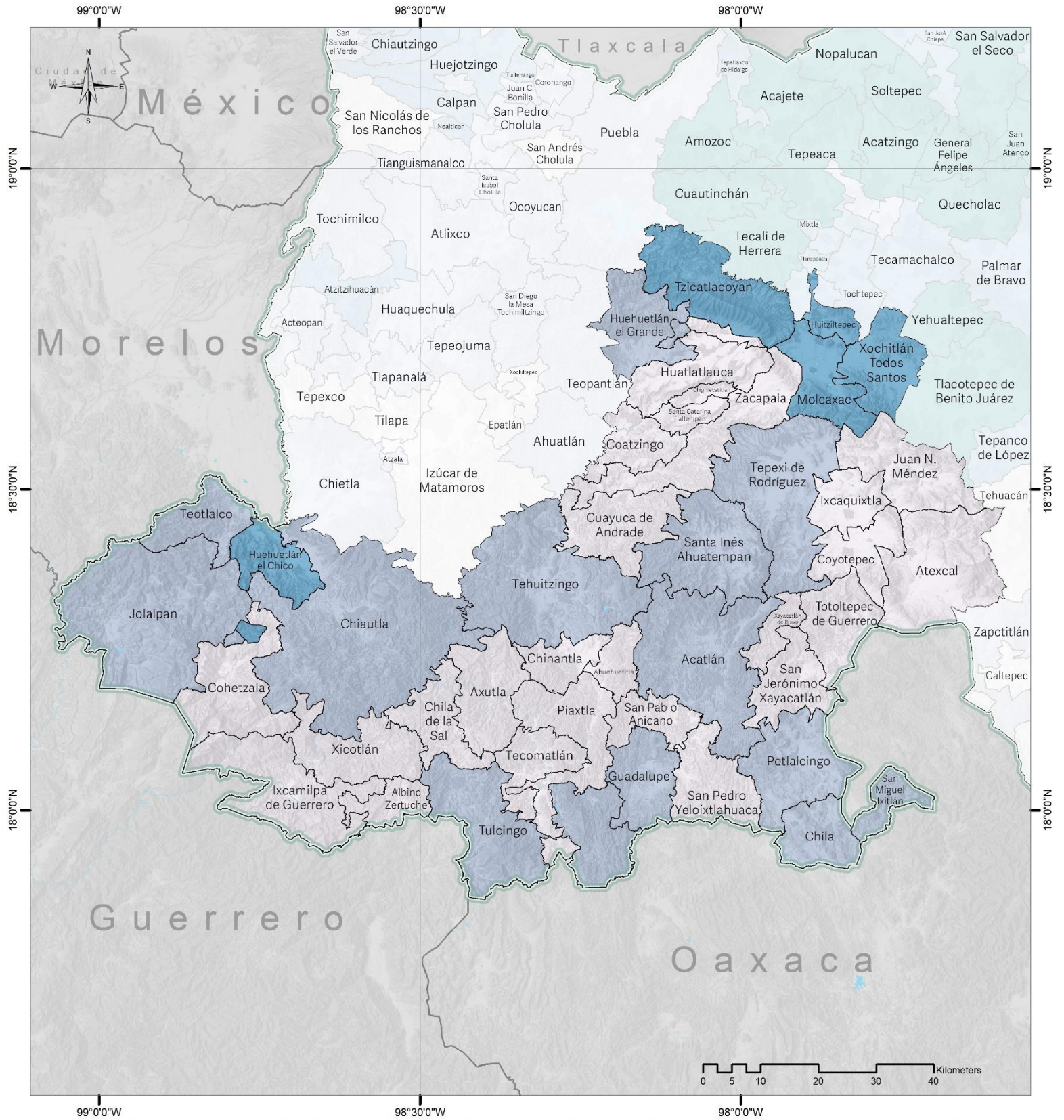


**M080. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**





**Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

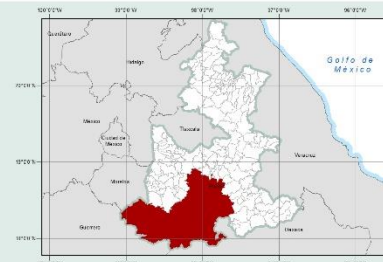
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

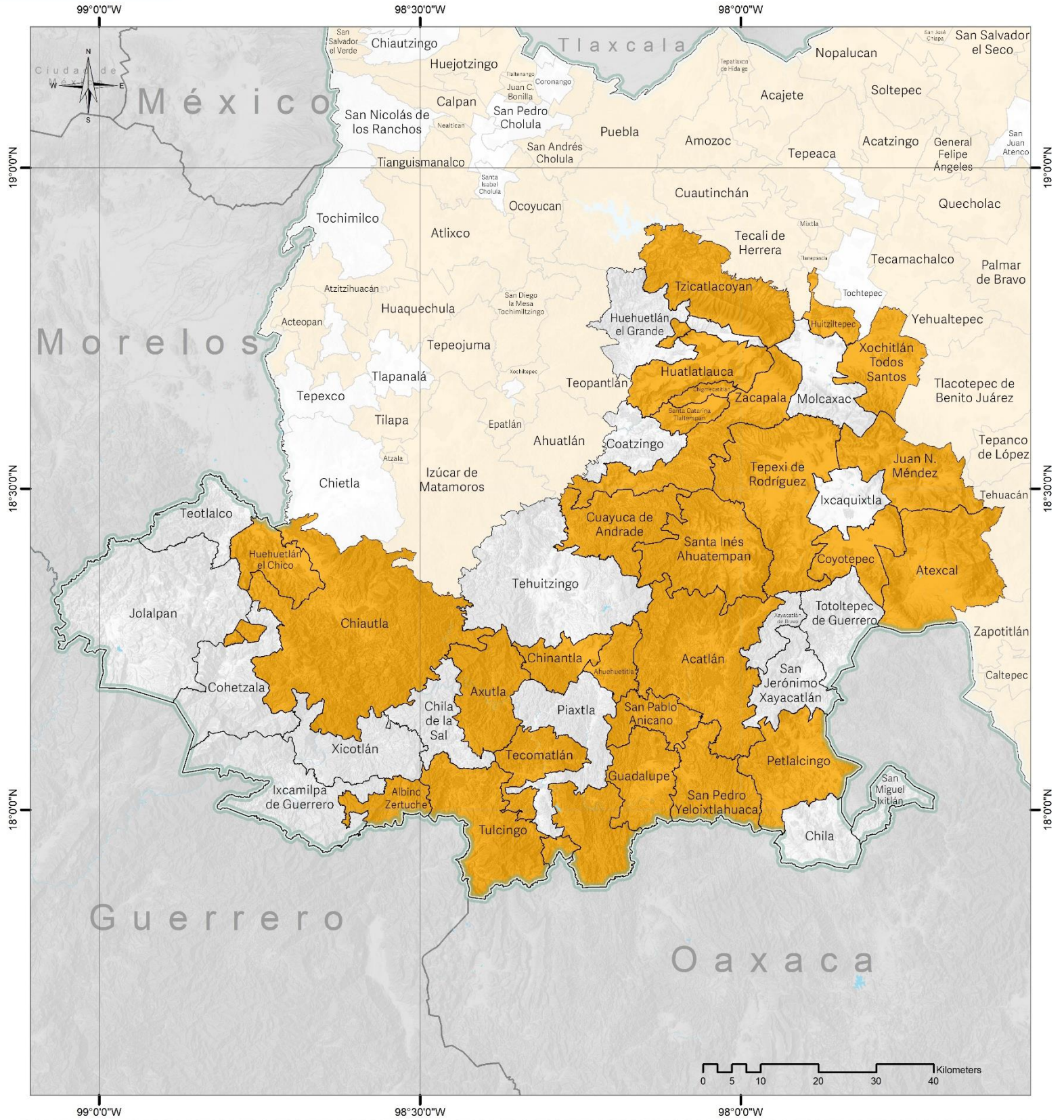
**Sensibilidad**







**M081. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**  
**Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

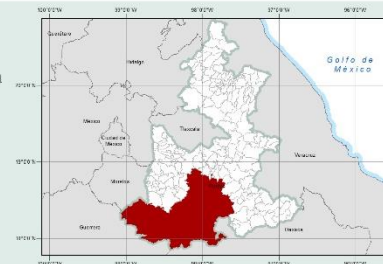


**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Vulnerabilidad futura**  
**Aumenta**

-  0
-  A



**M083. Vulnerabilidad Futura**  
**Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Tehuacán y Sierra Negra de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Los municipios con mayor vulnerabilidad son: Coyomeapan, Chapulco, San Sebastián Tlacotepec, Tlacotepec de Benito Juárez y Yehualtepec.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad.

A manera de ejemplo en la figura 16 se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSP utilizados en este estudio. Ambos modelos pueden presentar evaluaciones similares como en el municipio de Ajalpan o completamente contradictorios como en Yehualtepec, e incluso el mismo modelo, pero por las SSP distintas tener valores distintos de la vulnerabilidad como en Tepanco de López.

Por la incertidumbre por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por el principio precautorio en los mapas 085 y 089 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 084).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 085).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 086).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 087).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 089).

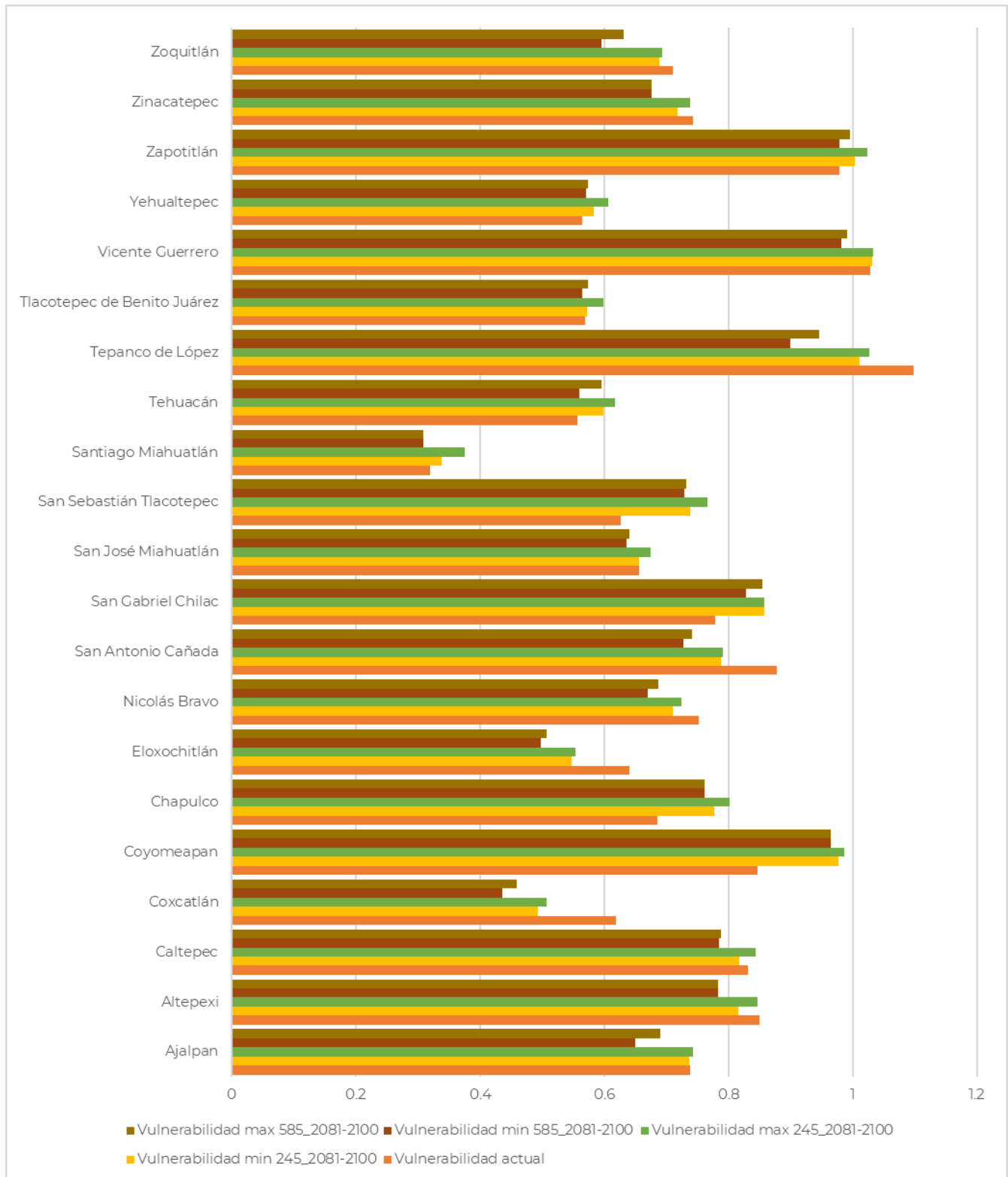
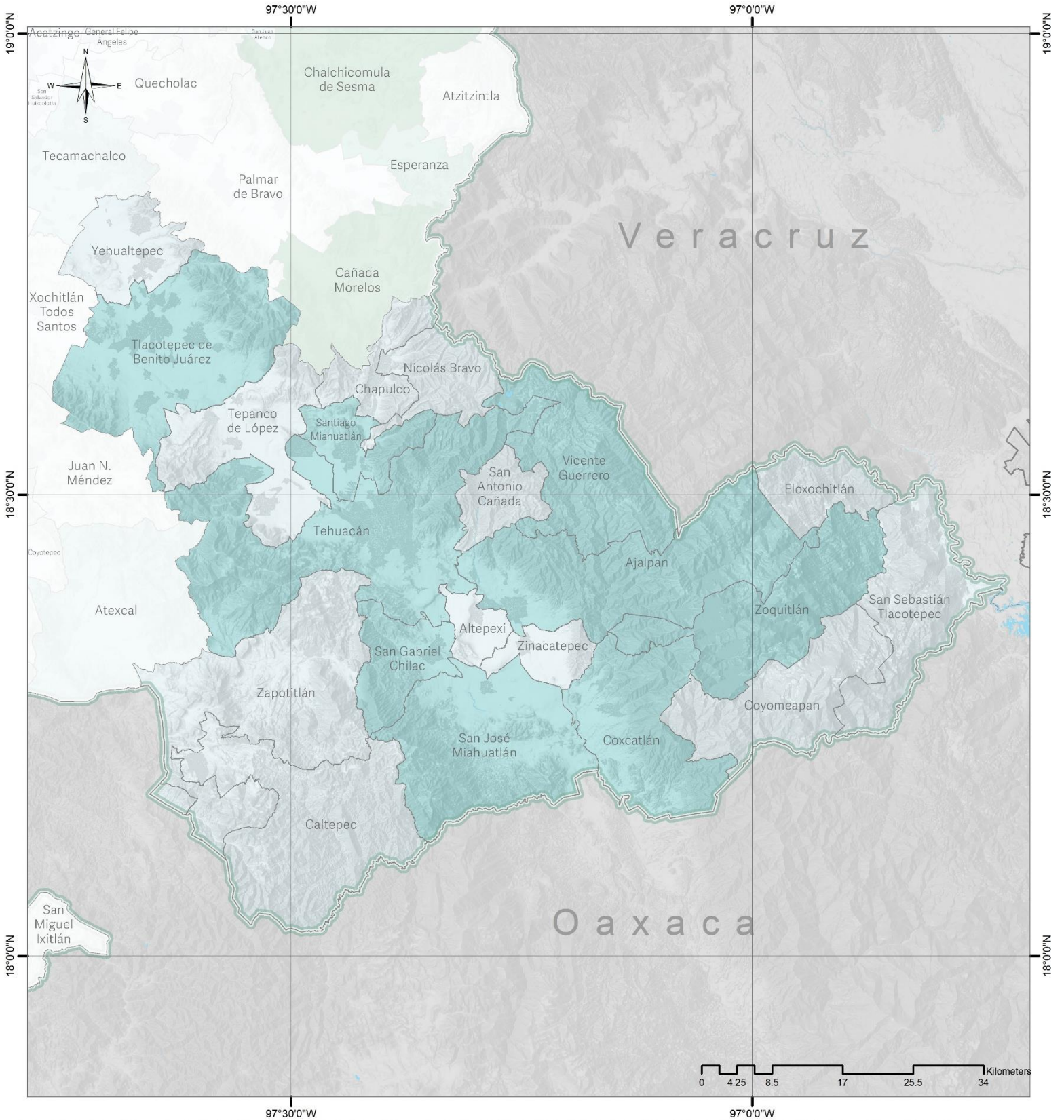


FIGURA 16. GRÁFICA DE LA REGIÓN TEHUACÁN Y SIERRA NORTE: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

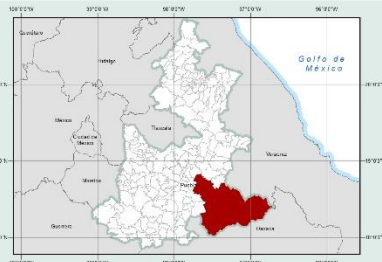
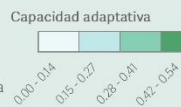






**Simbología**

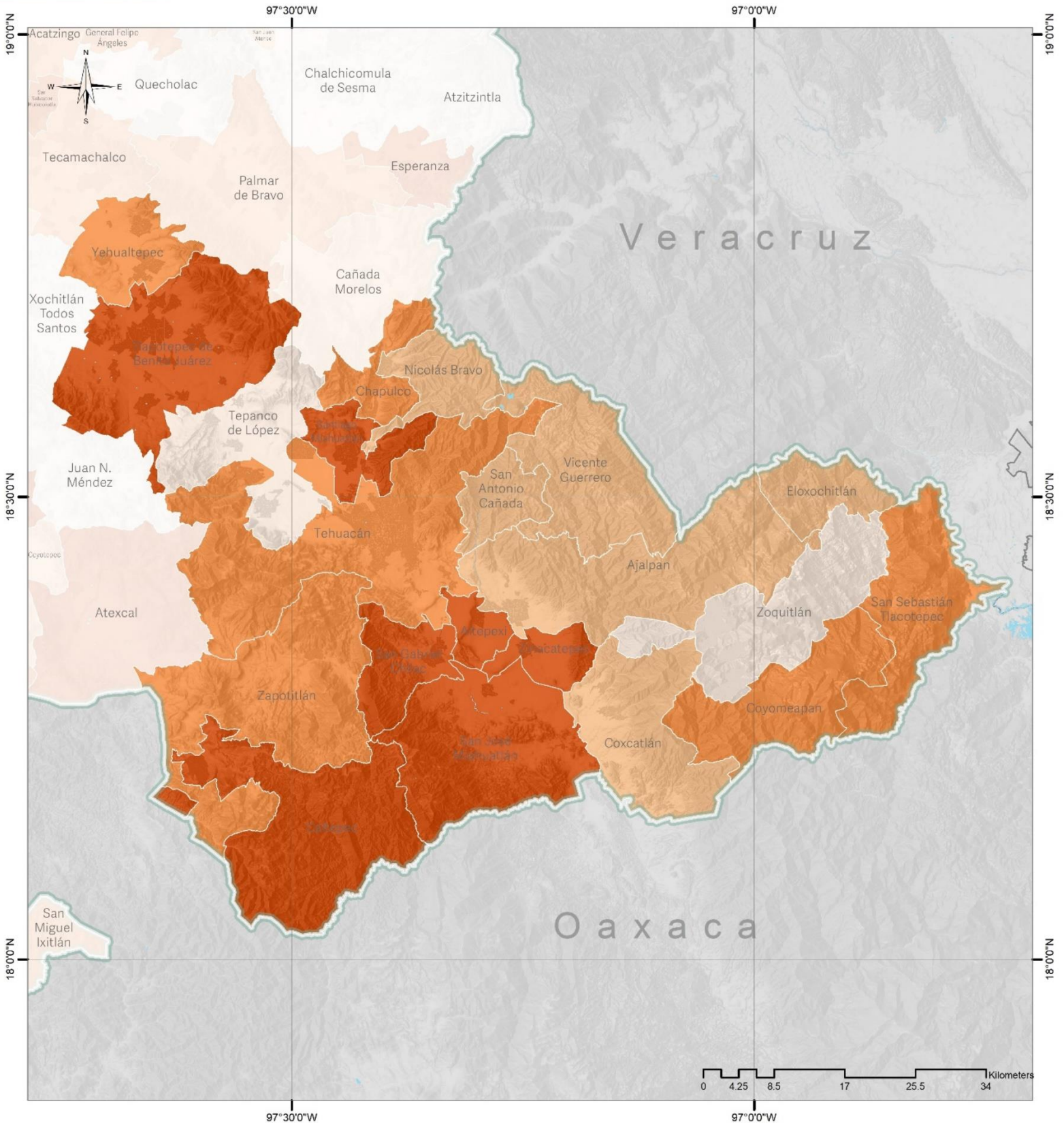
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M085. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad Adaptativa**  
**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

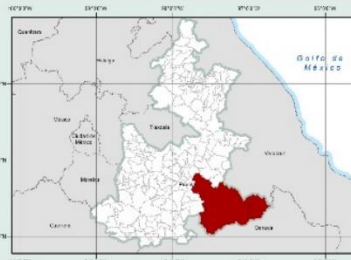
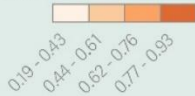
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

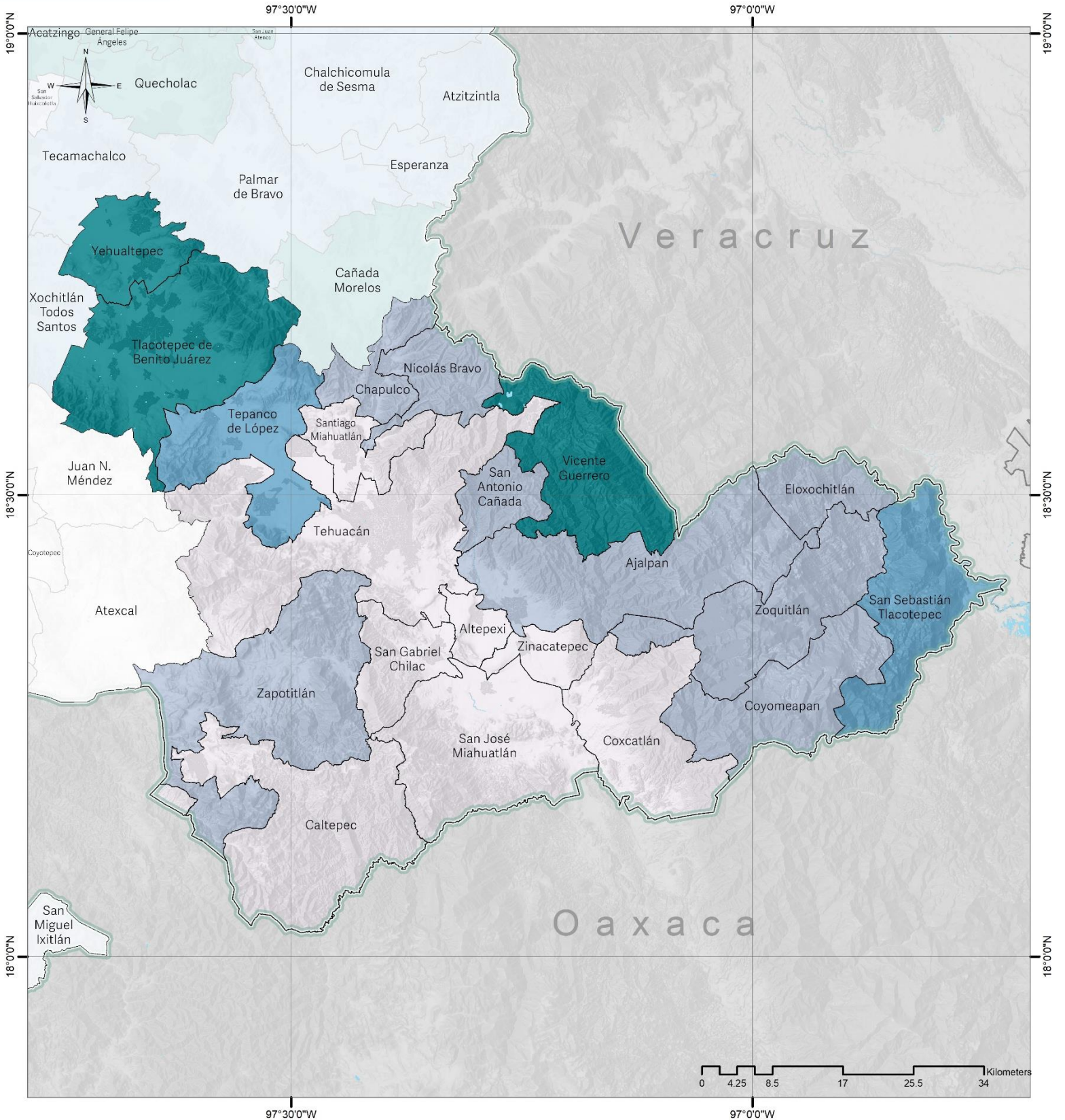
**Exposición actual**







**M086. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**  
**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Sensibilidad**



**M087. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**  
**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

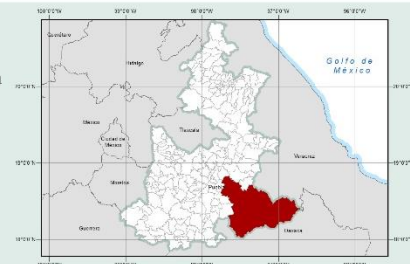


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad futura**

- 0
- A



**M089. Vulnerabilidad Futura**  
**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Sierra Nororiental de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

La Región Nororiental no tiene municipios con alta vulnerabilidad, pero la mayoría de los municipios pueden tener un incremento en la vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios utilizados en este estudio (observar los mapas 090 al 093).

En el mapa M091, se muestra la gráfica de los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos HadGEM3 y MPI-ESM1.2 y los dos SSP utilizados en este estudio. Se puede observar la incertidumbre que puede generarse por los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. Por ejemplo, en esta misma región el GCM HadGEM3 presenta el aumento de la vulnerabilidad de Chignautla y una disminución de la vulnerabilidad por el GCM MPI-ESM1.2.

A pesar de que ninguno de los municipios presenta una alta vulnerabilidad actual es posible que en el futuro algunos de ellos incrementen su vulnerabilidad a alta como son Cuetzalan del Progreso, Atlequizayan, Nauzontla, Tlatlaquitepec y Zacapoaxtla, de acuerdo con el GCM MPI-ESM1.2.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 17 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 090).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 091).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 092).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 093).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (color naranja) (Mapa 095).

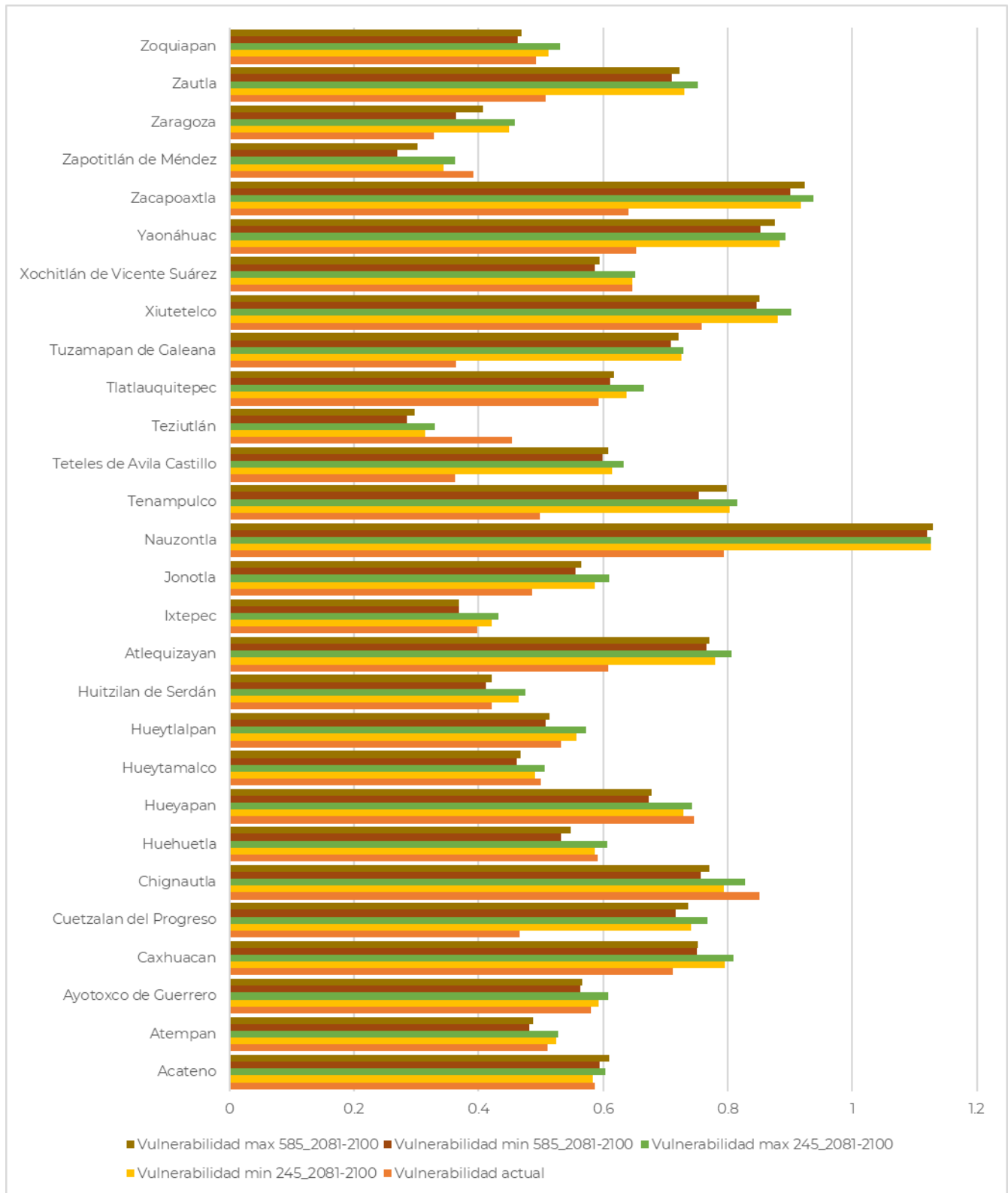
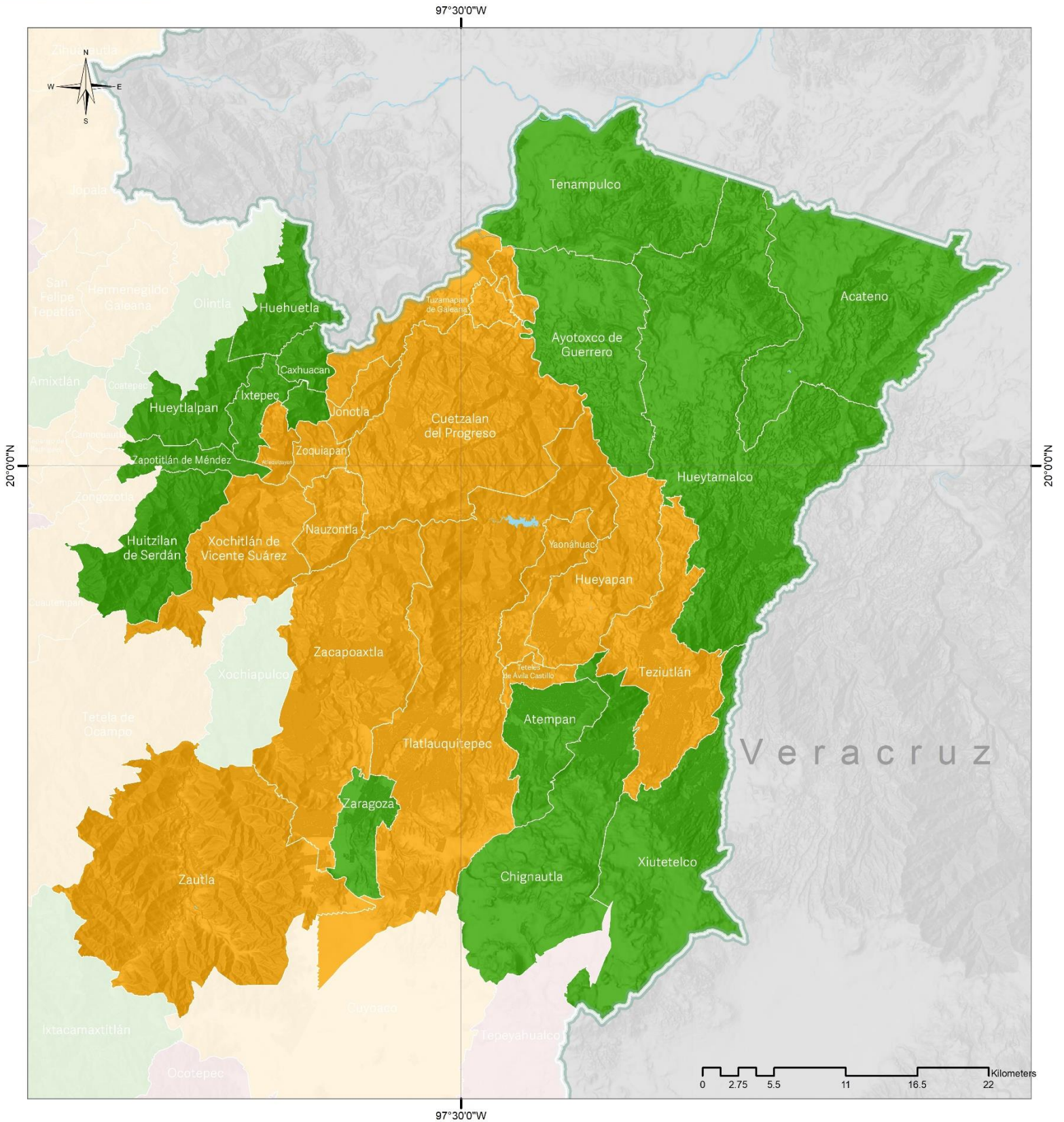


FIGURA 17. GRÁFICA DE LA REGIÓN NORORIENTAL: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico**

**Clasificación**

- Alta
- Media
- Baja



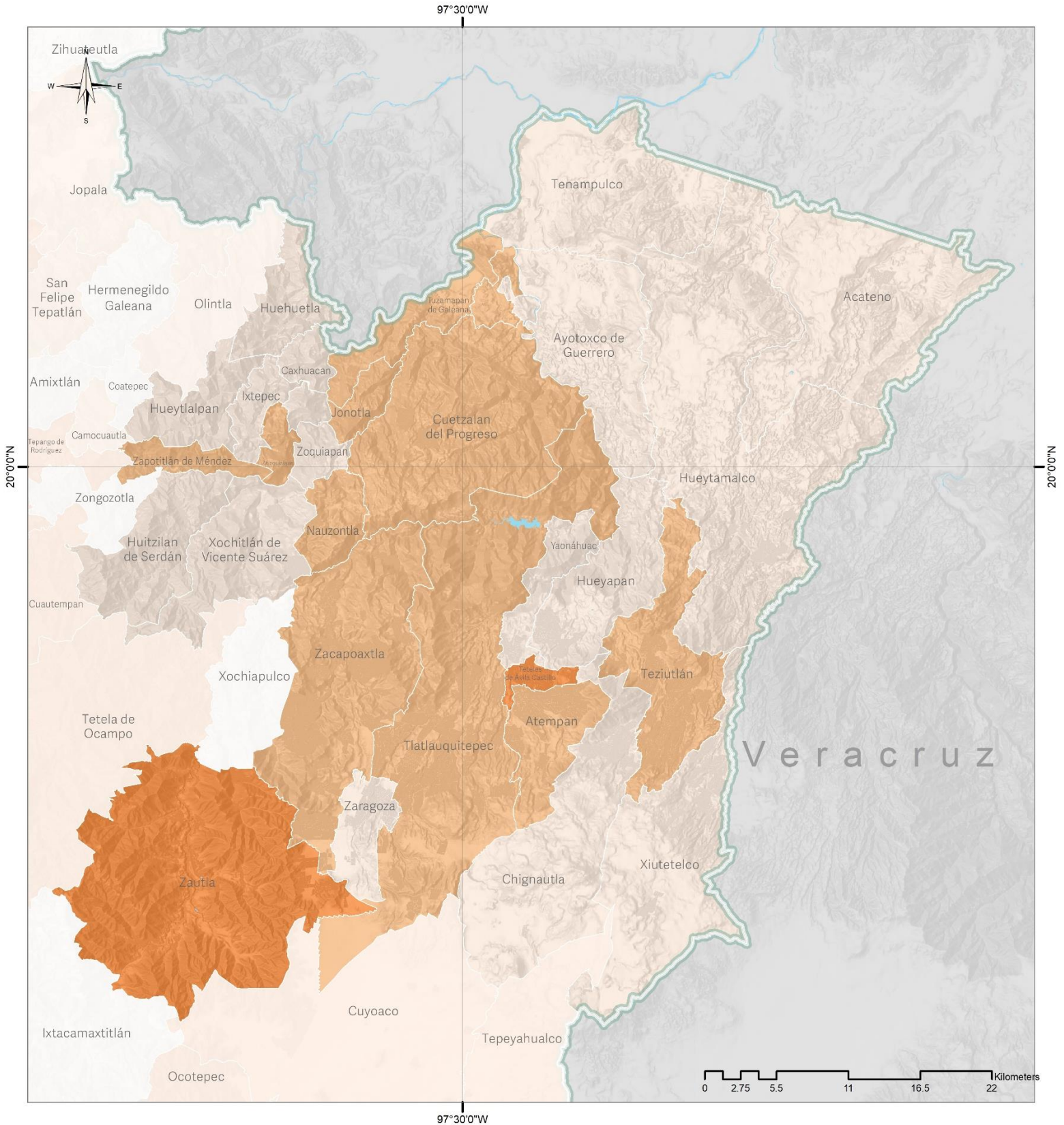
**M090. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico.**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

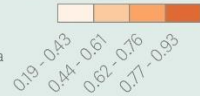




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición actual**

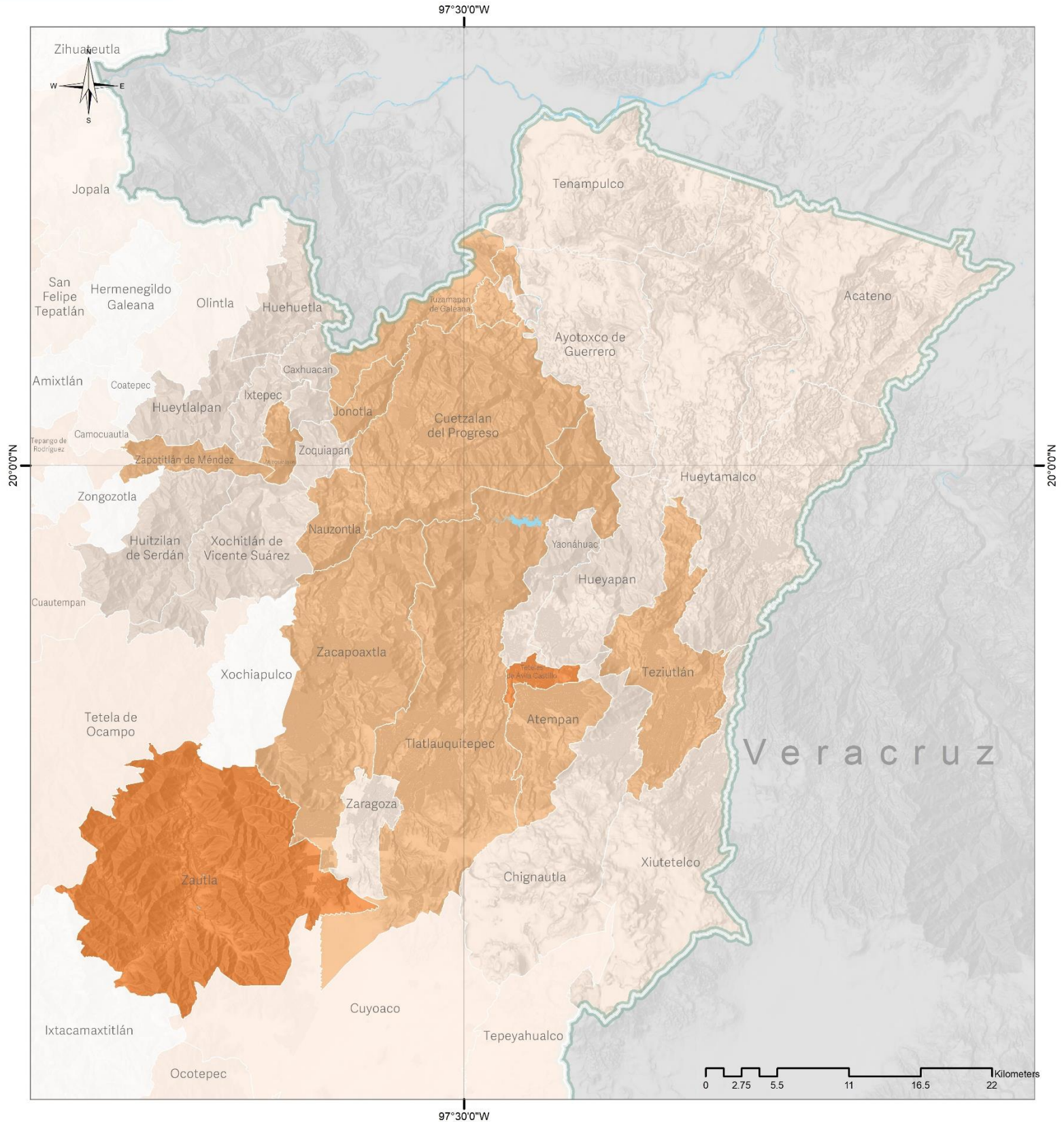


**M092. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

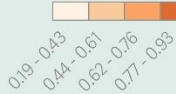
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición actual**

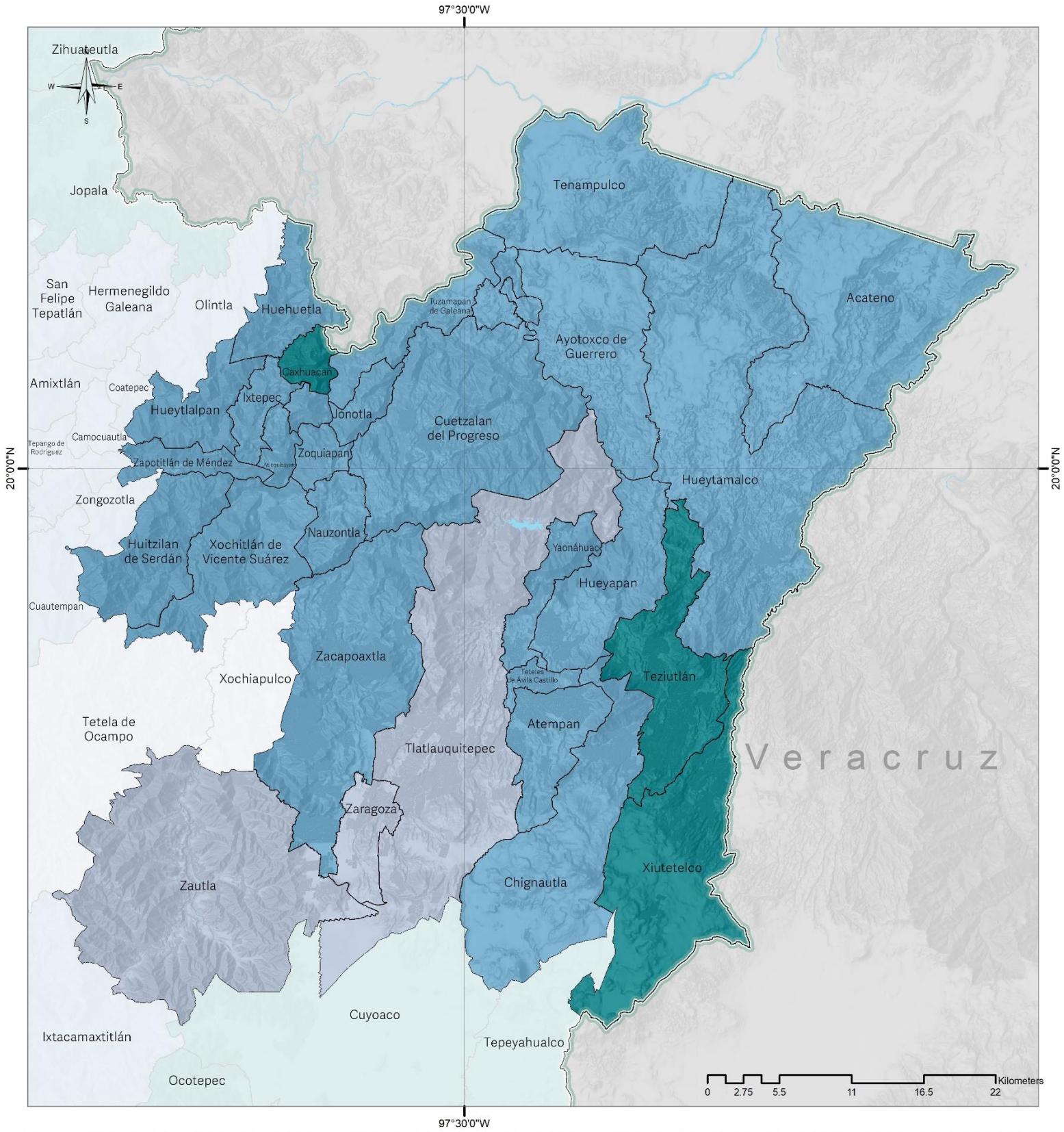


**M092. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

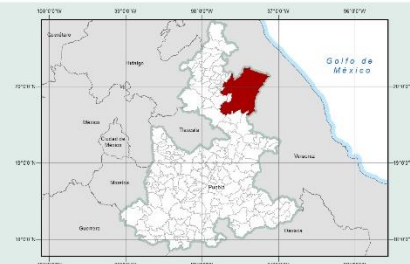
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M093. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Sierra Norte de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región son: Ahuazotepec, Chiconcuautla, Honey, Juan Galindo, Pantepec, Tepetzintla, Tlapacoya, Tlaxco y Xicotepec.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. A manera de ejemplo en la figura 18 se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSP utilizados en este estudio. Puede observarse como un GCM puede proyectar un aumento mientras otro una disminución, por ejemplo, el MPI-ESM1.2 proyecta un aumento y el HadGEM3 una disminución como por ejemplo en Chiconcuautla y Honey. Pero también existen municipios con aumento por el HadGEM3 y disminución con el MPI-ESM1.2, como son los municipios de Pahuatlán o Zihuateutla.

En los mapas M095 y M099, se observa que varios de los municipios altamente vulnerables pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio. Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 18 se muestran los municipios que de acuerdo con alguno de los escenarios futuros mostraron un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 094).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 095).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 096).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 097).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 099).

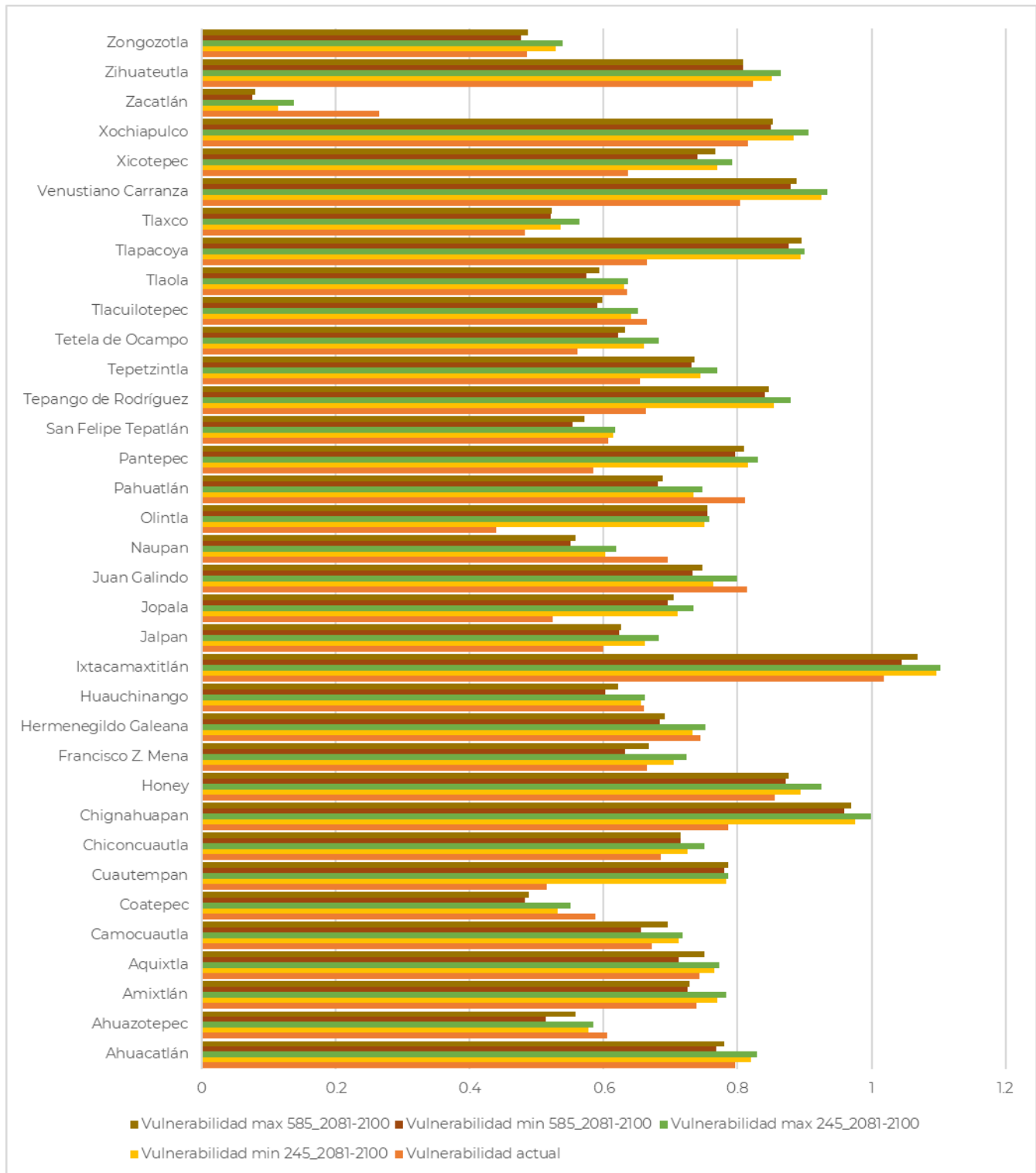
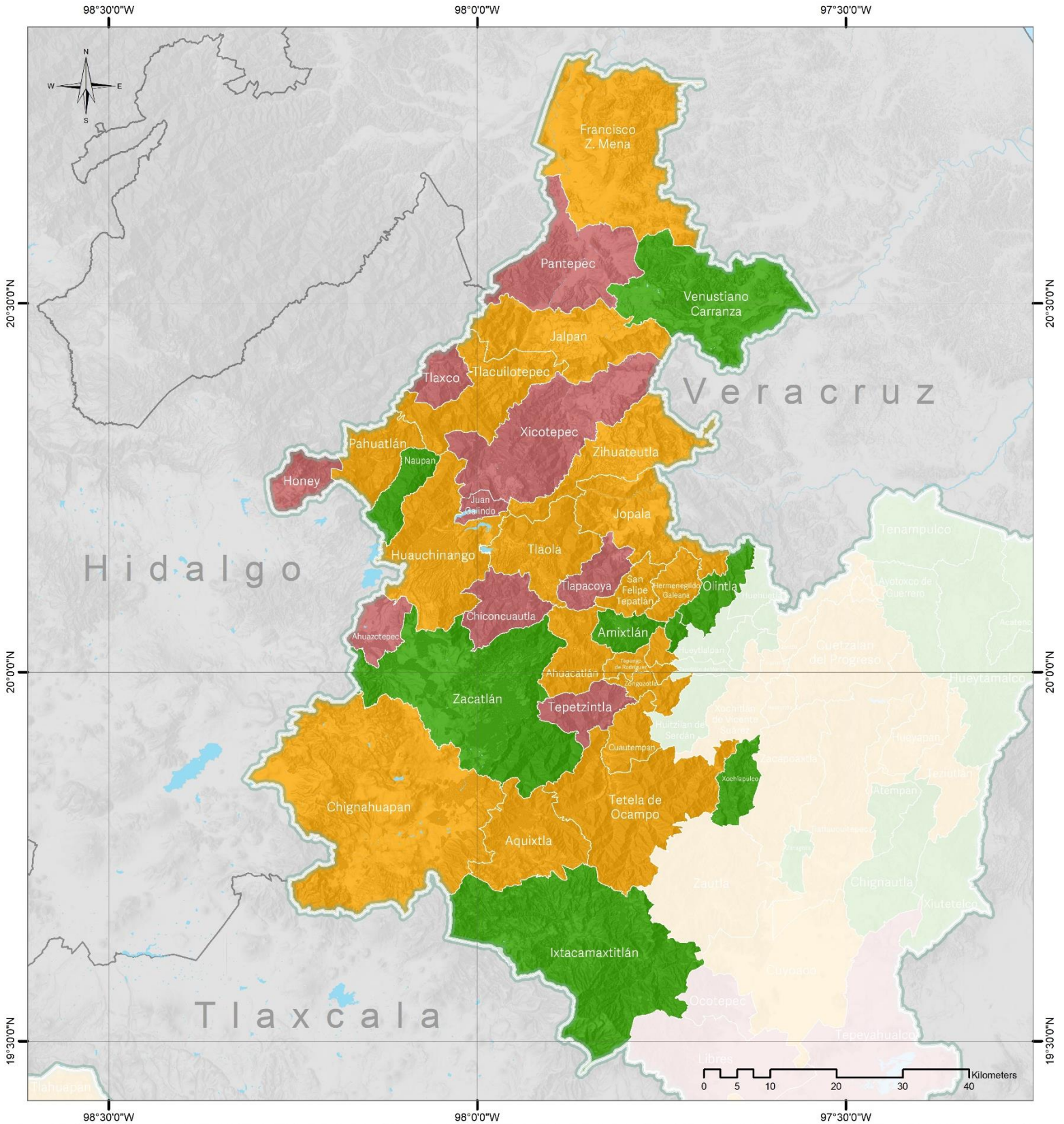


FIGURA 18. GRÁFICA DE LA REGIÓN SIERRA NORTE: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

\*HAD es el modelo HadGEM3; MPI es el modelo MPI-ESM1.2



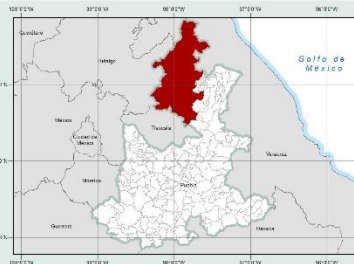
**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés Hídrico**

**Clasificación**

- Alta
- Media
- Baja

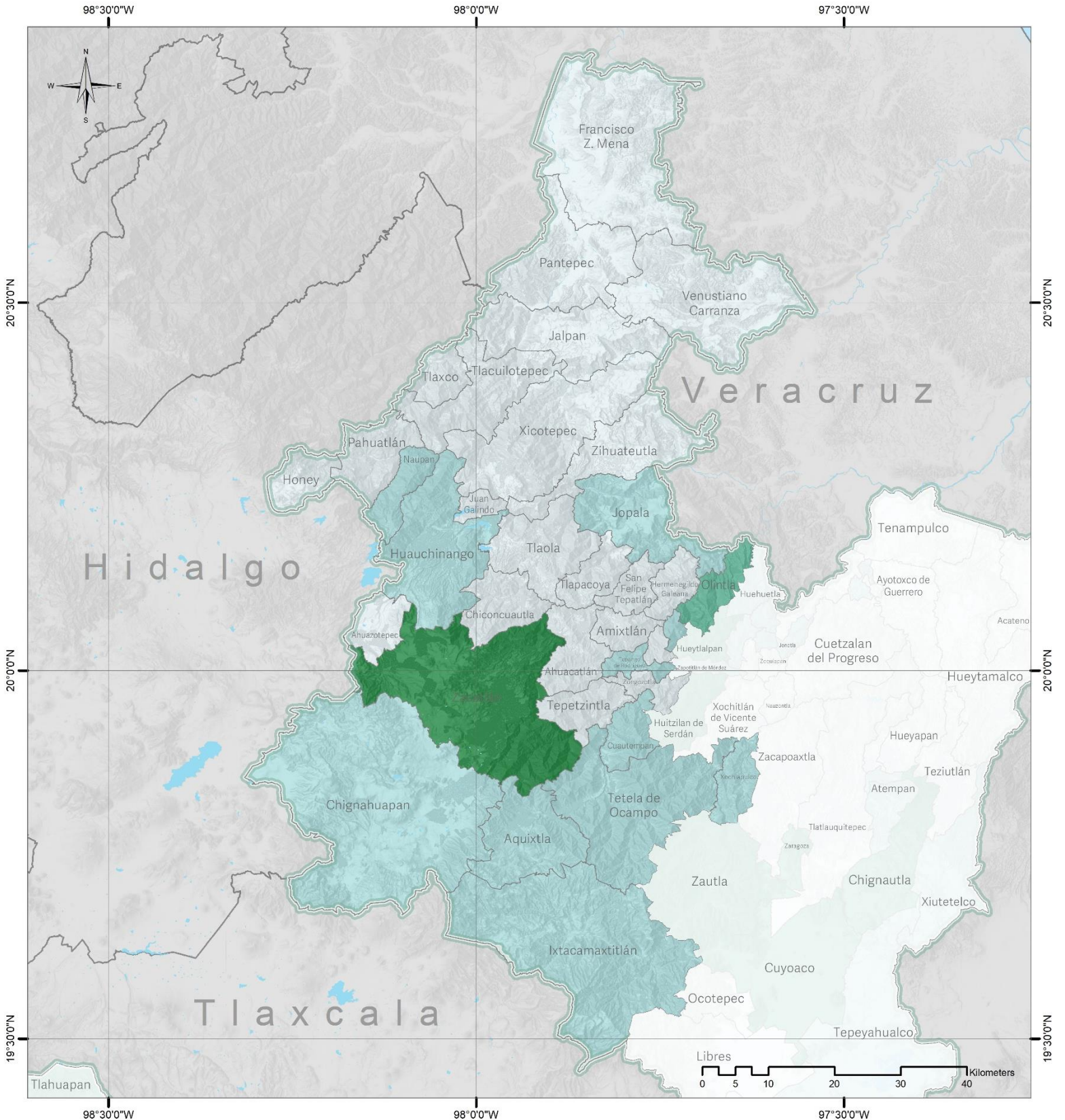


**M094. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico.**

**Región Sierra Norte**

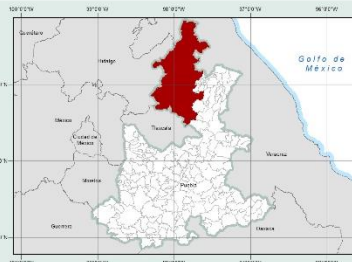
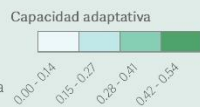
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

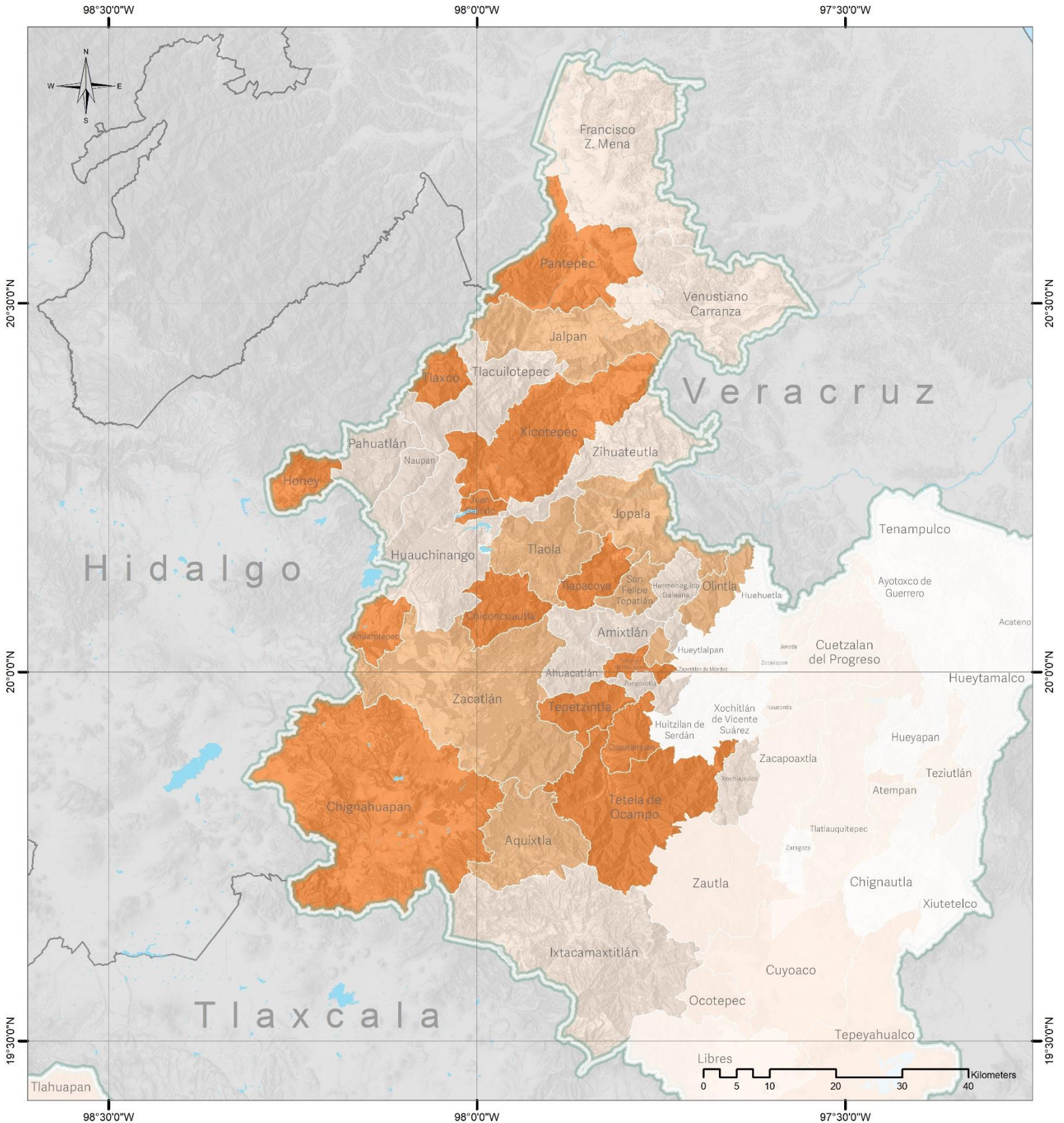
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M095. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad Adaptativa**  
**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

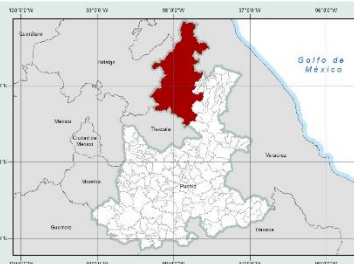
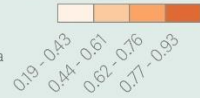
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición actual**

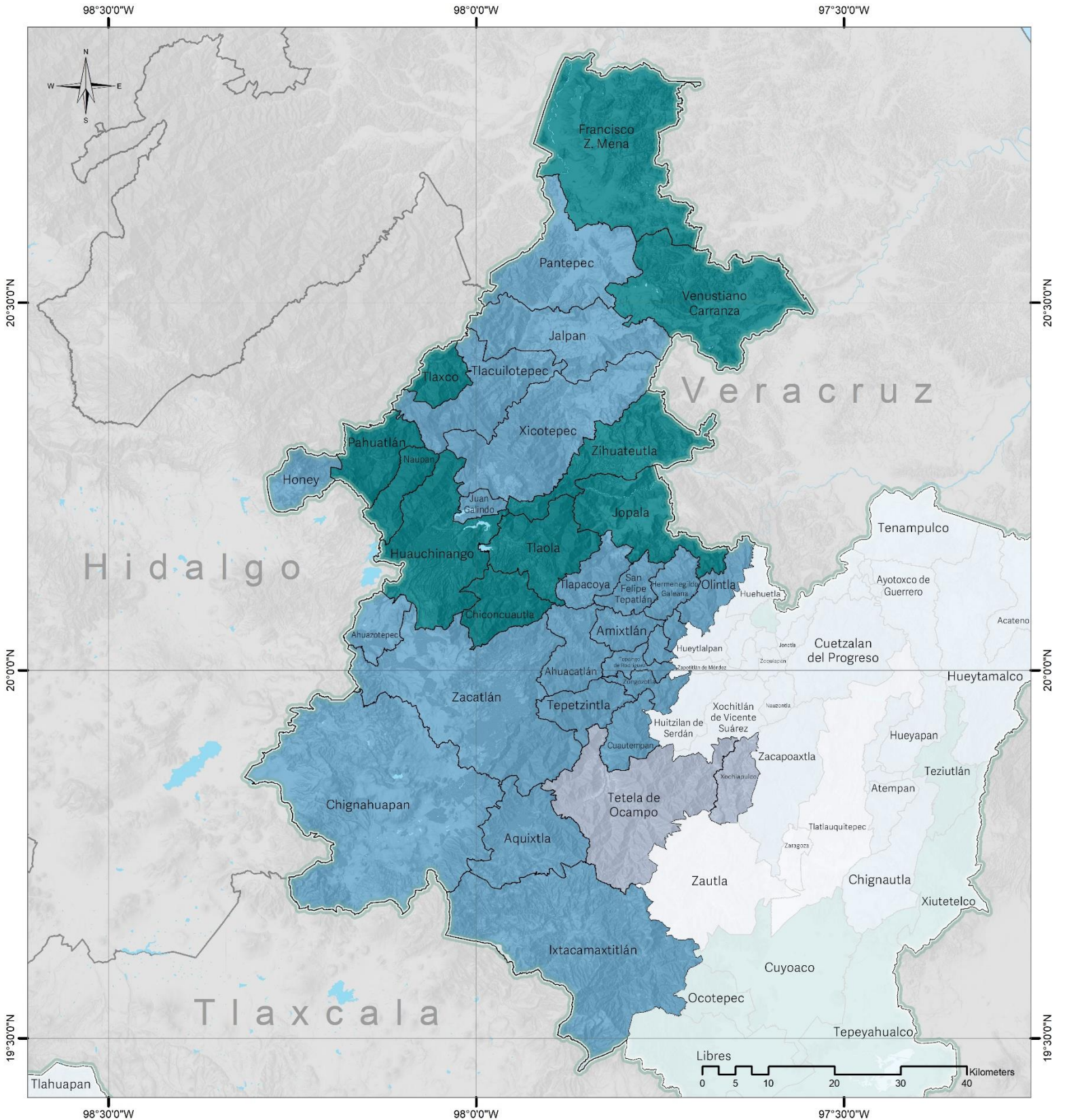


**M096. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**  
**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

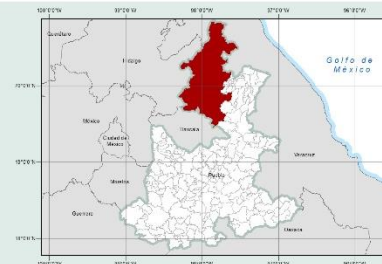




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M097. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**

**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



## *Resultado región Valle Atlixco y Matamoros de la vulnerabilidad de la agricultura ante estrés hídrico*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región son: Ahuatlán, Atzala, Cohuecan, Chietla, San Jerónimo Tecuanipan, San Martín Totoltepec, Santa Isabel Cholula, Teopantlán, Tepeojuma, Tilapa, Tlapanalá y Xochiltepec.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. A manera de ejemplo en la figura 19 se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSP utilizados en este estudio. En general para esta región de Atlixco y Matamoros, el HadGEM3 proyecta una disminución en la vulnerabilidad, mientras que el MPI-ESM1.2 un aumento.

La incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en los mapas M101 y 105, se muestran los municipios que de acuerdo con alguno de los escenarios futuros mostraron un aumento en la vulnerabilidad. Varios de los municipios con alta vulnerabilidad actual pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio.

Si los municipios actualmente presentan problemáticas ante estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 100).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 101).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 102).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 103).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 105).

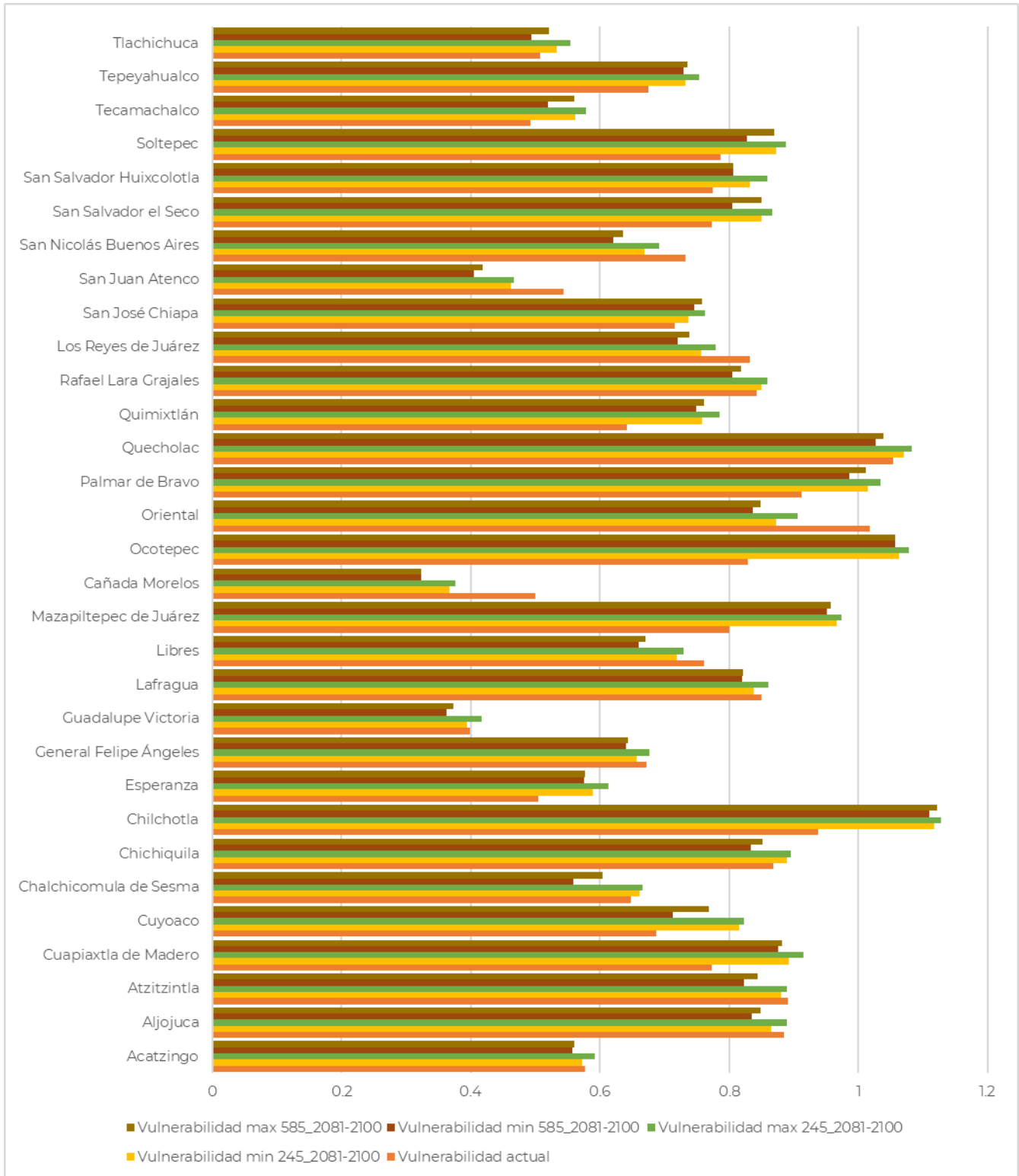
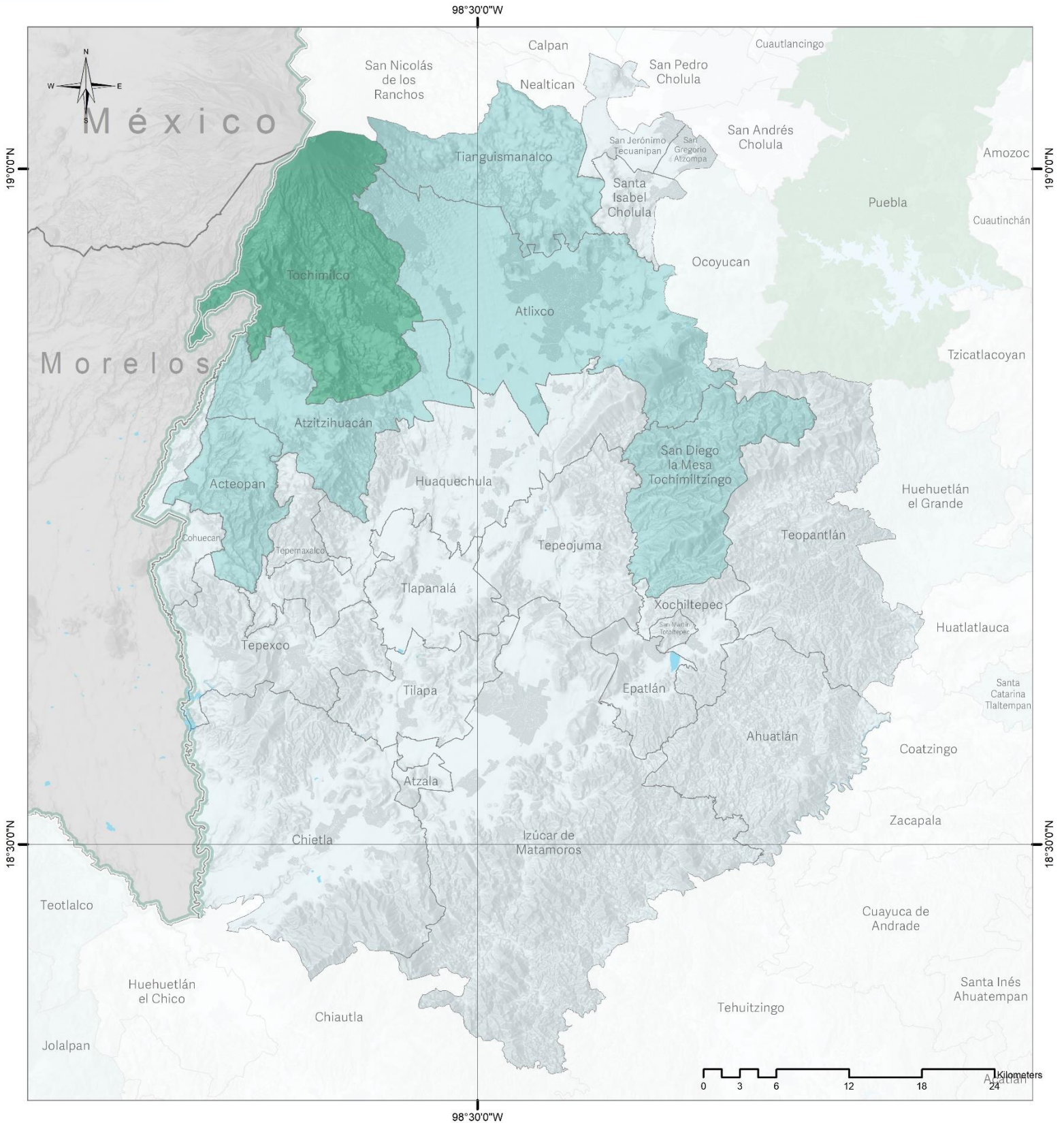






FIGURA 19. GRÁFICA DE LA REGIÓN VALLE ATLIXCO Y MATAMOROS: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

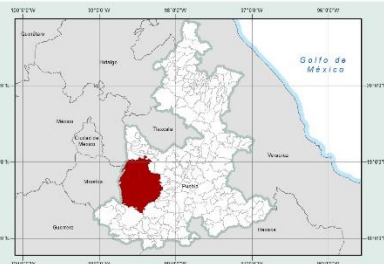
\*HAD es el modelo HadGEM3; MPI es el modelo MPI-ESM1.2.





**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

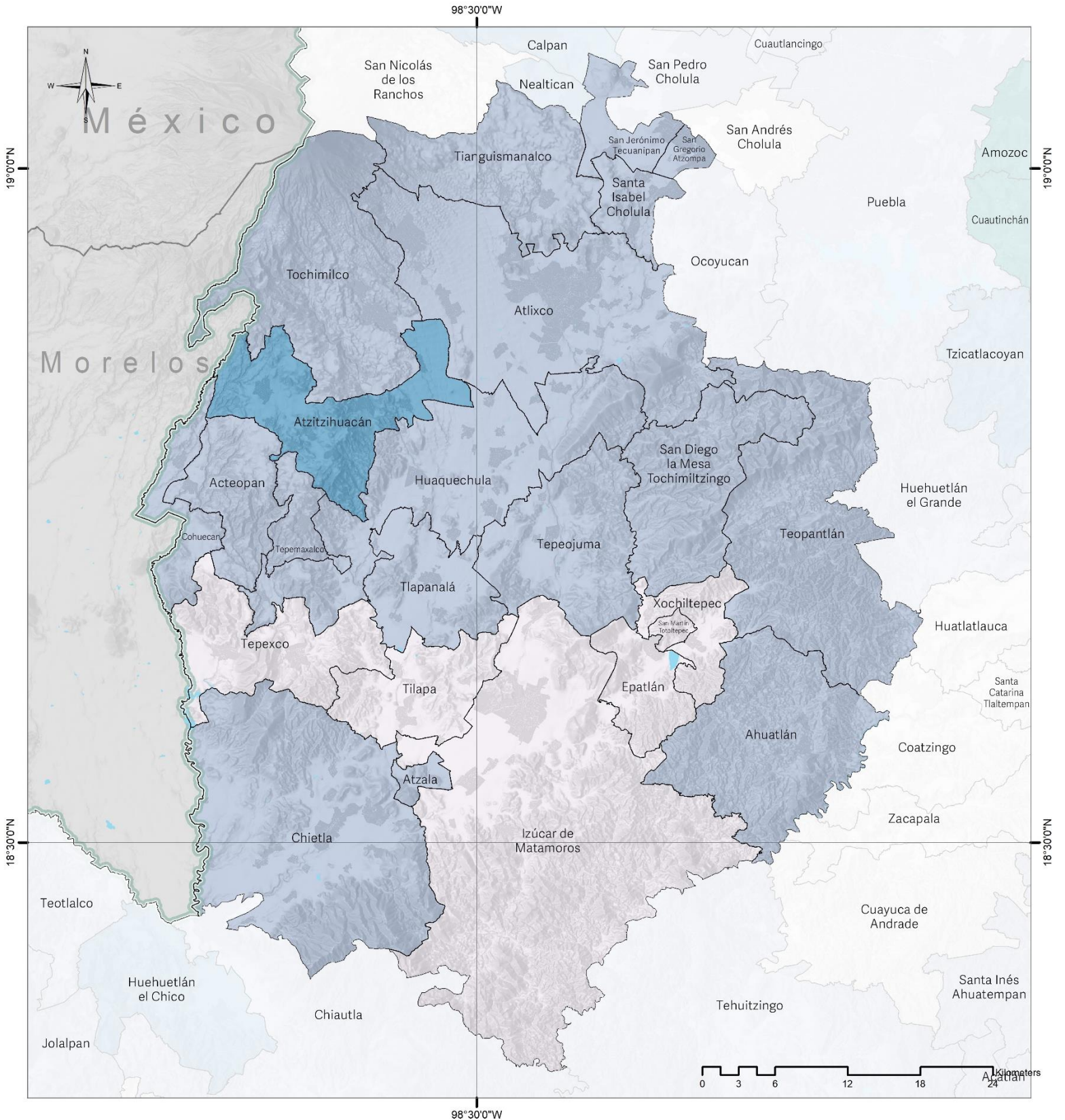


**M101. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad Adaptativa**  
**Región Valle Atlixco y Matamoros**



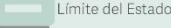

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984





**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Sensibilidad**

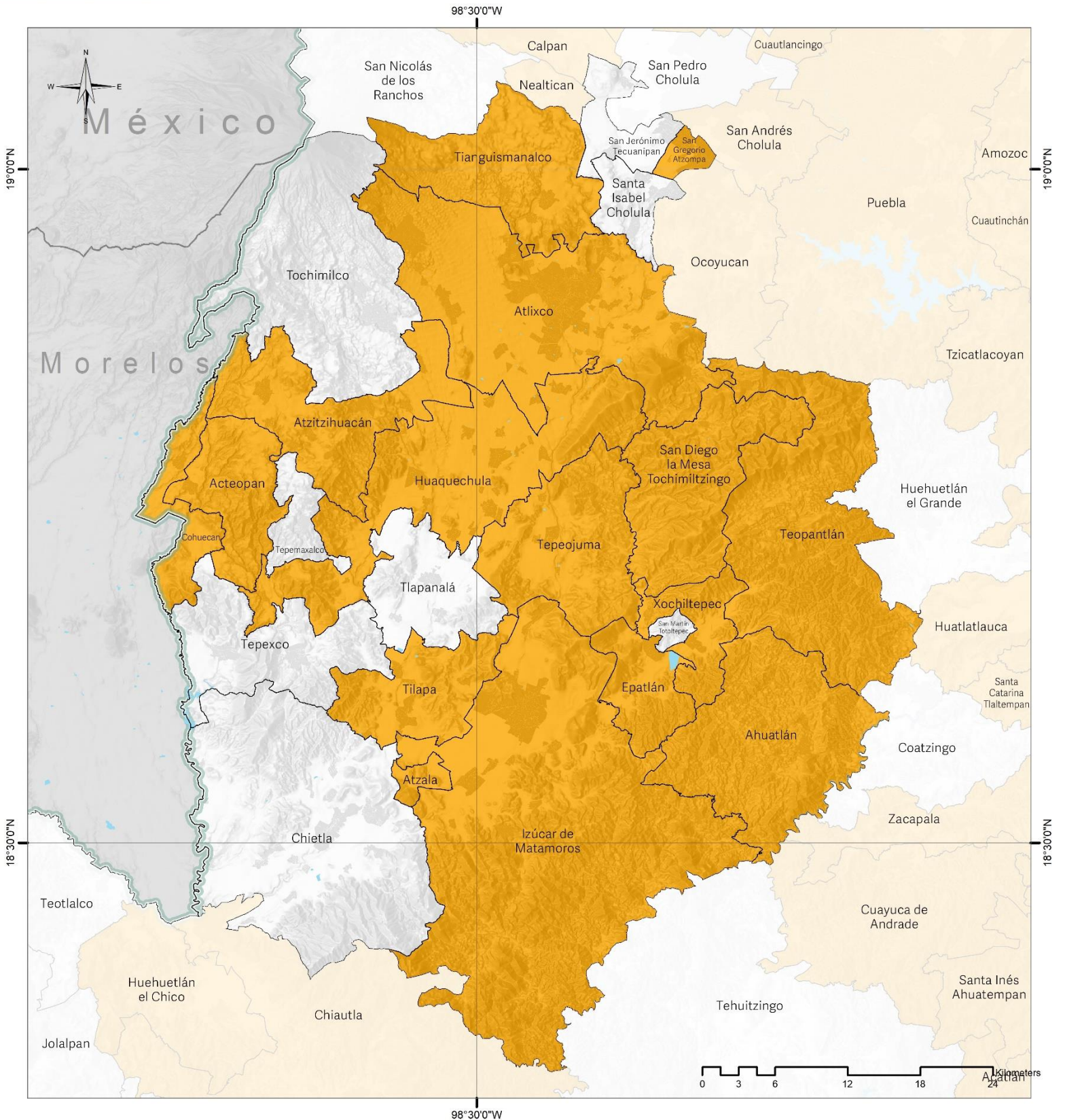


**M103. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad**  
**Región Valle Atlixco y Matamoros**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

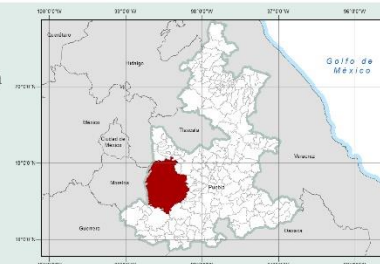




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

- Vulnerabilidad futura**
- 0
  - A



**M105. Vulnerabilidad Futura**  
**Región Valle Atlixco y Matamoros**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Serdán y Valles Centrales*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región son: Acatzingo, Aljojuca, Cuapiaxtla de Madero, Chilchotla, General Felipe Ángeles, Lafragua, Libres, Mazapiltepec de Juárez, Ocoteppec, Palmar de Bravo, San Salvador Huixcolotla, Soltepec y Tepeyahualco.

Los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) así como los horizontes de tiempo añaden a la incertidumbre de los resultados que se pueden obtener para la vulnerabilidad. A manera de ejemplo en la figura 20 se muestran los resultados de la vulnerabilidad actual y futura del horizonte lejano de los dos modelos GCM y los dos SSPs utilizados en este estudio.

En general para la región Serdán y Valles Centrales el modelo MPI-ESM1.2 es el que presenta el aumento en la vulnerabilidad y el HadGEM3 la disminución de la vulnerabilidad. Solamente en el municipio de Cañada Morelos los dos modelos para este horizonte lejano coinciden en la disminución de la vulnerabilidad.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por el principio precautorio en la figura 20 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de estrés hídrico podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos. En especial los municipios que actualmente son ya altamente vulnerables ante esta problemática.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante estrés hídrico a nivel municipal (Mapa 106).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 107).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 108).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 109).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 111).

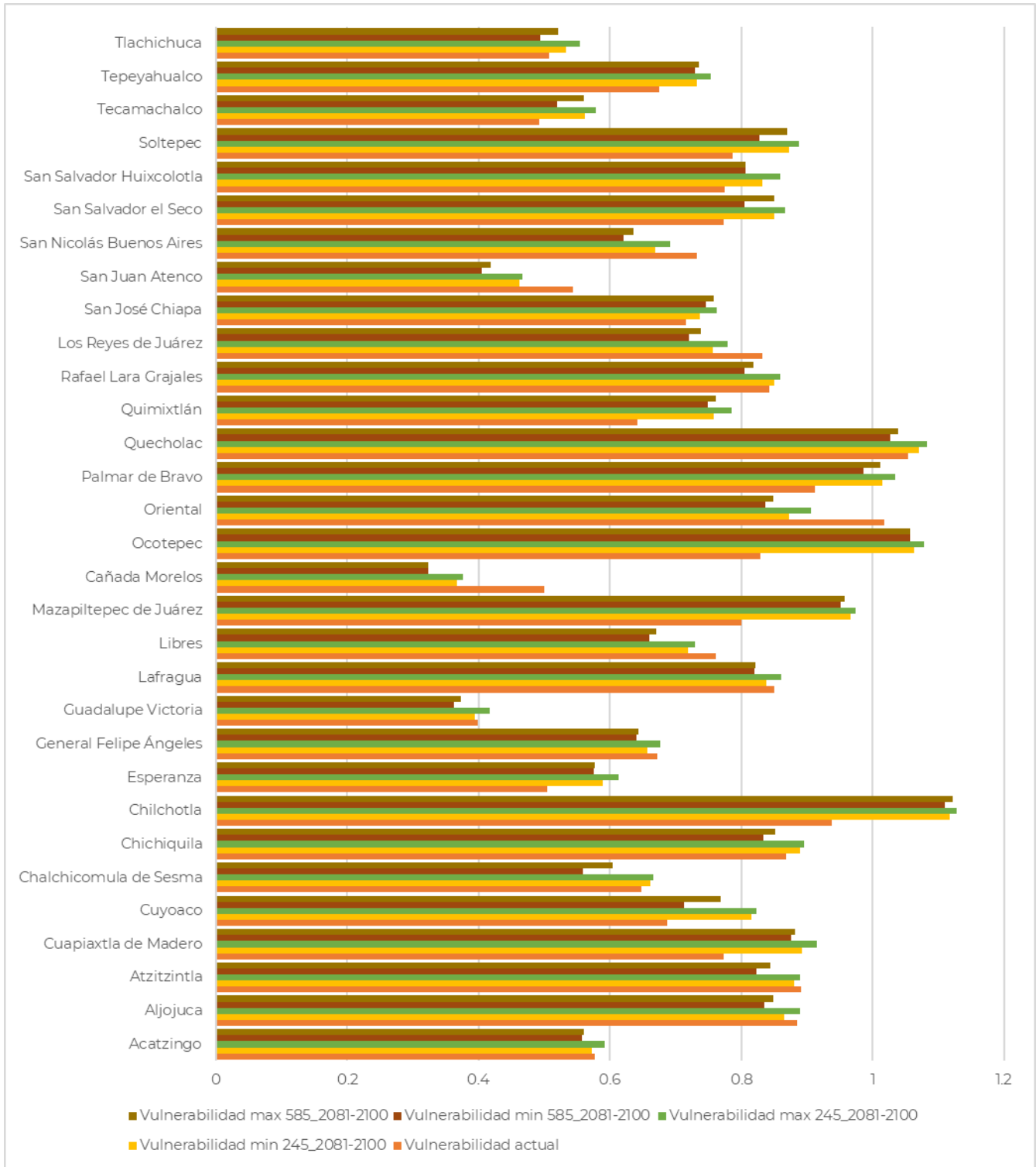
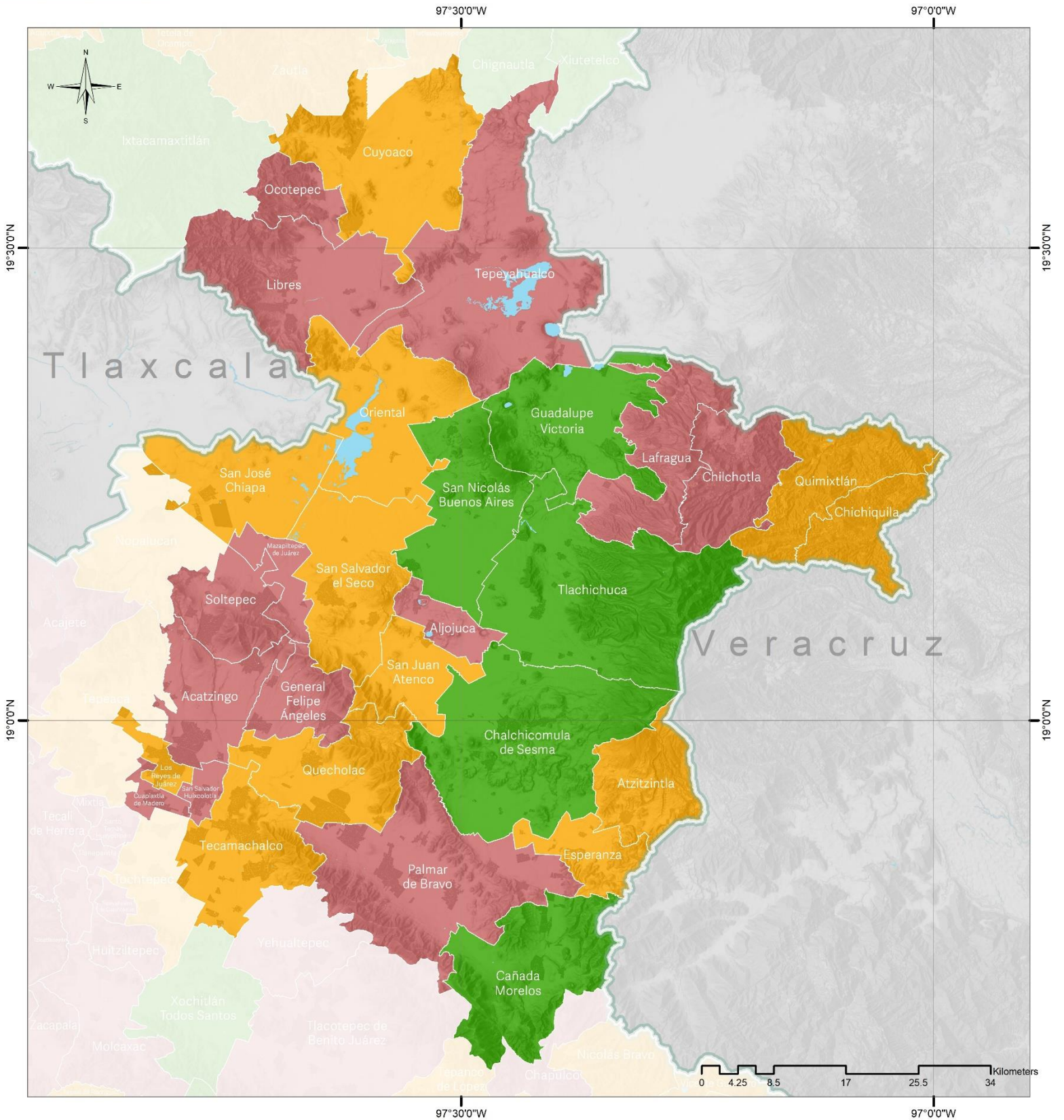


FIGURA 20. GRÁFICA DE LA REGIÓN SERDÁN Y VALLES CENTRALES: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

\*HAD es el modelo HadGEM3; MPI es el modelo MPI-ESM1.2



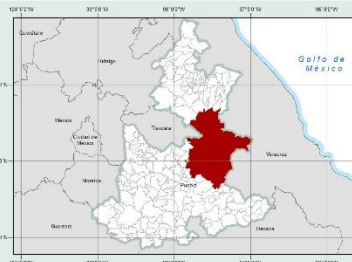
**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad de la agricultura por estrés Hídrico**

**Clasificación**

- Alta
- Media
- Baja



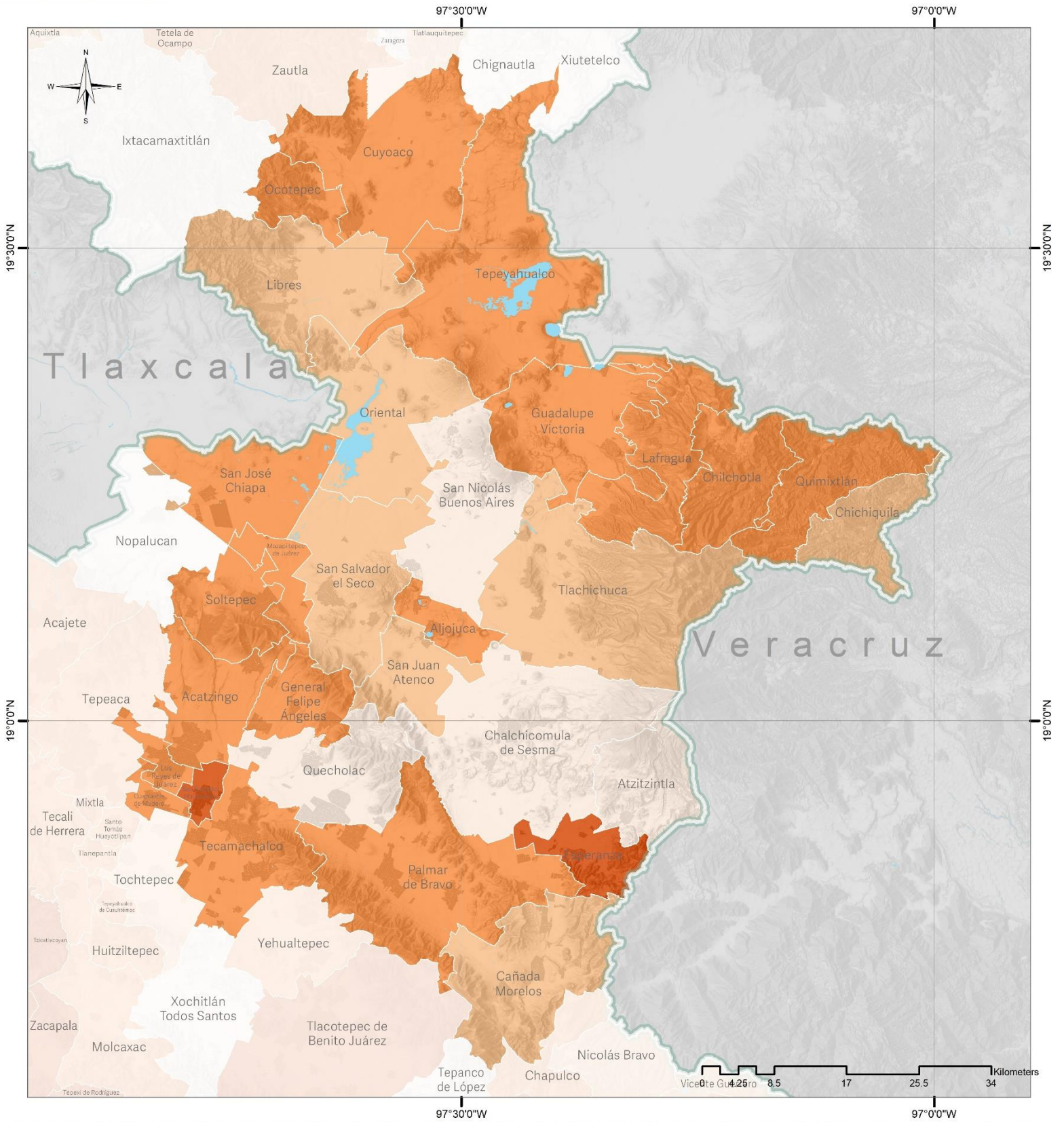
**M106. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico.**

**Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

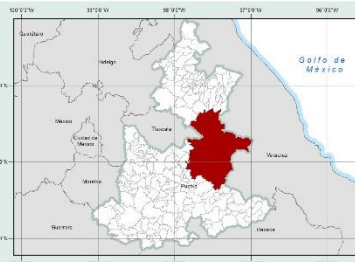




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición actual**

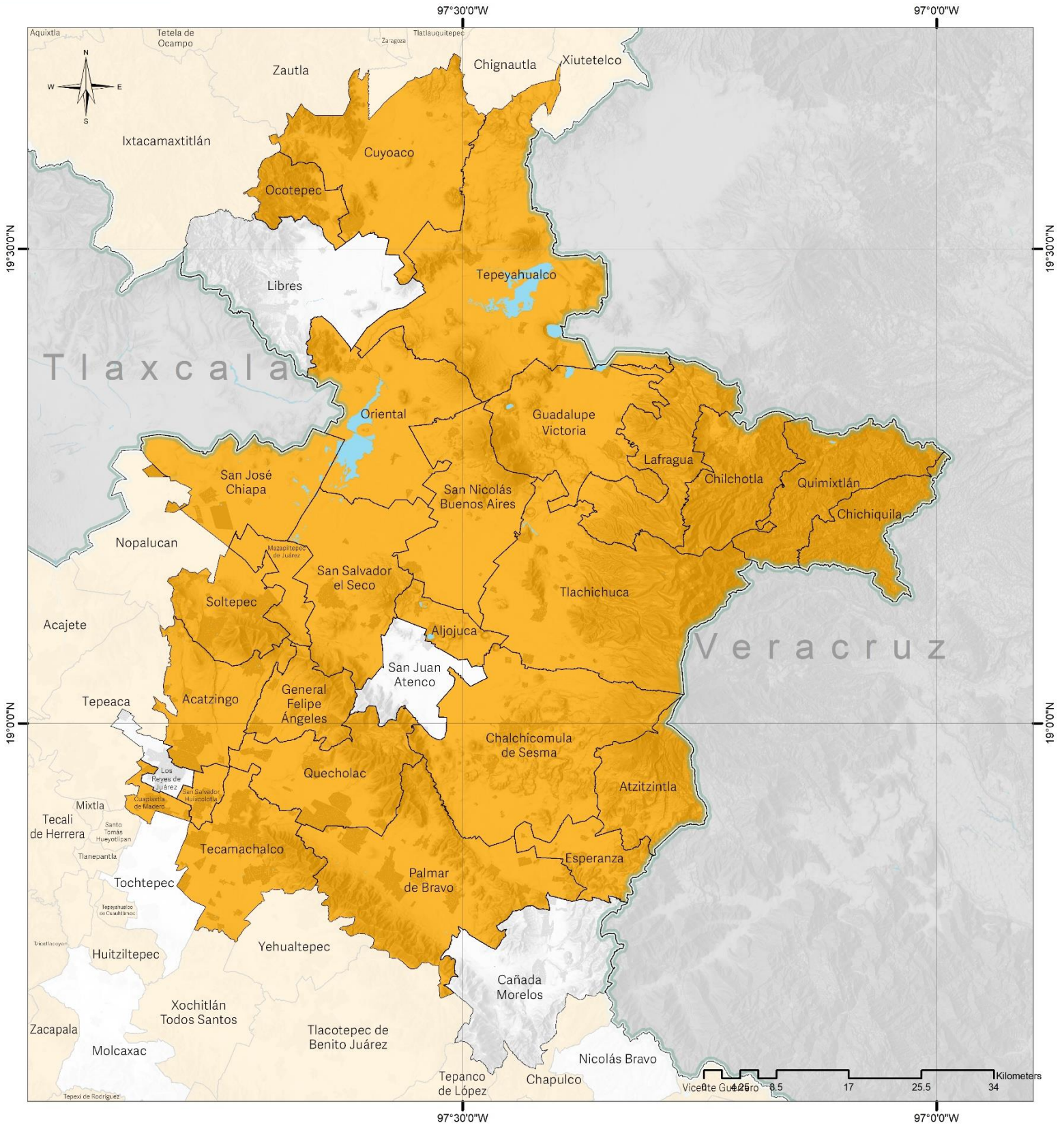


**M108. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual**  
**Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

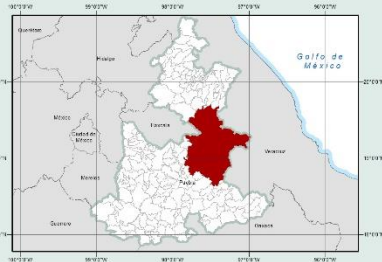




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

- Vulnerabilidad futura**
- 0
  - A



**M111. Vulnerabilidad Futura  
Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



## RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE EL ESTRÉS HÍDRICO.

En general las medidas para disminuir la vulnerabilidad de estos municipios van encaminadas a la disminución de la sensibilidad y al aumento de la capacidad adaptativa. Para disminuir la sensibilidad a la problemática del estrés hídrico en la agricultura se deben de implementar medidas que:

- Incrementen la resistencia de la vegetación natural al estrés hídrico, por medio de la restauración.
- Disminuir la erosión de suelos
- Promover condiciones de producción más resistentes como el uso de cultivos perennes.
- Mejorar la condición de los acuíferos.

Para aumentar la capacidad adaptativa:

- Promover la generación de instrumentos de gestión de riesgos. Muchos de estos municipios no cuentan con un Atlas Municipal de Riesgos.
- Promover áreas de conservación de la vegetación (ej. Áreas Naturales Protegidas, Pago por servicios ambientales)
- Promover la organización de los productores para que reciban asistencia técnica para mejorar la manera en que hacen uso del suelo y prácticas agrícolas y mejorar su acceso a programas como el de fomento agrícola.
- Acceso a seguros contra eventos climáticos.

En la siguiente tabla se muestran los 73 municipios con alta vulnerabilidad y de acuerdo con los criterios utilizados para evaluar su vulnerabilidad se hace referencia a las medidas anteriores que pudiesen aplicar para disminuir su sensibilidad o aumentar su capacidad adaptativa. Para todos estos municipios aplica el incrementar la cobertura de seguros y la conservación de vegetación.

Para más información sobre las medidas de adaptación revisar el capítulo correspondiente en el informe.

TABLA 4. MUNICIPIOS CON ALTA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE ESTRÉS HÍDRICO Y RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD.

| CLAVE MUNICIPIO | NOMBRE DEL MUNICIPIO         | NOMBRE DE LA REGIÓN     | INCREMENTAR LA RESISTENCIA DE LA VEGETACIÓN | DISMINUIR LA EROSIÓN DE SUELOS | PROMOVER MEJORES CONDICIONES DE PRODUCCIÓN | MEJORAR LA CONDICIÓN DE LOS ACUIFEROS | PROMOVER LA GENERACIÓN DE INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS | PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS PARA PREVENIR SEQUÍAS | PROMOVER LA ORGANIZACIÓN DE PRODUCTORES | SEGURO |
|-----------------|------------------------------|-------------------------|---|--------------------------------|--|---------------------------------------|--|--|---|--------|
| 21153           | Tecali de Herrera            | Angelópolis             | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21015           | Amozoc                       |                         | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21040           | Cuautinchán                  |                         | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21122           | San Felipe Teotlalcingo      |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21048           | Chiautzingo                  |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21151           | Santo Tomás Hueyotlipan      |                         | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21102           | Nealtican                    |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | No   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21171           | Tepeyahualco de Cuauhtémoc   |                         | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21020           | Atoyatempan                  |                         | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21181           | Tlaltenango                  |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21026           | Calpan                       |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21001           | Acajete                      |                         | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | No   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21163           | Tepatlatxco de Hidalgo       |                         | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21097           | Mixtla                       |                         | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21182           | Tlanepantla                  |                         | No  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21132           | San Martín Texmelucan        |                         | No  | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21073           | Huehuetlán el Chico          | Mixteca                 | Si  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21147           | Santa Inés Ahuatempan        |                         | No  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21047           | Chiautla                     |                         | No  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21193           | Tzicatlacoyan                |                         | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21079           | Huitziltepec                 |                         | No  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21003           | Acatlán                      |                         | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21095           | La Magdalena Tlatlauquitepec |                         | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21206           | Zacapala                     |                         | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21098           | Molcaxac                     |                         | No  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21157           | Tehuiztingo                  |                         | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21070           | Huatlatlauca                 |                         | No  | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21155           | Tecomatlán                   |                         | No  | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21112           | Petlalcingo                  |                         | No  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21141           | San Pedro Yeloixtlahuaca     |                         | No  | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21135           | San Miguel Ixtlán            |                         | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21011           | Albino Zertuche              |                         | No  | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21113           | Pixtla                       | No                      | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21032           | Cohetzala                    | No                      | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21205           | Yehualtepec                  | Tehuacán y Sierra Negra | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21036           | Coyomeapan                   |                         | Si  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |

| CLAVE MUNICIPIO | NOMBRE DEL MUNICIPIO        | NOMBRE DE LA REGIÓN       | INCREMENTAR LA RESISTENCIA DE LA VEGETACIÓN | DISMINUIR LA EROSIÓN DE SUELOS | PROMOVER MEJORES CONDICIONES DE PRODUCCIÓN | MEJORAR LA CONDICIÓN DE LOS ACUÍFEROS | PROMOVER LA GENERACIÓN DE INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE RIESGOS | PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS PARA PREVENIR SEQUÍAS | PROMOVER LA ORGANIZACIÓN DE PRODUCTORES | SEGURO |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|---|--------------------------------|--|---------------------------------------|--|--|---|--------|
| 21145           | San Sebastián Tlacotepec    | Sierra Norte              | Si  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21177           | Tlacotepec de Benito Juárez |                           | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | No                                      | Si     |
| 21046           | Chapulco                    |                           | No  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21187           | Tlaxco                      | Sierra Norte              | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21049           | Chiconcuautla               |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21091           | Juan Galindo                |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21111           | Pantepec                    |                           | Si  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21184           | Tlapacoya                   |                           | Si  | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21057           | Honey                       |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21008           | Ahuazotepec                 |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21197           | Xicotepec                   |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21167           | Tepetzintla                 |                           | Si  | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21033           | Cohuecan                    |                           | Valle Atlixco y Matamoros                   | No                             | No   | Si                                    | No   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21007           | Ahuatlán                    | No                        |   | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21021           | Atzala                      | Si                        |   | No                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21126           | San Jerónimo Tecuanipan     | No                        |   | Si                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21166           | Tepeojuma                   | No                        |   | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21051           | Chietla                     | Si                        |   | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | No                                      | Si     |
| 21159           | Teopantlán                  | No                        |   | No                             | No   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21176           | Tilapa                      | No                        |   | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21201           | Xochiltepec                 | No                        |   | No                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21133           | San Martín Totoltepec       | No                        |   | Si                             | Si   | No                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21185           | Tlapanalá                   | No                        | Si  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21148           | Santa Isabel Cholula        | No                        | Si  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21004           | Acatzingo                   | Serdán y Valles Centrales | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21065           | General Felipe Ángeles      |                           | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21058           | Chilchotla                  |                           | Si  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21093           | Lafragua                    |                           | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21152           | Soltepec                    |                           | Si  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21105           | Ocoatepec                   |                           | Si  | Si                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21144           | San Salvador Huixcolotla    |                           | No  | No                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21110           | Palmar de Bravo             |                           | No  | No                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21012           | Aljojuca                    |                           | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21038           | Cuapixtla de Madero         |                           | No  | Si                             | No   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      | Si     |
| 21094           | Libres                      | Si                        | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21096           | Mazapiltepec de Juárez      | No                        | No  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |
| 21170           | Tepeyahualco                | No                        | Si  | Si                             | Si   | Si                                    | Si   | Si   | Si                                      |        |

## VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES

Las inundaciones pueden causar distintos tipos de daños, estos incluyen la pérdida de cultivos, contaminación de los suelos, erosión de los suelos, pérdida de infraestructura, deposición de escombros y la propagación de especies invasivas (USDA, 2019).

Las inundaciones, así como otros desastres implican una serie de factores que pueden afectar su frecuencia e intensidad. El cambio climático, está aumentando las lluvias extremas, las cuales son una parte importante de los factores que pueden detonar una inundación. En cuanto a las inundaciones fluviales es probable que exacerbe la intensidad y frecuencia de las inundaciones extremas (Brunner, M.I., 2021).

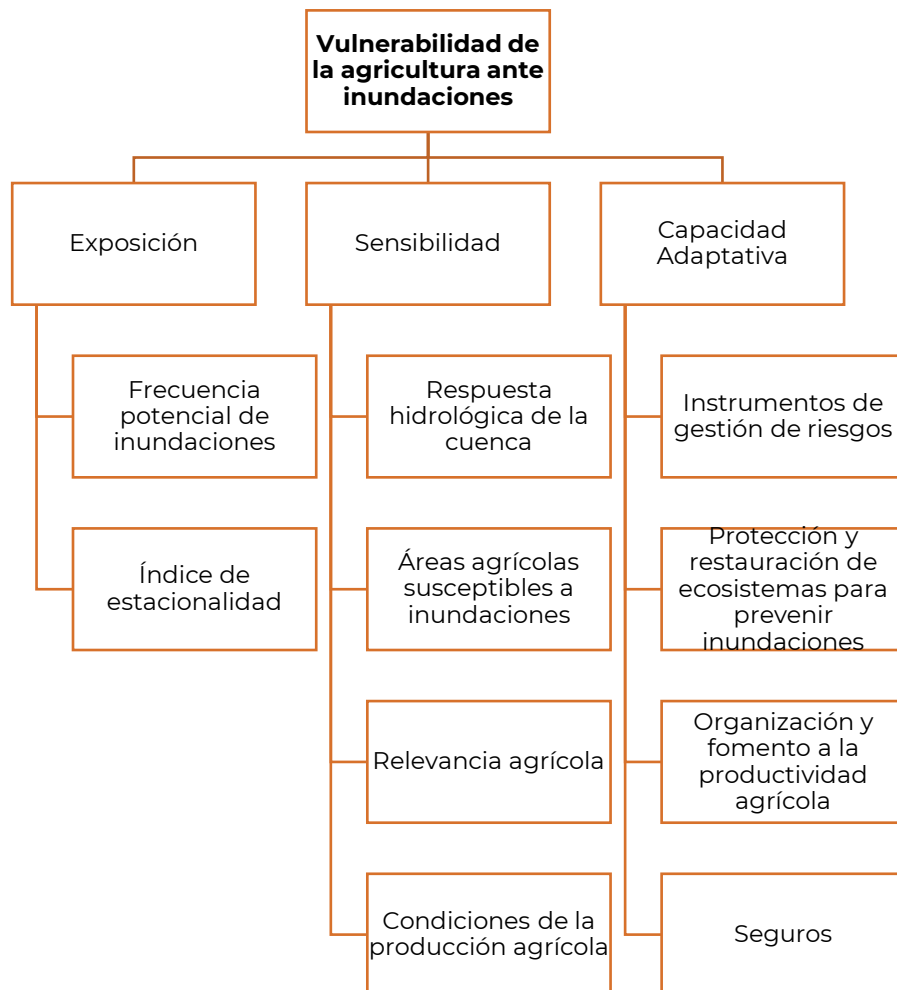


FIGURA 21. ÁRBOL JERÁRQUICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES.

En octubre de 1999, el estado de Puebla se vio afectado por fuertes lluvias que ocasionaron inundaciones, deslaves y desbordamiento de ríos, en especial en la región de la Sierra Norte, el cual tuvo fuertes daños en las actividades agropecuarias, representando un 10% de las pérdidas totales. El estado indico que el 30% de sus habitantes era población afectada (1,475,654), 263 defunciones, 81 municipios afectados (37% del total de municipios) y que 24% del estado (33,902 km<sup>2</sup>) había sufrido inundaciones (Bitrán, 2001). En 2022, la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla entrego apoyos a las comunidades de Álvaro Obregón por las afectaciones de las inundaciones al cultivo de maíz (SDR, 2022c).

Metodología para el análisis de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones y cambio climático.

### *Exposición de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Se usaron dos criterios para la construcción de la exposición actual y futura con escenarios de cambio climático la frecuencia potencial de inundaciones y el índice de estacionalidad de la lluvia. Para los datos actuales se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1 (base de datos Harris et al. 2014); se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1km<sup>2</sup>) (Fick and Hijmans, 2017). Para los cálculos a futuro se utilizaron los escenarios de cambio climático seleccionados: HadGEM3 ssp245 (2021-2040), HadGEM3 ssp245 (2081-2100), HadGEM3 ssp585 (2021-2040), HadGEM3 ssp585 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100). Se usaron como insumos la precipitación acumulada, y precipitación mensual, actual y futura.



FIGURA 22. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN ACTUAL Y FUTURA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES

## **Criterio 1. Frecuencia potencial de inundaciones**

Se pueden identificar zonas potenciales a inundarse por medio de la relación entre eventos de precipitación e inundaciones (CENAPRED, 2018; Froidevaux et al., 2015; Koutroulis et al., 2010; Stephens et al., 2015). En conjunto el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determinaron umbrales de precipitación a escala municipal, el cual sirve para alertar a los municipios de la posible ocurrencia de una inundación. A pesar de que este umbral está calculado en una escala temporal de horas, y como los escenarios de cambio climático se manejan de manera mensual o anual, se dividió el acumulado anual entre el umbral. La exposición se incrementa a medida que la frecuencia potencial de que se rebase el umbral aumenta.

### Variable 1.1 Precipitación acumulada

Para el cálculo de **precipitación acumulada** actual se descargaron los datos de los 12 meses del año, posteriormente se sumaron y se calculó el promedio para cada municipio del estado de Puebla. Para el cálculo futuro se obtuvo el promedio a nivel municipal para cada uno de los escenarios de cambio climático.

### Variable 1.2 Umbral municipal de inundación

Para poder prevenir posibles inundaciones, el CENAPRED, en conjunto con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), determinaron umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal. Si los valores de la precipitación sobrepasan este valor fijo entonces sería un detonador de posibles inundaciones. Así como las lluvias varían a lo largo del territorio nacional dependiendo de la climatología, el umbral también tendrá diferenciaciones; en regiones secas los valores serán menores que aquellos de lugares húmedos.

Se utilizaron como base los umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal elaborados por CONAGUA y CENAPRED.

## **Criterio 2. Índice de estacionalidad**

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad y se puede dividir entre meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez et al., 2008).

Para representar la estacionalidad se utilizó el Índice de Estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año.

Insumos:

- CONAGUA-CENAPRED (2016). Umbrales de inundación. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/indicadores-municipales.html>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- WorldClim (2020). WorldClim version 2.1 climate data for 1970-2000. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- WorldClim (2020). Future climate, 30 seconds spatial resolution. [https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim30s.html](https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html)

### *Sensibilidad de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

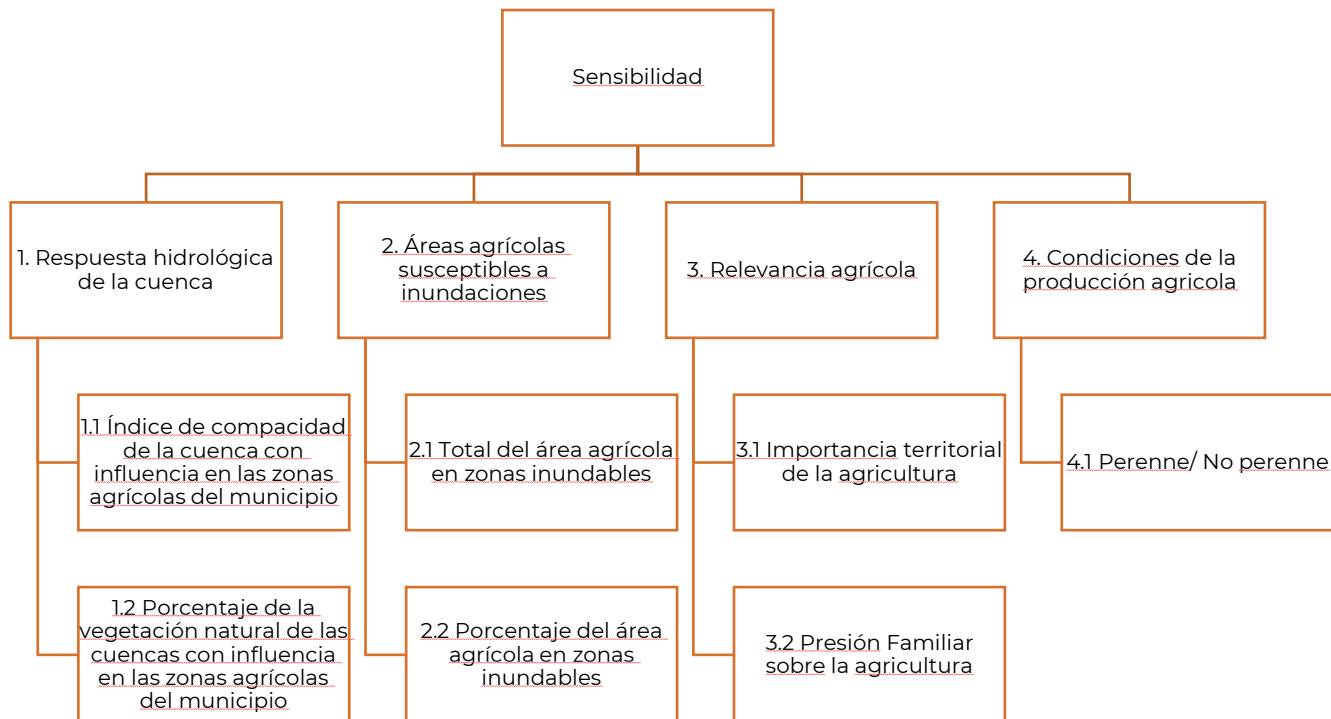


FIGURA 23. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE SENSIBILIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES

#### **Criterio 1. Respuesta hidrológica de la cuenca**

Al conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas se puede estimar los recursos hídricos aportados por éstas, su respuesta ante eventos extremos y de este modo disminuir los riesgos por crecidas fuertes (Álvarez et al., 2001). La forma de la cuenca tiene un efecto de cómo de concentran los flujos superficiales, entre más

circular más rápida la concentración de los flujos, generando picos súbitos violentos ante tormentas extraordinarias, características que favorecen el escurrimiento directo y eleva el riesgo a sufrir inundaciones (Ortiz-Vera, 2015). La vegetación natural de cuenca puede regular los flujos superficiales y los escurrimientos, aportando además otros importantes servicios ambientales como el mantenimiento de la calidad de agua, proteger los suelos de la erosión, controlar inundaciones, entre otros (Rey-Valencia y Zambrano, 2018).

### Variable 1.1 Índice de compacidad de la cuenca con influencia en las zonas agrícolas del municipio

Para el cálculo de **índice de compacidad de la cuenca**, con influencia en las zonas agrícolas del municipio, se tomó el Índice de Compacidad de la Cuenca (INECC, 2019), se asoció el valor de cuenca a cada municipio, posteriormente se calculó el promedio de los valores a nivel municipal.

### Variable 1.2 Porcentaje de vegetación natural de las cuencas con influencia en las zonas agrícolas del municipio

Para el **Porcentaje de vegetación natural de las cuencas con influencia en las zonas agrícolas del municipio**, se sumaron las clases de vegetación primaria y secundaria para cada cuenca, de la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI, se calculó el porcentaje del área respecto al total de municipio.

Fuentes de datos utilizadas para el cálculo de índices:

- INECC (2019). Índice de compacidad de las cuencas. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio climático.
- INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)
- CONAGUA (2010). Cuencas Hidrológicas.  
<https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=10>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>



## **Criterio 2. Áreas agrícolas susceptibles a inundaciones**

Es necesario conocer los lugares del municipio que pueden ser perturbados por inundaciones, en este caso en especial las zonas donde se desarrolla la agricultura, al ser estos sitios son más susceptibles a las afectaciones que conllevan estos eventos como pueden ser las pérdidas de las cosechas, además que pueden destruir infraestructura física y perturbar las actividades socioeconómicas vinculadas al sector agrícola y afectar la producción de alimentos. Lo que finalmente reduce la disponibilidad, accesibilidad, utilización y estabilidad de los alimentos en una región (Atanga RA & Tankpa V, 2021).

### Variable 2.1 Total del área agrícola en zonas inundables

Para el cálculo del **Total del área agrícola en zonas inundables**, se extrajeron las subclases asociadas a agricultura de riego y temporal, de la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI, se sumaron espacialmente a nivel municipal. Dicha información se sobrepuso con la capa de datos de CONAGUA, del índice de inundabilidad periodo de retorno de 100 años, se calculó la superficie total de coincidencia.

### Variable 2.2 Porcentaje del área agrícola en zonas inundables

Para el cálculo de **porcentaje del área agrícola en zonas inundables**, se extrajeron las subclases asociadas a agricultura de riego y temporal, de la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI, se sumaron espacialmente a nivel municipal. Dicha información se sobrepuso con la capa de datos de CONAGUA, del índice de inundabilidad periodo de retorno de 100 años, se calculó la superficie total de coincidencia. Se calculó el porcentaje respecto a la superficie total agrícola del municipio.

#### Insumos:

- INEGI (2017). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)
- CONAGUA (2019). Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH) en el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI). Región Centro. Índice de inundabilidad, periodo de retorno 100 años. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>

### **Criterio 3. Relevancia Agrícola**

La demanda alimentaria generada por el aumento de la población puede provocar que se degraden las tierras por el mal manejo de estas. Factores como la importancia territorial agrícola y la presión familiar sobre la tierra tiene influencia sobre como se usa y aprovecha la tierra. Esta presión puede agravarse si se agrega un estresor como por la pérdida de cosechas por inundaciones (Atanga RA & Tankpa V, 2021).

#### Variable 3.1 Importancia territorial agrícola

Para el cálculo de **importancia territorial agrícola** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener los datos de unidades de producción agrícola y las hectáreas que laboran. Además de los datos del SIAP para obtener el dato de valor de producción entre el volumen de producción.

#### Variable 3.2 Presión familiar sobre la tierra

Para la **presión familiar sobre la tierra** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener el número de dependientes de los productores agrícolas.

Insumos:

- INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal:  
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>
- SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en:  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

### **Criterio 4. Condición de producción**

Los cultivos perennes tienden a ser más resistentes a las inundaciones y sequías (Blom et al., 1990).

#### Variable 4.1 Proporción de la modalidad de cultivo

Para el cálculo de este índice se utilizaron los datos del SIAP para obtener la información sobre el tipo de cultivos (perenne o no perenne) y el área de superficie sembrada, así como la información del tipo de modalidad en que lo cultivan (Temporal o Riego) y se calcularon las proporciones por municipio.

Fuentes de datos utilizadas para el cálculo de índices:

- SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en:  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

## Capacidad Adaptativa de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones

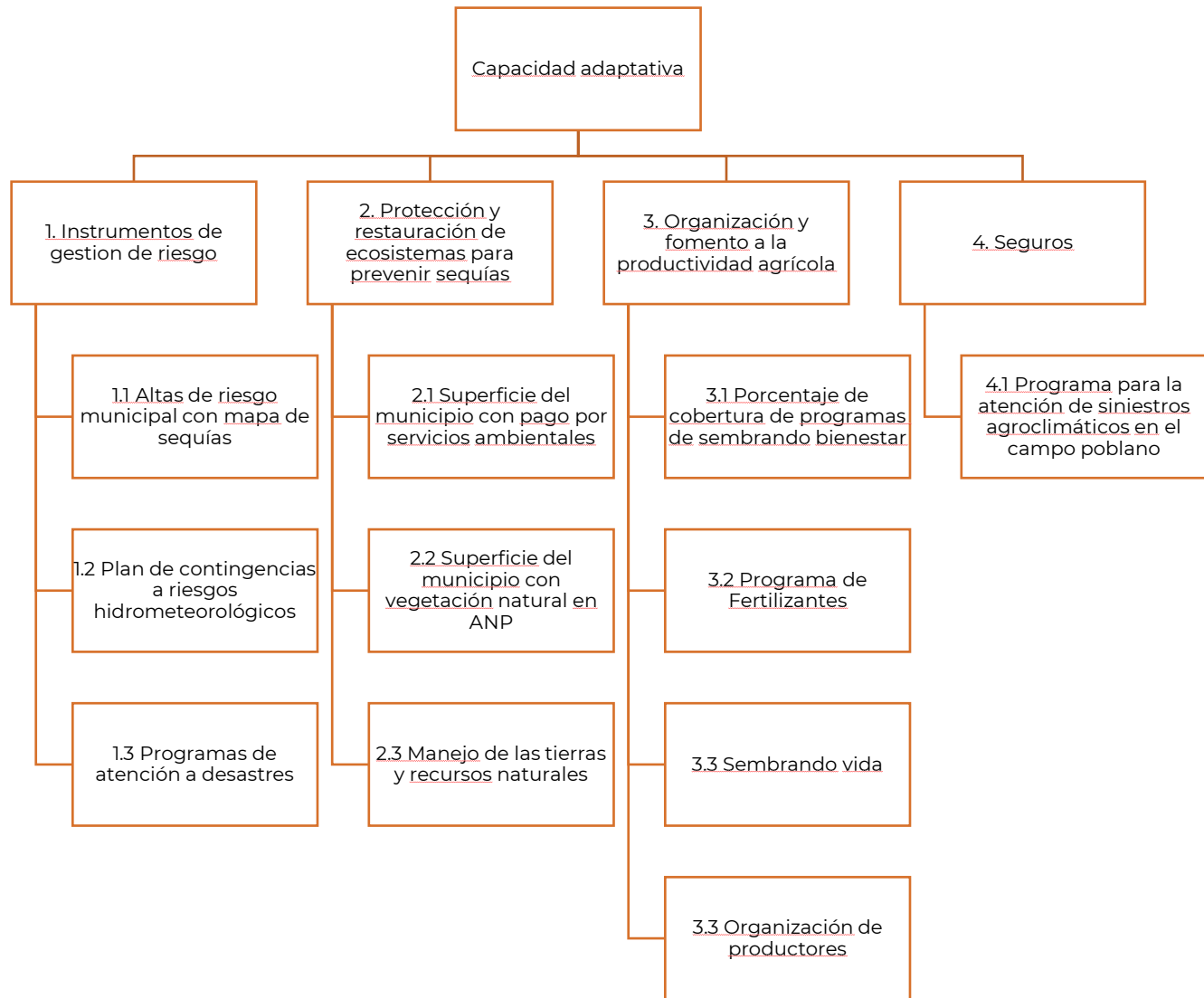


FIGURA 24. VARIABLES DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ADAPTATIVA DE LA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES

### Criterio 1. Instrumentos para la gestión de riesgos

La gestión del riesgo da a conocer los peligros que pueden presentarse ante la variabilidad climática y el cambio climático, y además se deben de integrar los mecanismos para afrontar los desafíos que conllevan los desastres asociados (Ulloa, 2011). Por ello este criterio se usaron dos insumos, los atlas de riesgo municipal, y los programas de atención a desastres.

### Variable 1.1 Atlas de Riesgo Municipal y mapa de riesgo por sequía.

Los **atlas de riesgo municipal** son una herramienta que apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio y la afectación de la población. Se asignaron valores 0, 1 y 2, donde:

- 0 - Indica que no tiene atlas de riesgo municipal.
- 1 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal pero no tiene mapa de sequía.
- 2 - Indica que se cuenta con atlas de riesgo municipal y tiene mapa de inundaciones.

### Variable 1.2 Planes de contingencia contra riesgos hidrometeorológicos

Los **Planes de contingencia contra riesgos hidrometeorológicos** son instrumentos de planeación del que disponen las autoridades municipales de Protección Civil para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a las situaciones de emergencia causadas por fenómenos destructivos de origen natural (INAFED, s/f). Se asignaron valores 0 y 1, donde:

- 1 - Se cuenta con plan de contingencias.
- 0 - No se cuenta con plan de contingencias.

### Variable 1.3 Programas de atención a desastres.

Los **programas de atención a desastres** son un componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoquen afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018). Se asignaron valores 0, y 1, donde:

- 0 - Indica que el municipio no ha tenido apoyo del Programa.
- 1 - Indica que el municipio sí ha tenido apoyo del Programa.

### Insumos:

- CENAPRED (2010-2020). Cobertura de Atlas Municipales. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/cob-atlas-municipales.html>
- SADER (2018). Monto y número de hectáreas y/o unidades animales apoyadas de SAGARPA. Datos Abiertos: <https://datos.gob.mx/busca/dataset?organization=agricultura>
- INEGI (2015). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Protección civil. Administración Pública Municipal o Delegacional. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2015/>

## **Criterio 2. Protección y restauración de ecosistemas para prevenir sequías**

Los programas de conservación promueven el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y así contribuyen tanto al equilibrio y la continuidad de los procesos ecológicos, y la oferta de los servicios ecosistémicos. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (OEA, 2008).

### Variable 2.1 Superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales

Para la **superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio bajo el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

### Variable 2.1 Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas

Para la **Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas federales y estatales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio con alguna categoría de vegetación natural (primario o secundaria) en Áreas Naturales Protegidas (ANP), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

### Variable 2.1 Manejo de las tierras y recursos naturales

Para **el manejo de las tierras y recursos naturales**, se tomó en cuenta si el municipio contaba con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Puebla por medio del programa Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua.

Insumos:

- INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)
- CONAFOR (2018). Pago por Servicios Ambientales. Disponible en:  
<https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/PSA>

- CONANP (2018). Áreas Naturales Protegidas.  
[http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato\\_SHAPE\\_ANPS.html](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato_SHAPE_ANPS.html)
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- SEMADOT (2019). Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua.  
<https://buscador.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/buscadornacional?buscador=Obras%20de%20Infraestructura%20Productiva%20para%20el%20Aprovechamiento%20Sustentable%20de%20Suelo%20y%20Agua&coleccion=5>

### **Criterio 3. Organización y fomento a la productividad agrícola**

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tecnológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sanitarias, integración vertical y horizontal (FAO, s/f).

Variable 3.1 Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola

**Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola**, se obtuvieron los datos a nivel municipal de los beneficiarios del programa llamado productores que reciben programa sembrando bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Variable 3.2 Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes SADER

**Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes**, se obtuvo el porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos del programa de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

Variable 3.3 Programa de Bienestar (Sembrando Vida)

**Programa de Bienestar (sembrando vida)**, se obtuvieron por municipio el número de beneficiarios y del porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos de la Secretaría de Bienestar.

## Variable 3.4 Organización de productores

**Organización de productores** el dato se obtuvo del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, y se obtuvieron los datos de las organizaciones que recibieron alguna capacitación.

Insumos:

- INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal:  
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>
- Padrón único de Beneficiarios. Beneficiarios de programas federales:  
<https://pub.bienestar.gob.mx/pub>

## Criterio 4. Seguros

Los seguros forman parte de la gestión de riesgos en la producción agropecuaria. Permiten gestionar los peligros inherentes en la cadena de valor alimentario, a estabilizar los ingresos agropecuarios y fomentan la inversión. Por ello derivan en un impacto positivo sobre la resiliencia y como consecuencia en el desarrollo económico (SHCP, 2017).

### Variable 4.1 Programa para la atención de siniestros agroclimáticos en el campo poblano

Se obtuvieron los datos a nivel municipal que habían sido apoyados por el seguro catastrófico de la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla por medio del Programa para la atención de siniestros agroclimáticos en el campo poblano.

Insumos:

- Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla (2020). Seguro Catastrófico. Página de transparencia. Descarga:  
[https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151\\_1635986818\\_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx](https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151_1635986818_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx)

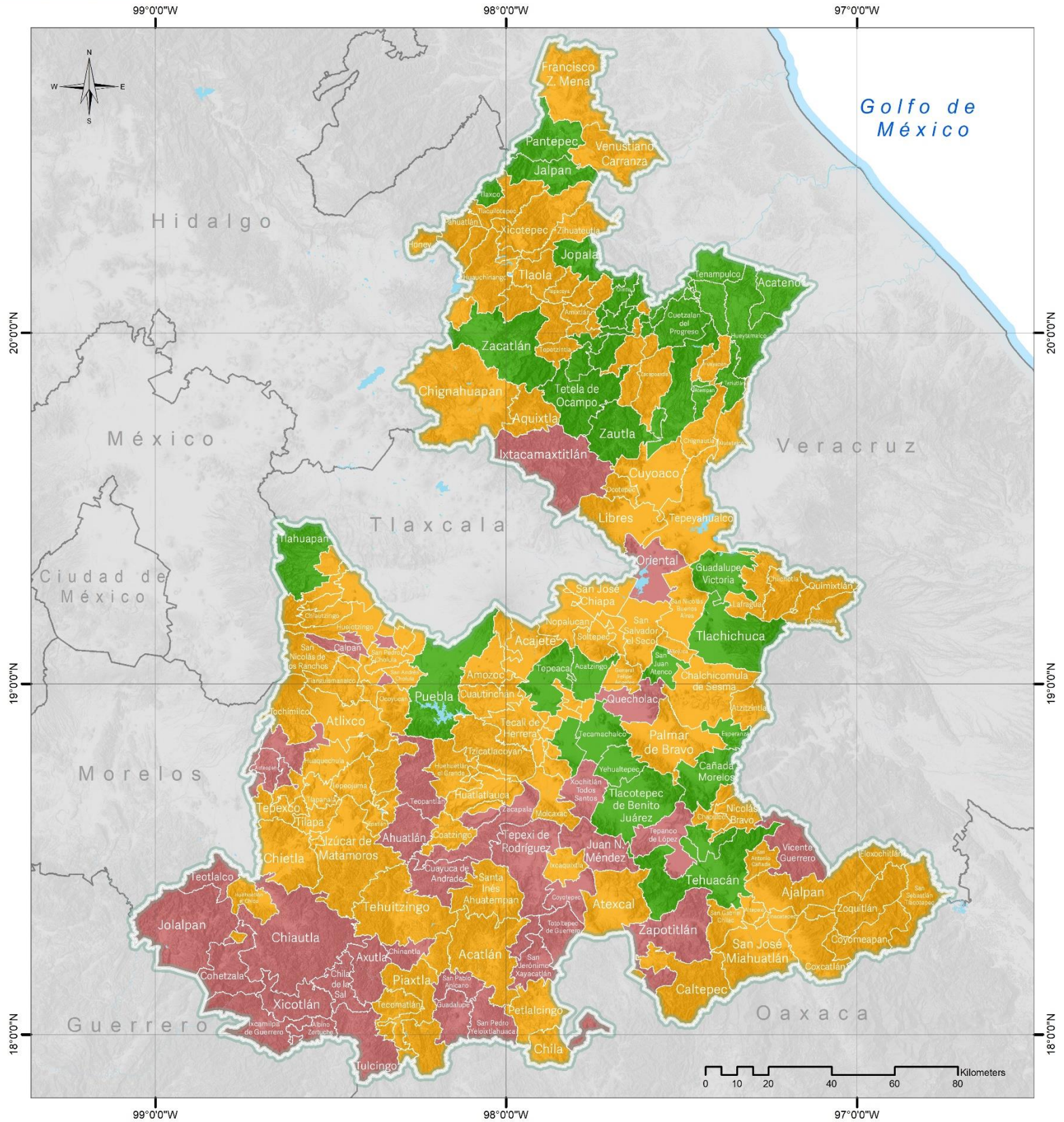
## Resultados del análisis de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.

El análisis de vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones arroja que 41 municipios de Puebla, de los 217, presentan vulnerabilidad alta: 3 en la región de Angelópolis, 25 en la región Mixteca, 3 en la Sierra Negra, 1 en la Sierra Norte, 7 en el Valle de Atlixco y 2 en el Valle de Serdán.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 112).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 113).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 114).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 115).





**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por Inundación**

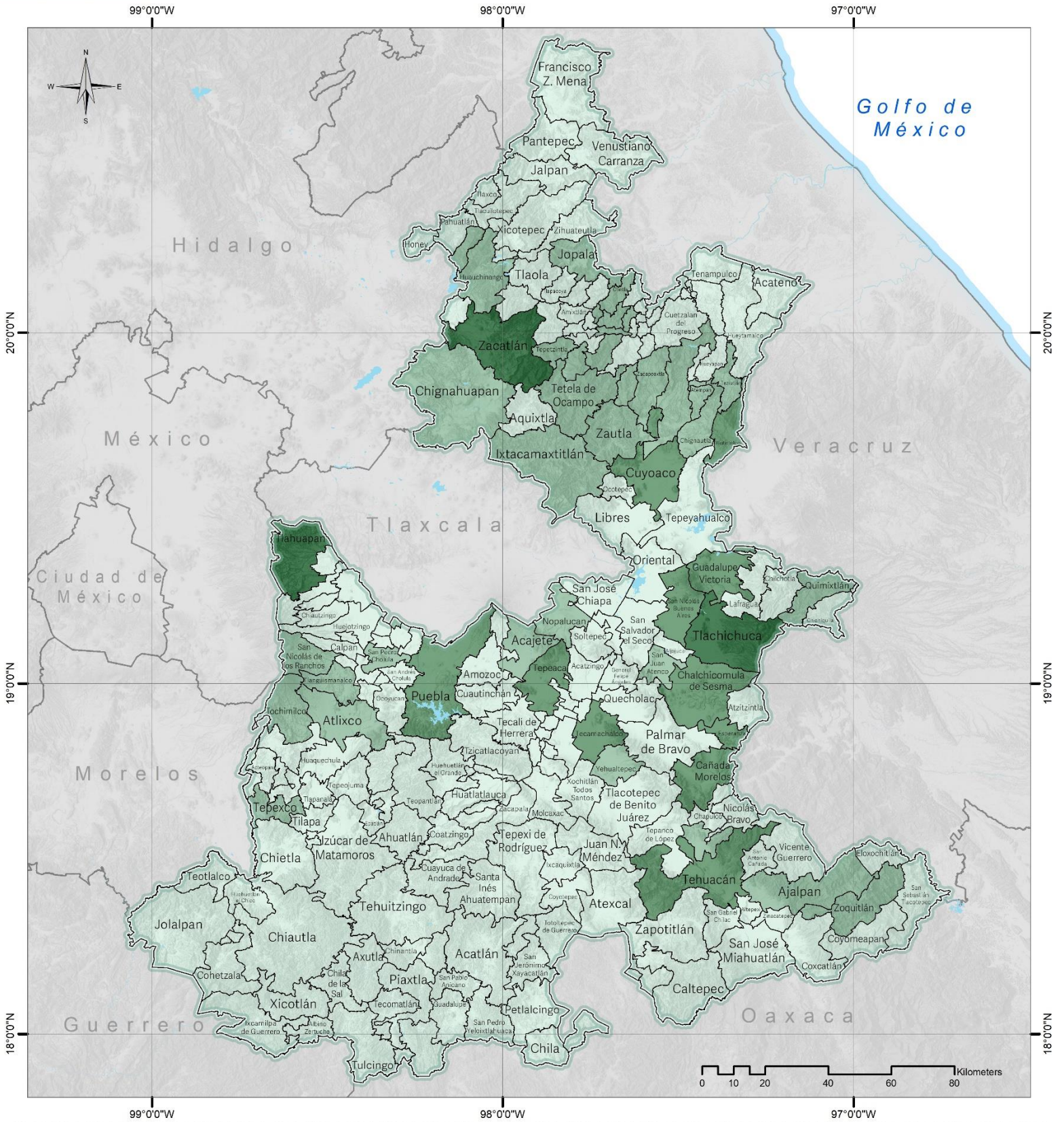
- Clasificación**
- Alta
  - Media
  - Baja



**M112.Vulnerabilidad por Inundaciones**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

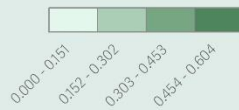
Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Límite del Estado de Puebla
- Cuerpos de agua
- Límite estatal

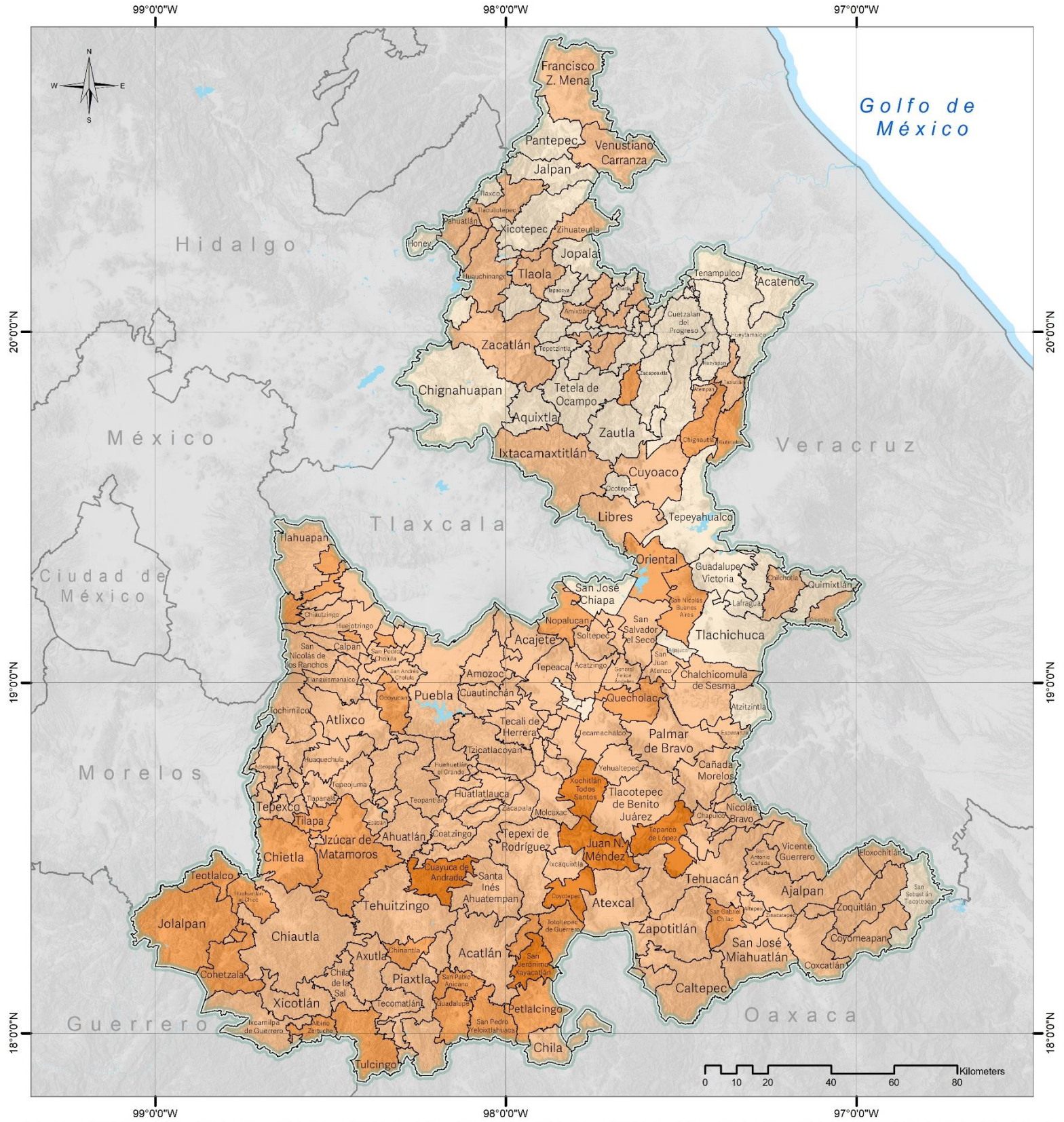
**Capacidad adaptativa**



**M113. Vulnerabilidad por Inundaciones. Capacidad Adaptativa**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

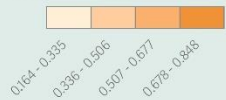
Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Límite del Estado de Puebla
- Cuerpos de agua
- Límite estatal

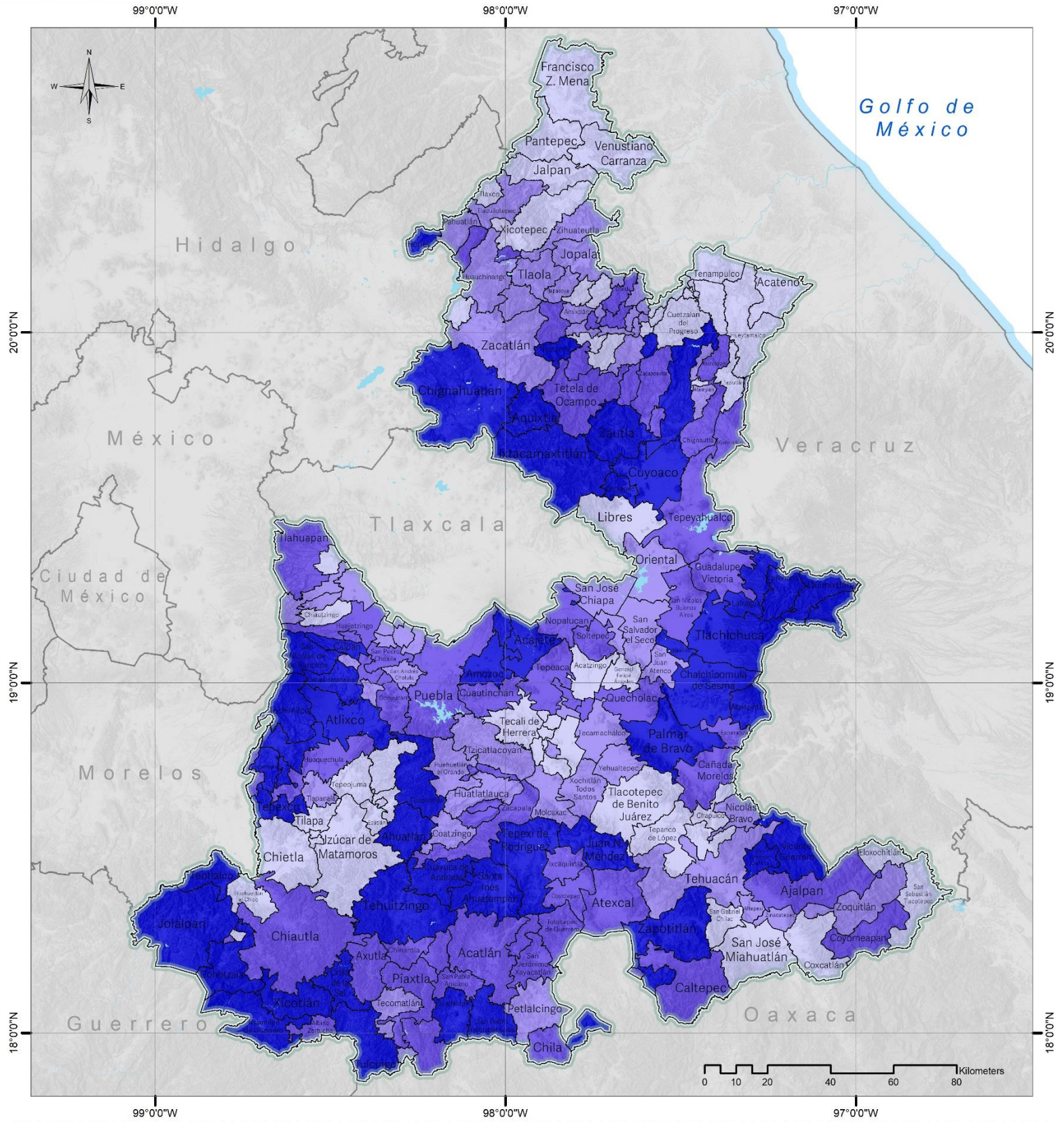
**Exposición**



**M114. Vulnerabilidad por Inundaciones. Exposición**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

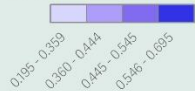
Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008



**Simbología**

- Límite municipal
- Límite del Estado de Puebla
- Cuerpos de agua
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M115. Vulnerabilidad por Inundaciones. Sensibilidad**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC  
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP  
Datum: ITRF 2008

## *Resultado región Angelópolis de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Los municipios más vulnerables en la región son Calpan, Domingo Arenas y Juan C. Bonilla.

En los mapas M117 y M121, se muestra los cambios en la vulnerabilidad por modelo HADGEM y MPI para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) 245 y 585, y el futuro lejano. Para la región de Angelópolis podemos notar una variedad en los resultados de la vulnerabilidad, por ejemplo, para el municipio de Tepatlaxco de Hidalgo podemos observar que los dos modelos coinciden en el aumento de la vulnerabilidad a futuro, pero el aumento es mayor en el SSP 245. En cambio, para el municipio de Chiautzingo podemos observar una disminución en la vulnerabilidad. En cambio, para el municipio de Puebla podemos observar una estabilidad en la vulnerabilidad.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 25 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad.

De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos. Se observa que varios de los municipios altamente vulnerables (ejemplo Calpan) pueden presentar aumento en su vulnerabilidad por lo que el aumento de capacidad adaptativa es de gran relevancia en la clase alta y media, pues ambas presentan aumento en las proyecciones a futuro.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 116).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 117).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 118).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 119).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 121).

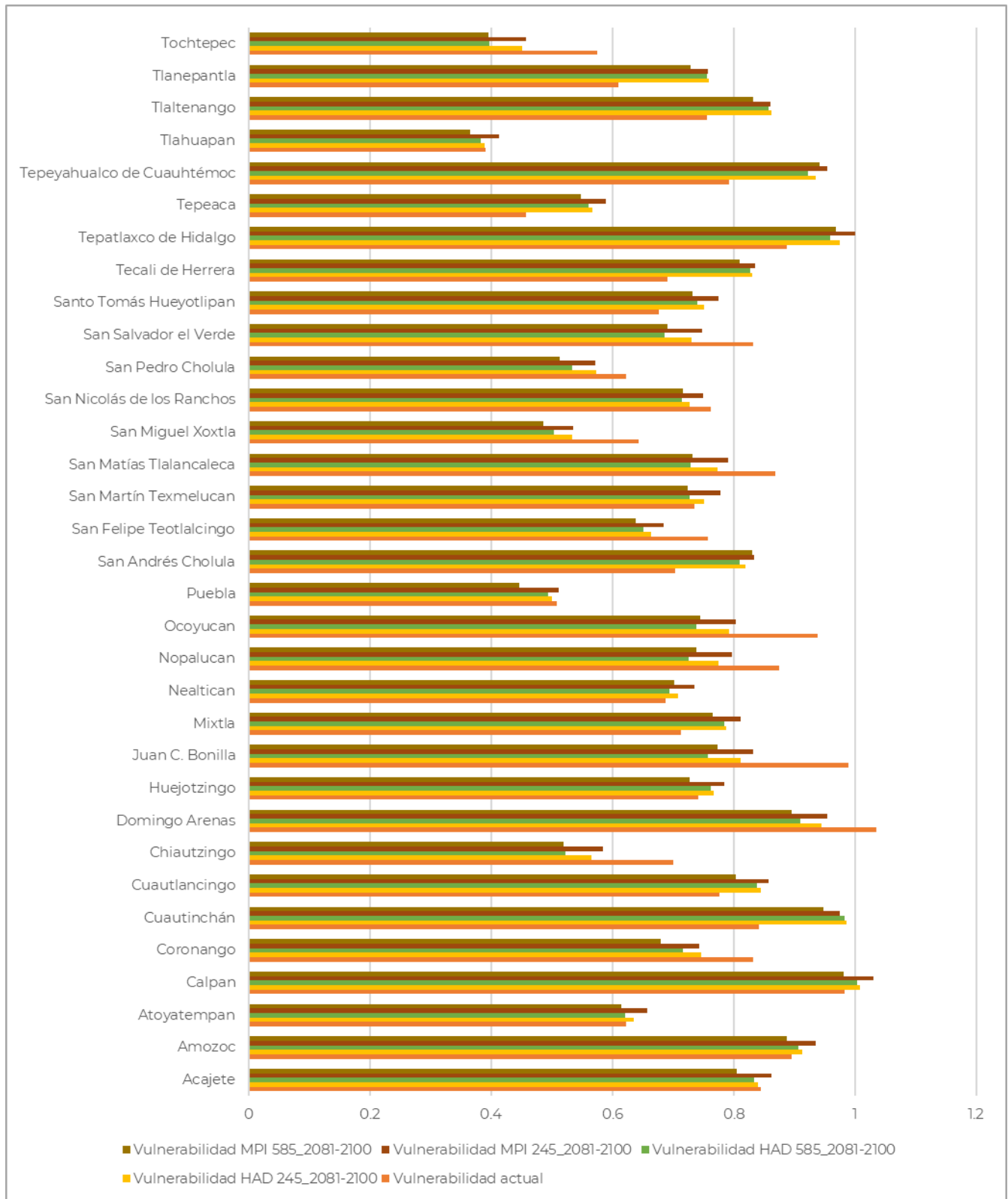
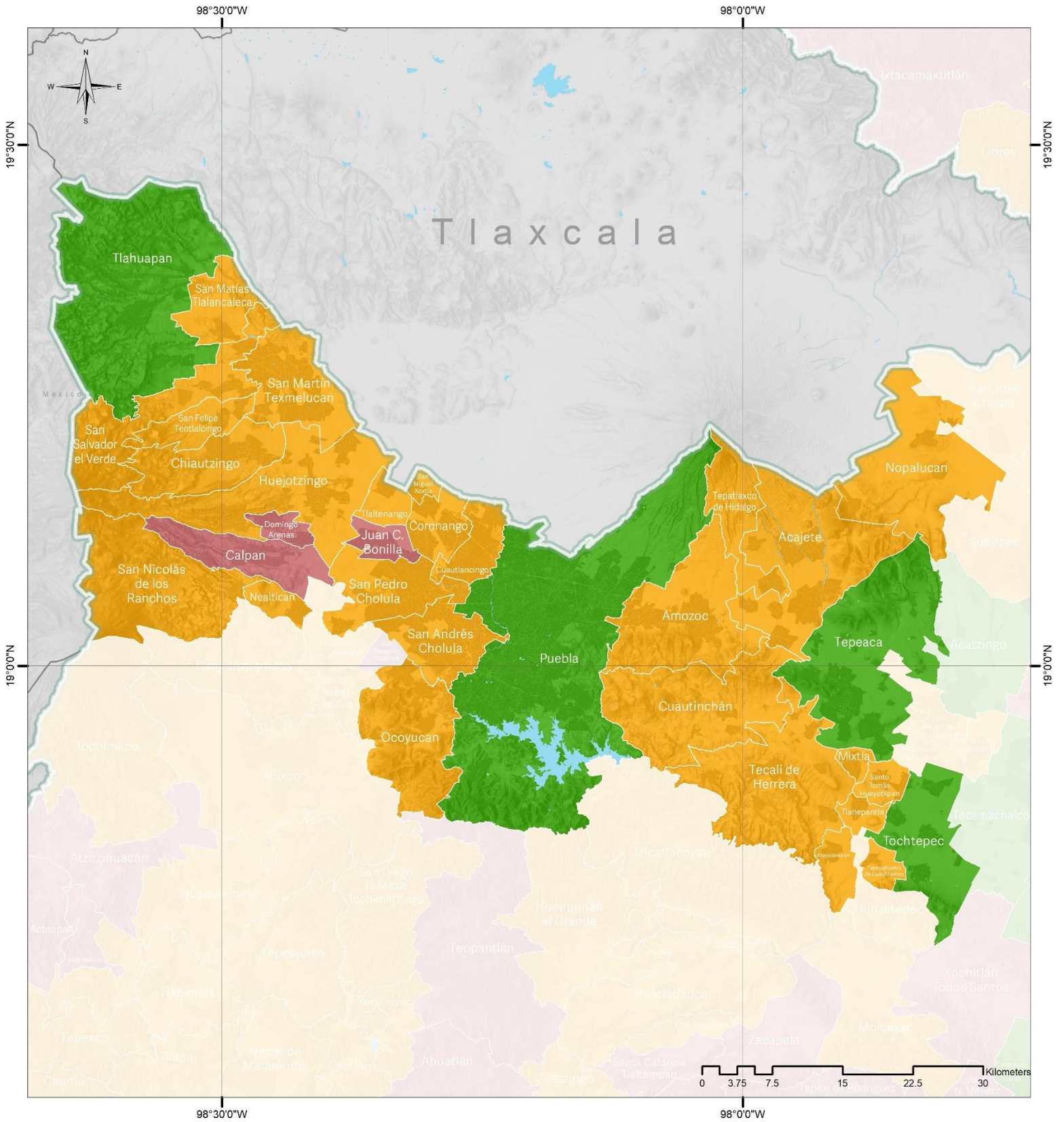


FIGURA 25. GRÁFICA DE LA REGIÓN ANGELÓPOLIS: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

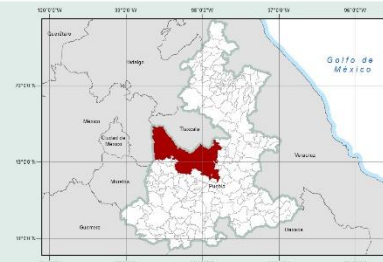


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

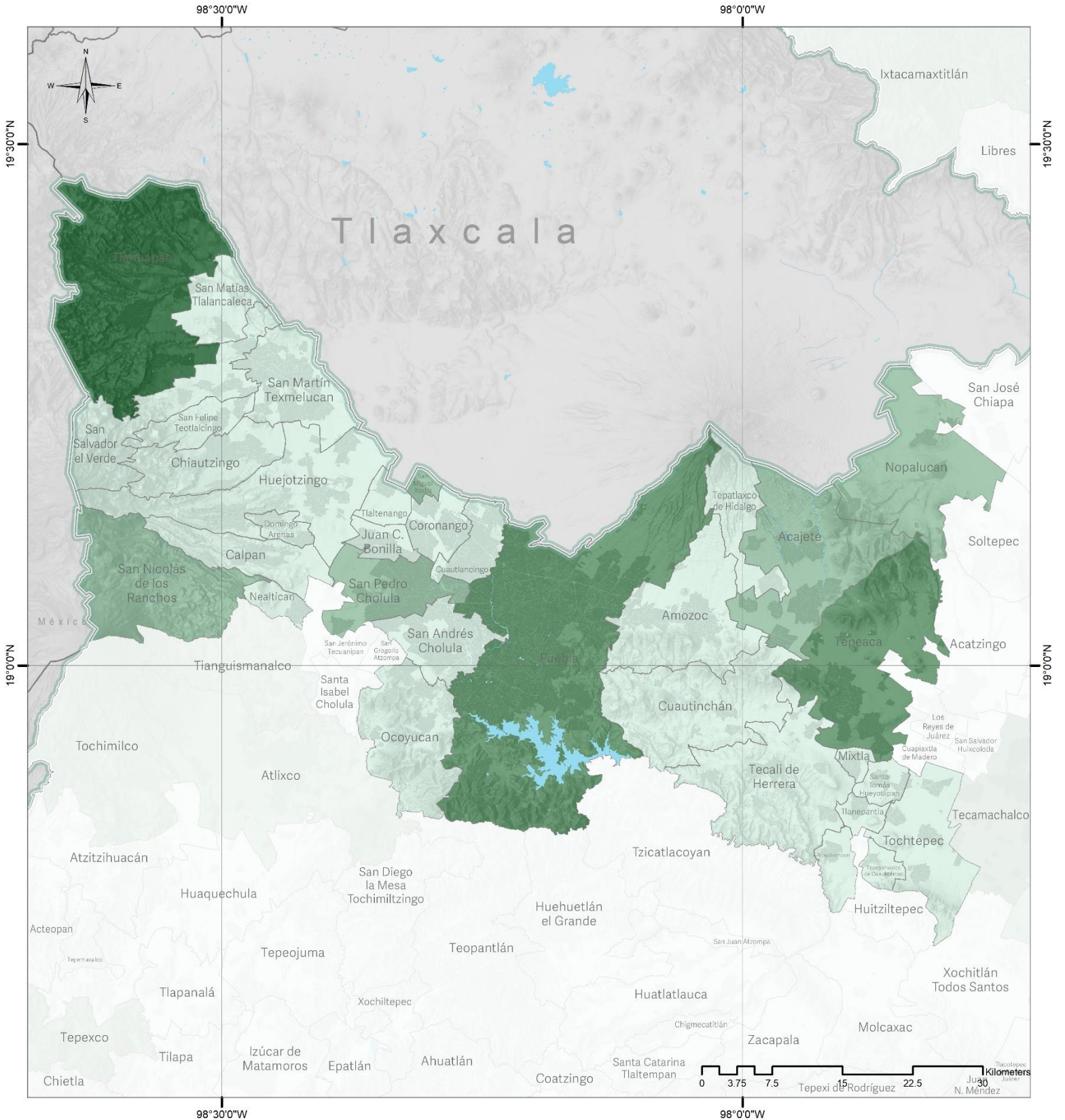
- Alta
- Media
- Baja



**M116. Vulnerabilidad por inundaciones  
Región Angelópolis**

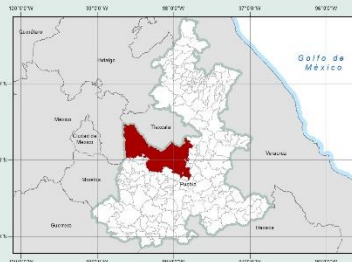
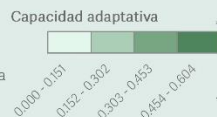
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

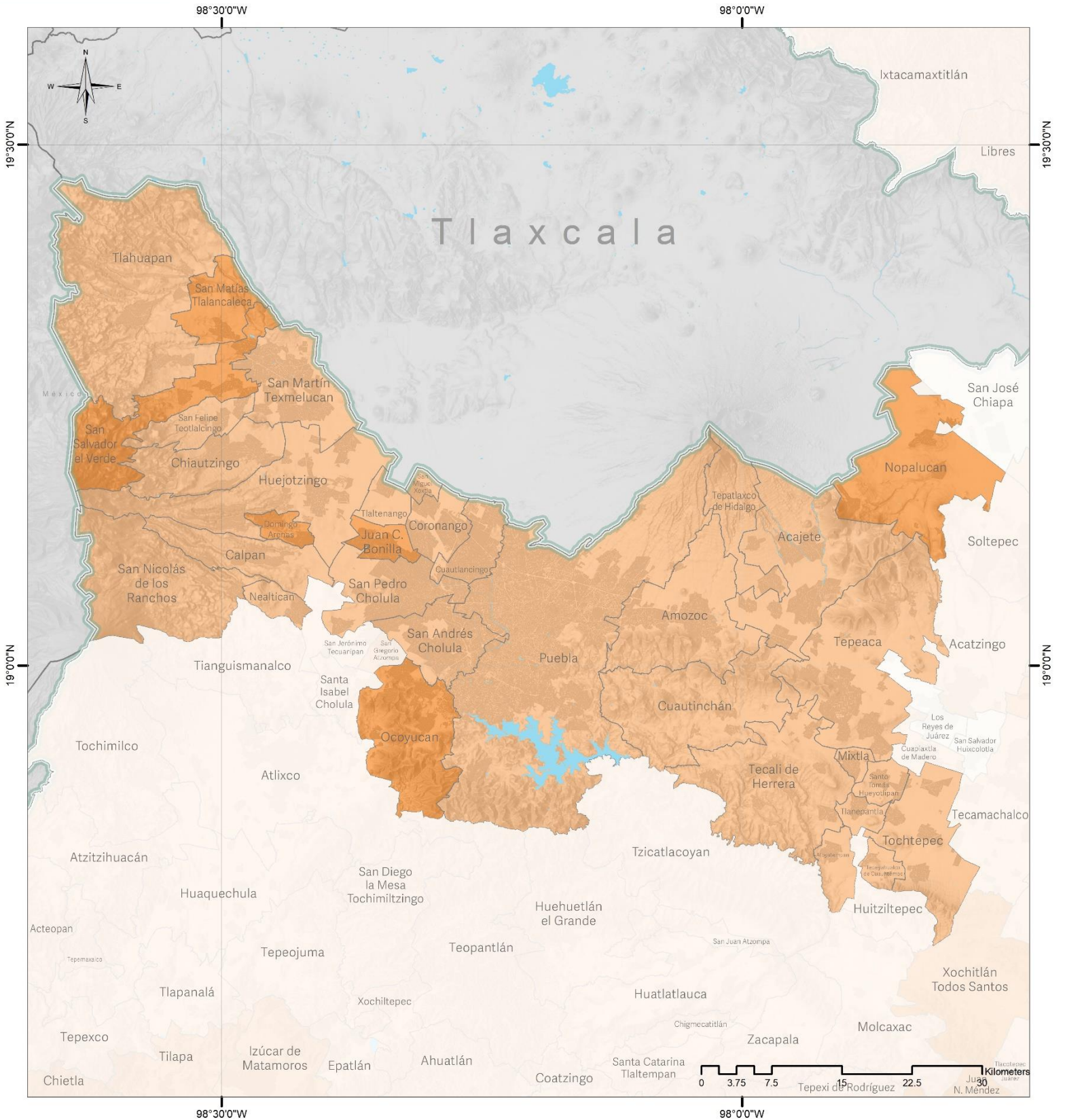


**M117. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Capacidad Adaptativa  
Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

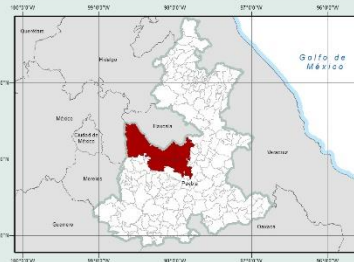
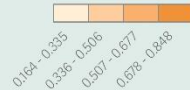




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

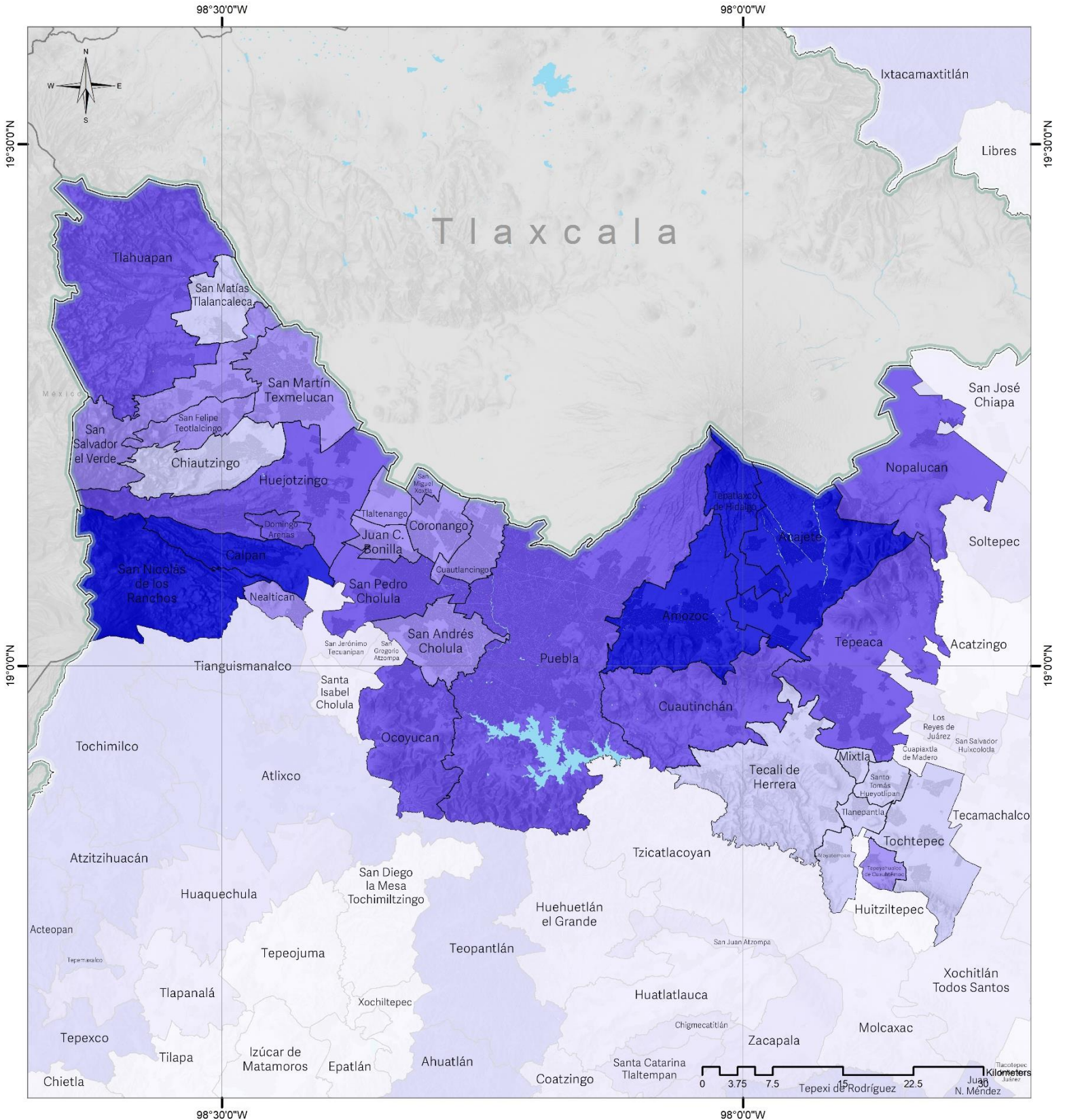
**Exposición**



**M118. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**  
**Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

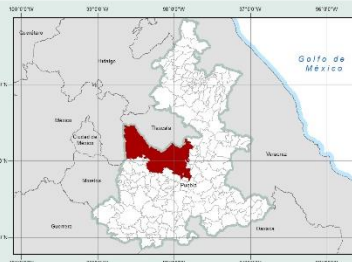
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M119. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad**

**Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

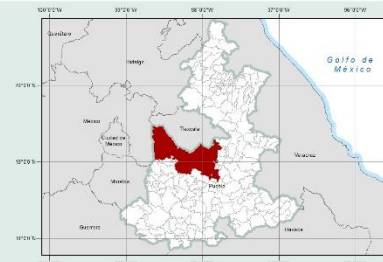


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

- 0
- A



**M121. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Región Angelópolis**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Mixteca de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región Mixteca son: Albino Zertuche, Axutla, Cohetzala, Coyotepec, Cuayuca de Andrade, Chiautla, Chila de la Sal, Chinantla, Guadalupe, Ixcamilpa de Guerrero, Jolalpan, Juan N. Méndez, San Jerónimo Xayacatlán, San Miguel Ixitlán, San Pablo Anicano, San Pedro Yeloixtlahuaca, Santa Catarina Tlaltempan, Teotlalco, Tepexi de Rodríguez, Totoltepec de Guerrero, Tulcingo, Xayacatlán de Bravo, Xicotlán, Xochitlán Todos Santos y Zacapala.

En los mapas M123 y M127, se ve los cambios en la vulnerabilidad por modelo HADGEM y MPI para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) 245 y 585, y el futuro lejano. En la región Mixteca se muestra una variedad de resultados, algunos municipios disminuyen su vulnerabilidad mientras en otros aumenta. Un ejemplo de disminución es el municipio de Cuayuca de Andrade (el de mayor vulnerabilidad en la región) se proyecta con los escenarios una disminución en la vulnerabilidad. En cambio, el municipio de Guadalupe presenta un aumento en la vulnerabilidad.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 26 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos. En la Figura 26, se observa que varios de los municipios altamente vulnerables pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio, y el aumento de capacidad adaptativa es de gran relevancia en la clase alta y media, pues ambas presentan aumento en las proyecciones a futuro.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 122).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 123).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 124).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 125).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 127).

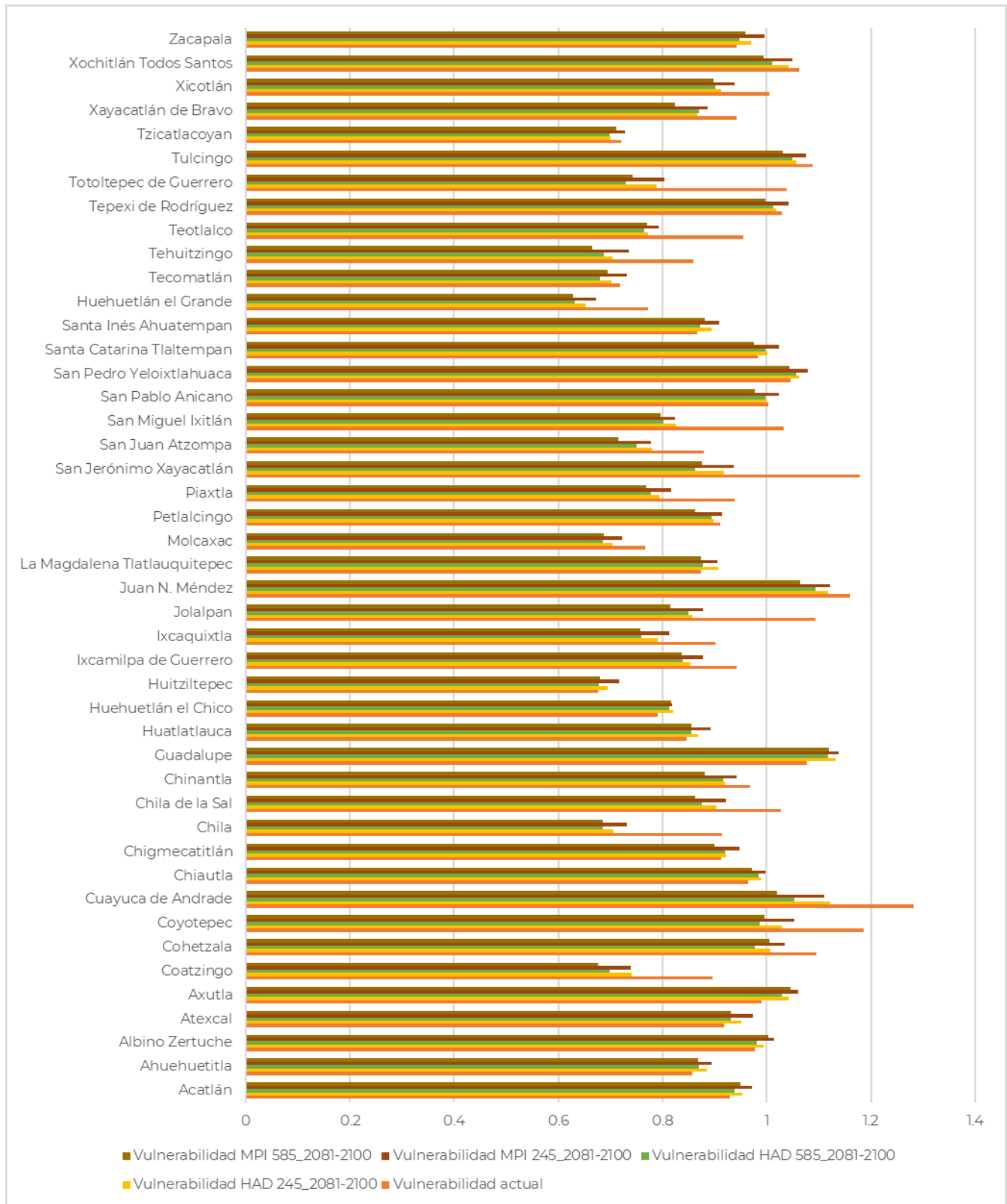
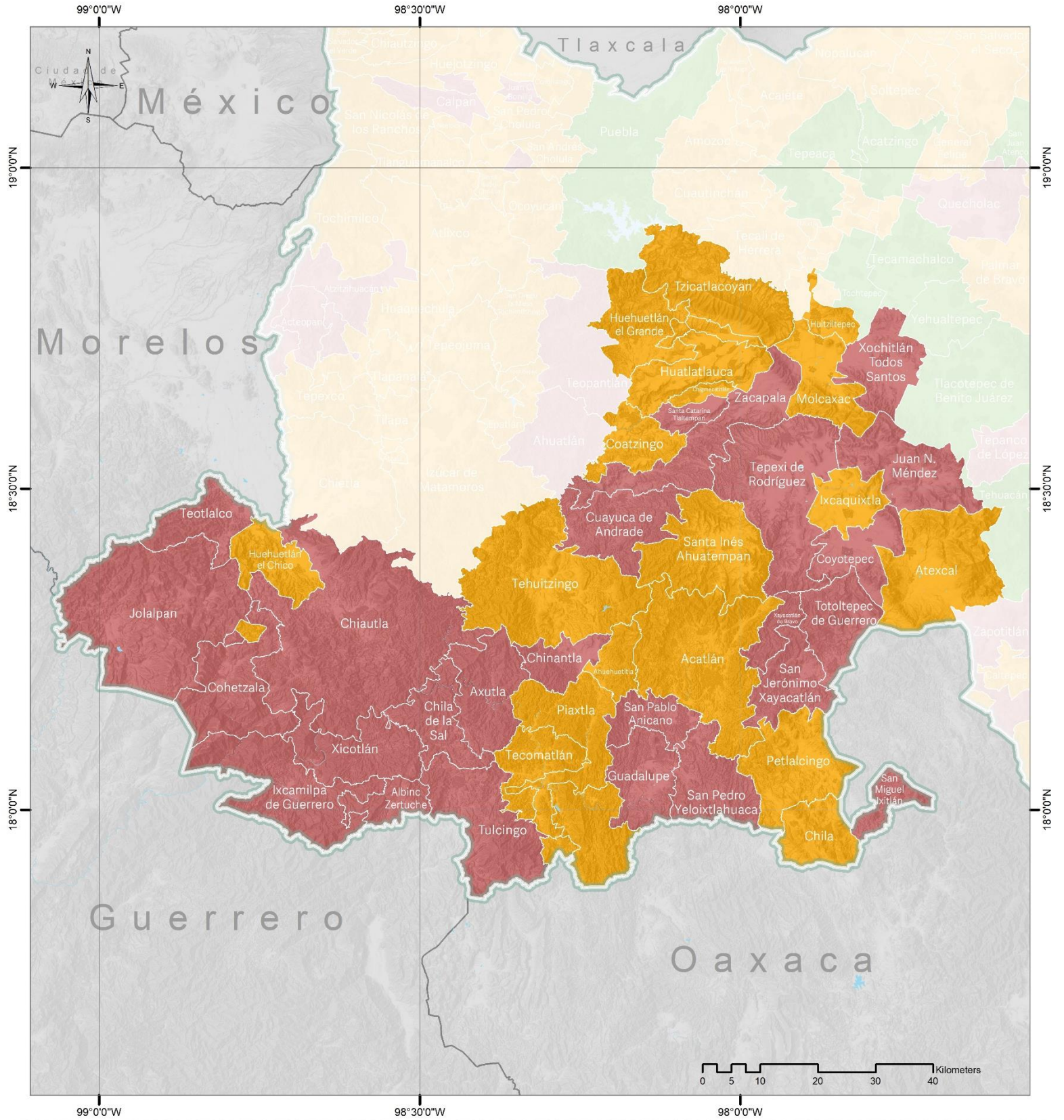


FIGURA 26. GRÁFICA DE LA REGIÓN MIXTECA: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

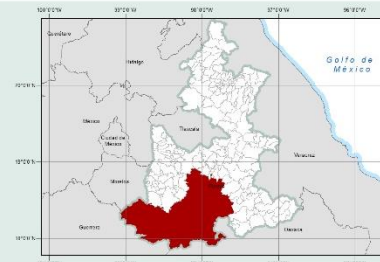


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

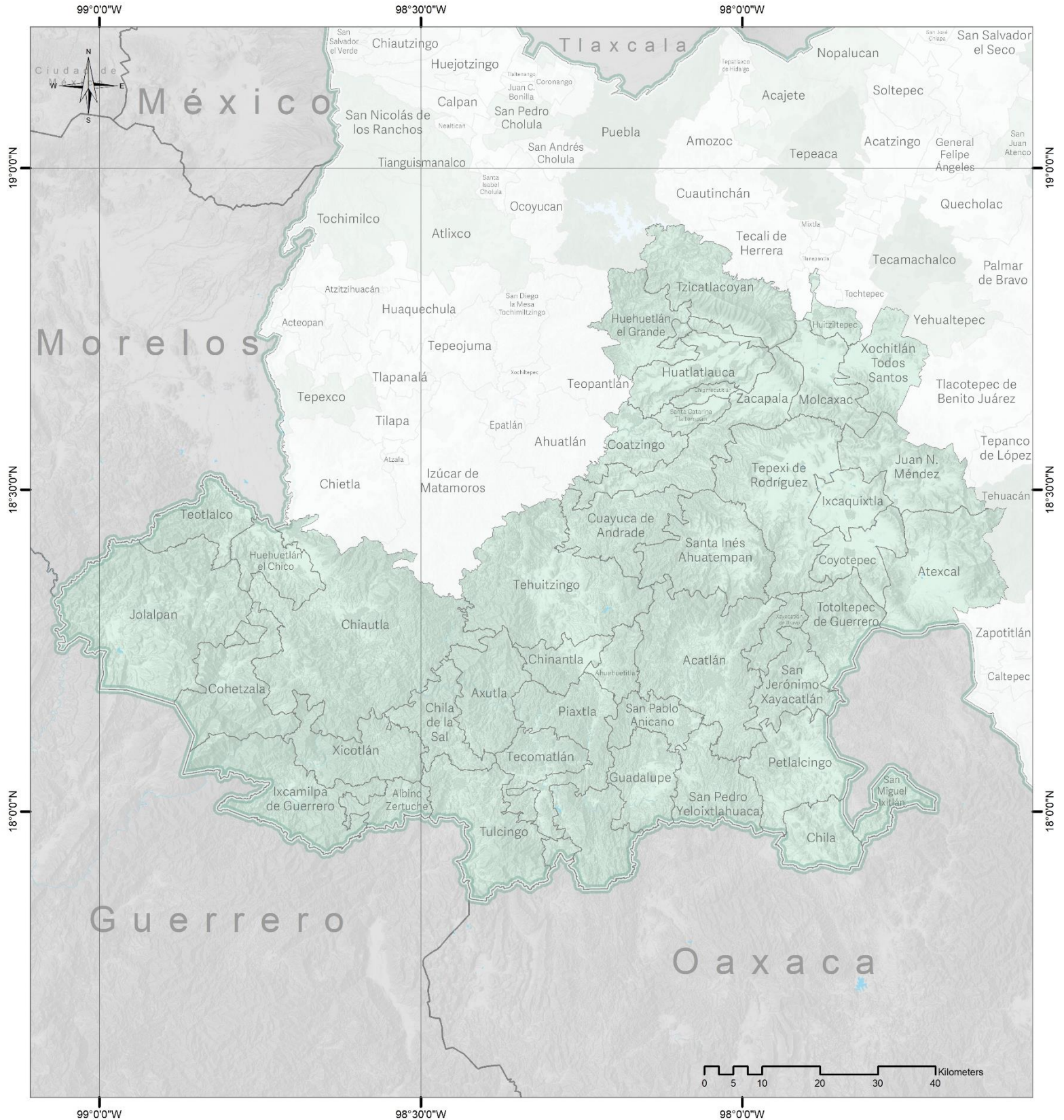
- Alta
- Media
- Baja



**M122. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Mixteca

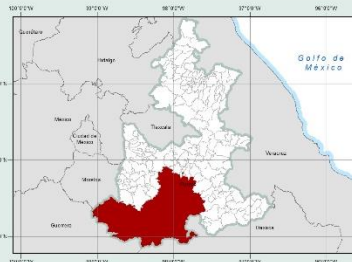
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

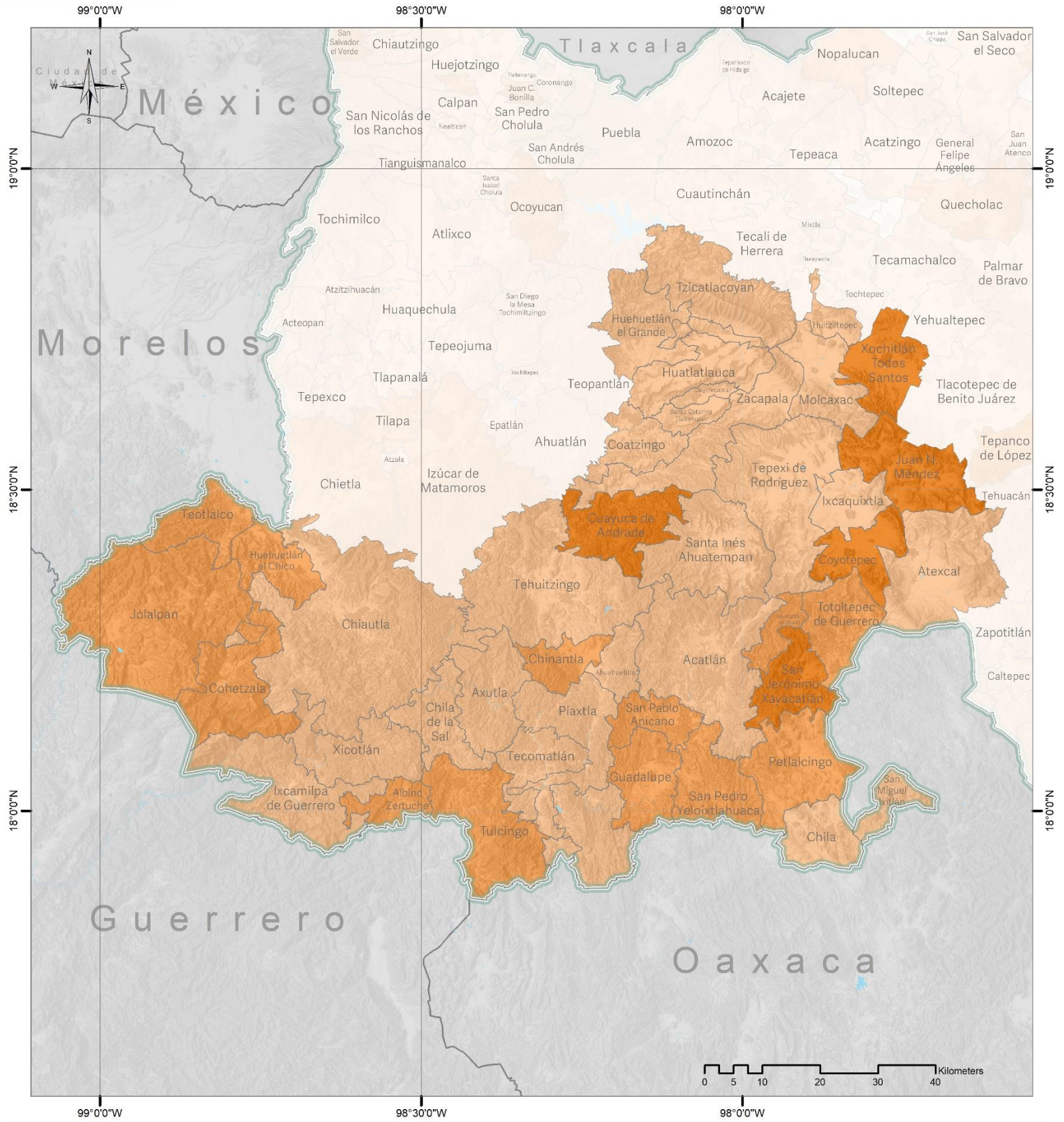
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M123. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Capacidad Adaptativa  
Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

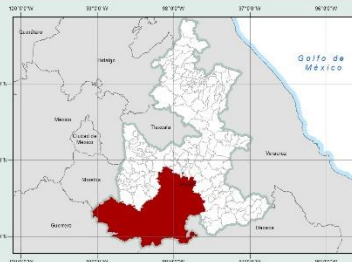
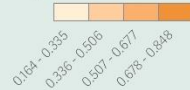
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición**

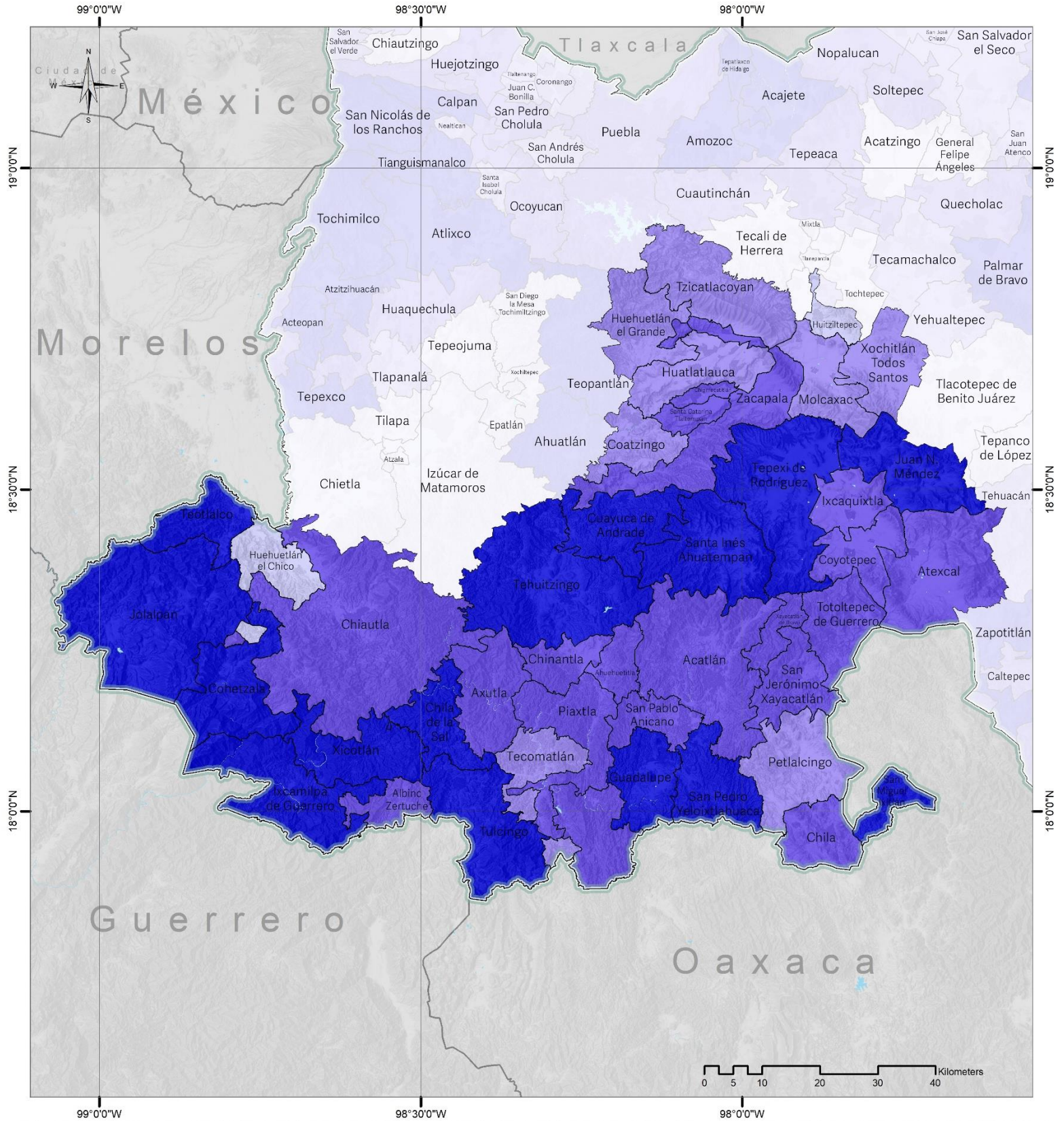


**M124. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

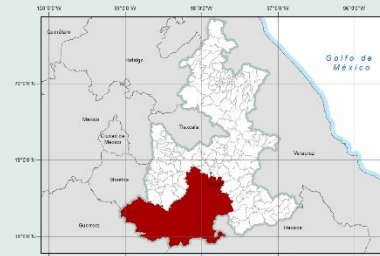




**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

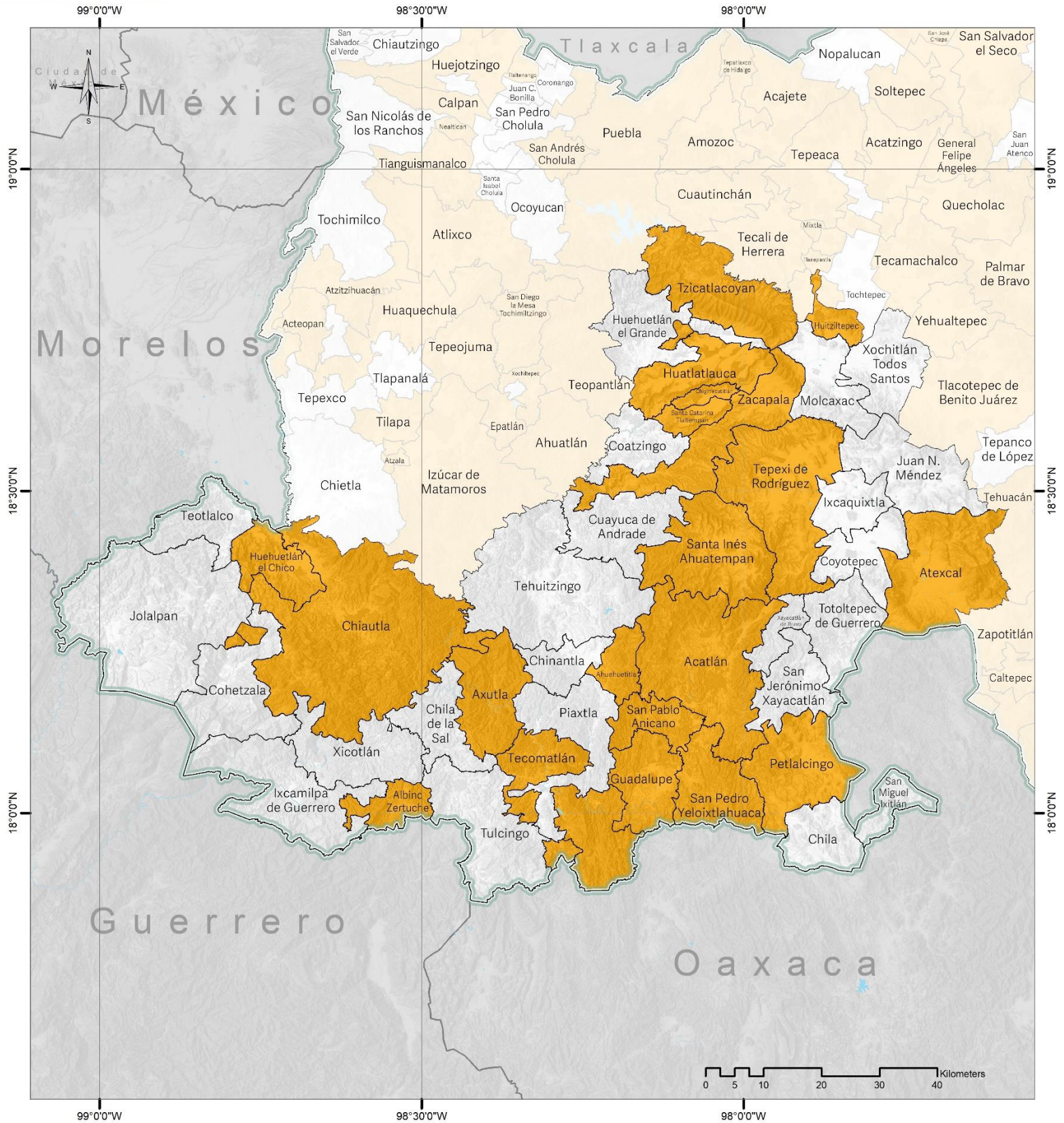
**Sensibilidad**







**M125. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad Región Mixteca**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

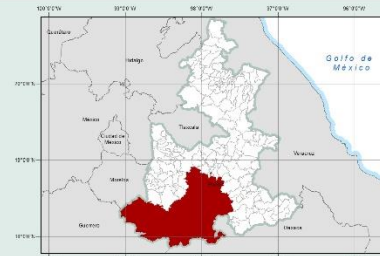


**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

- Aumenta
-  0
  -  A



**M127. Vulnerabilidad por inundaciones.**  
Región Mixteca

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Tehuacán y Sierra Negra de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Los municipios con mayor vulnerabilidad son: Tepanco de López, Vicente Guerrero y Zapotitlán.

En los mapas M129 y M133, se ve los cambios en la vulnerabilidad por modelo HADGEM y MPI para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) 245 y 585, y el futuro lejano. El municipio de Coyomeapan, por ejemplo, presenta un mayor aumento en el SSP 245 que para el SSP 585, en cambio el municipio Tepanco de López tiene mayor disminución de la vulnerabilidad para el SSP 585.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 27 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos.

En la Figura 27, se observa que los municipios altamente vulnerables (Vicente Guerrero y Zapotitlán) pueden presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio, así como la mayoría de los municipios con media vulnerabilidad por lo que se recomienda implementar medidas para el aumento en la capacidad adaptativa o disminución de la sensibilidad.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 128).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 129).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 130).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 131).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 133).

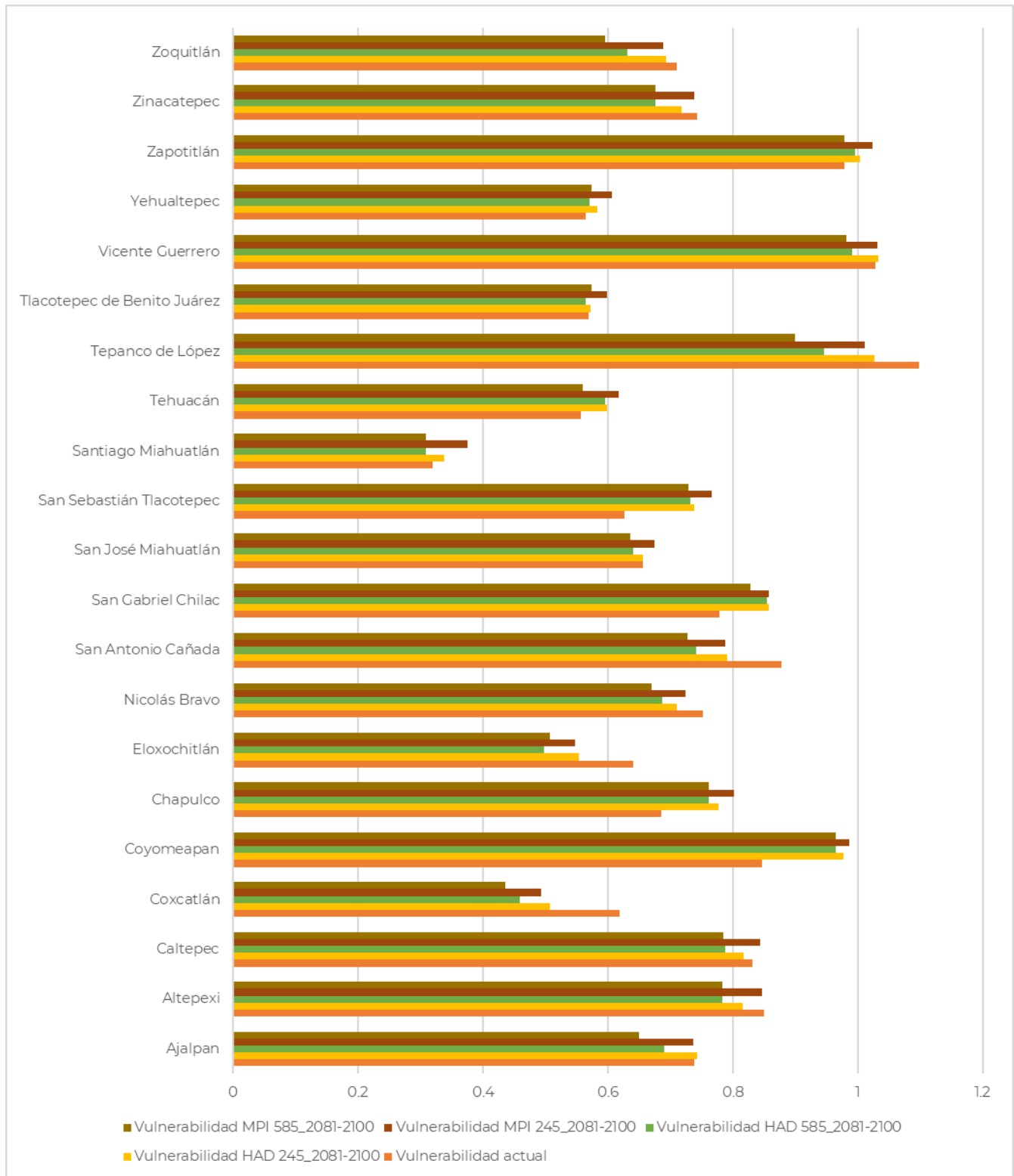
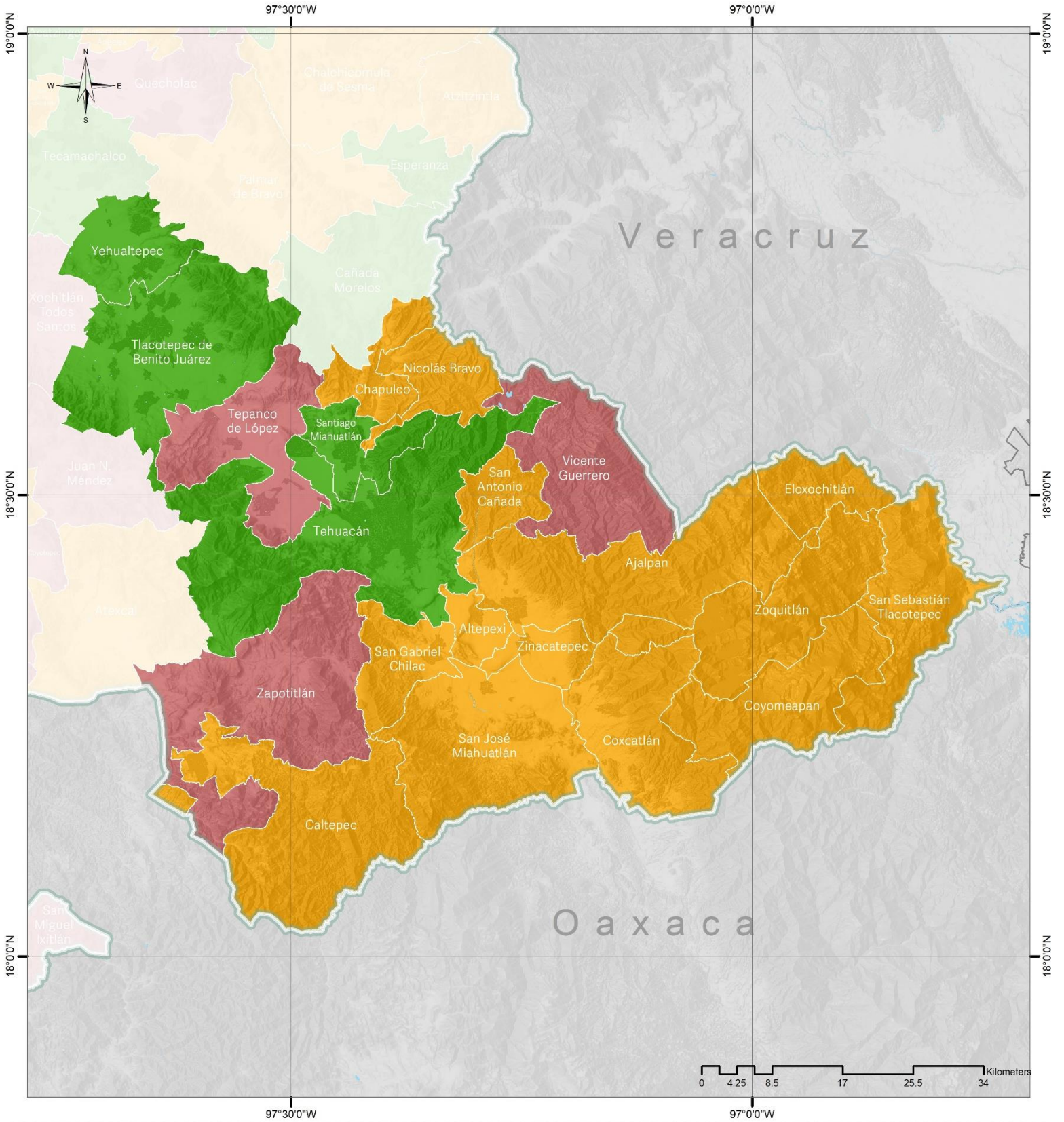


FIGURA 27. GRÁFICA DE LA REGIÓN TEHUACÁN Y SIERRA NORTE: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

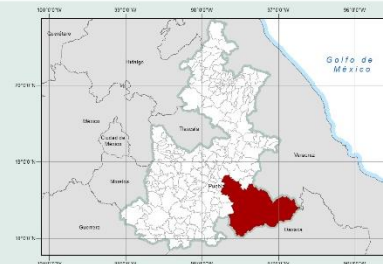


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

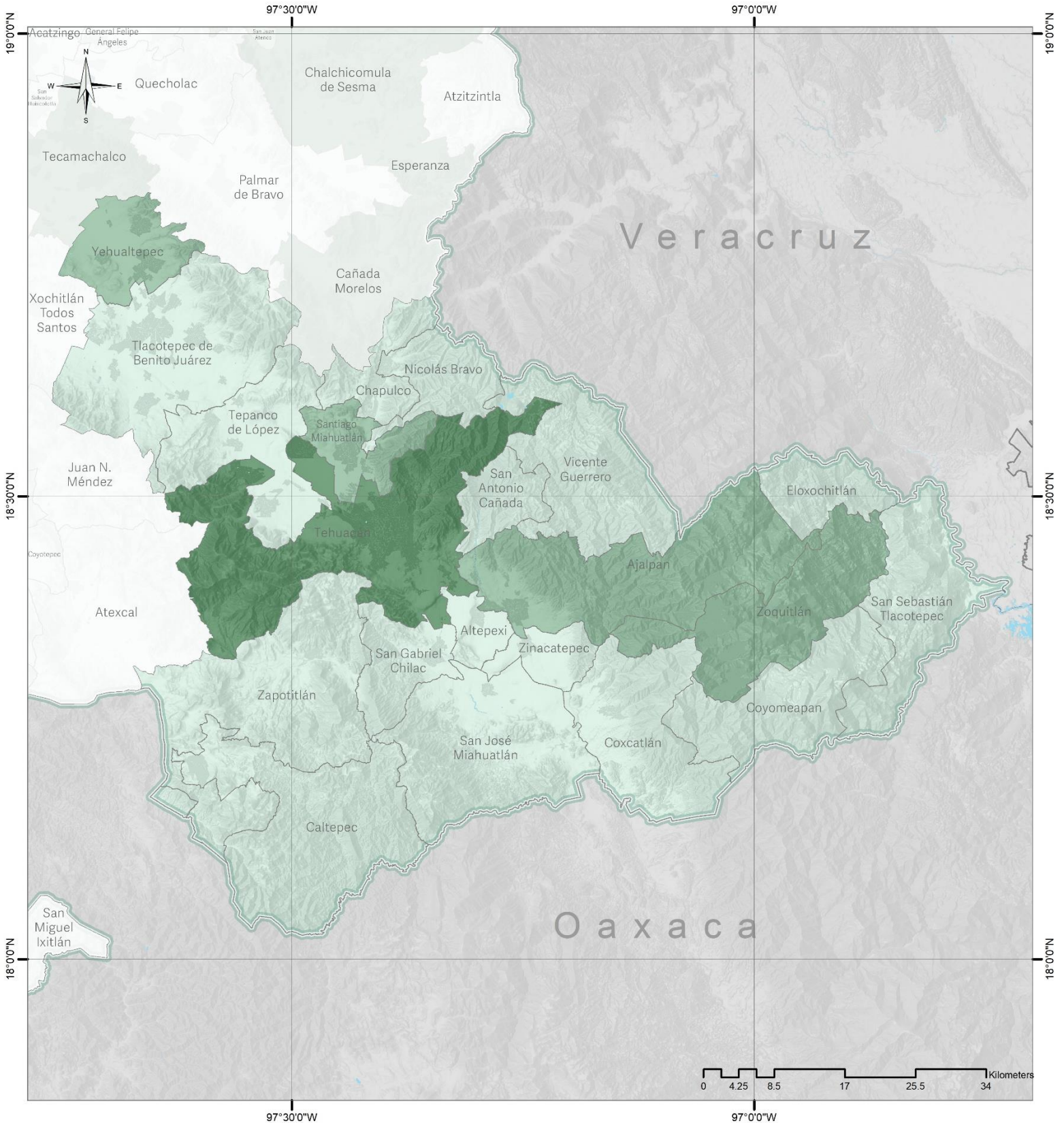
- Alta
- Media
- Baja



**M128. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Tehuacán y Sierra Negra

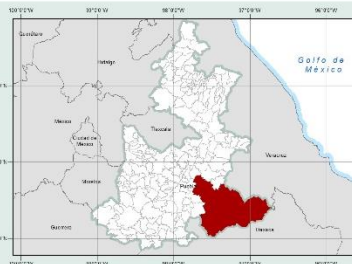
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

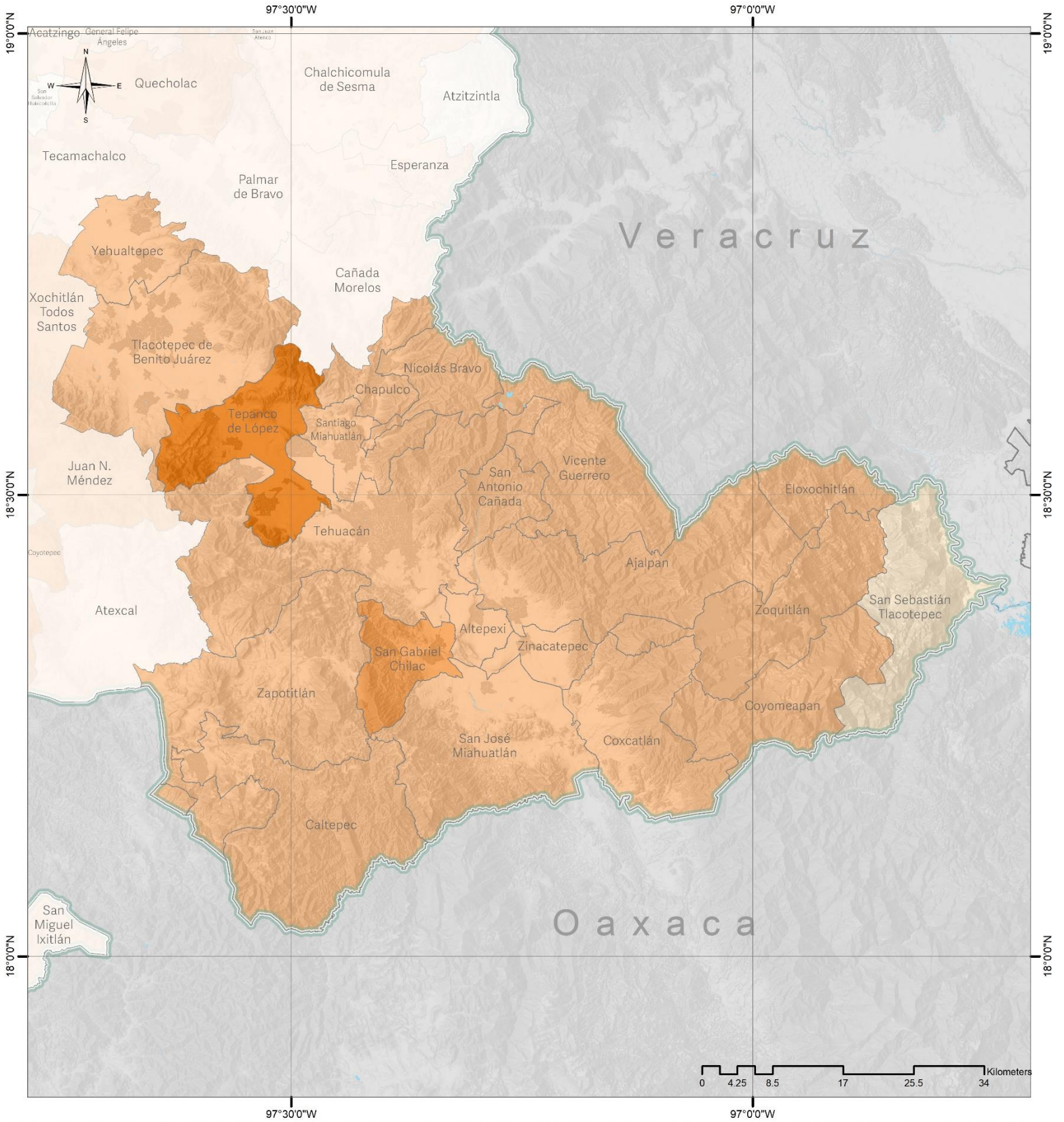
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M129. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Capacidad Adaptativa  
Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

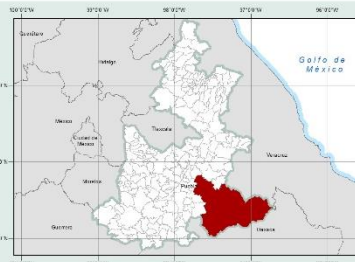
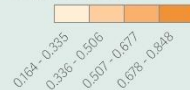
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición**

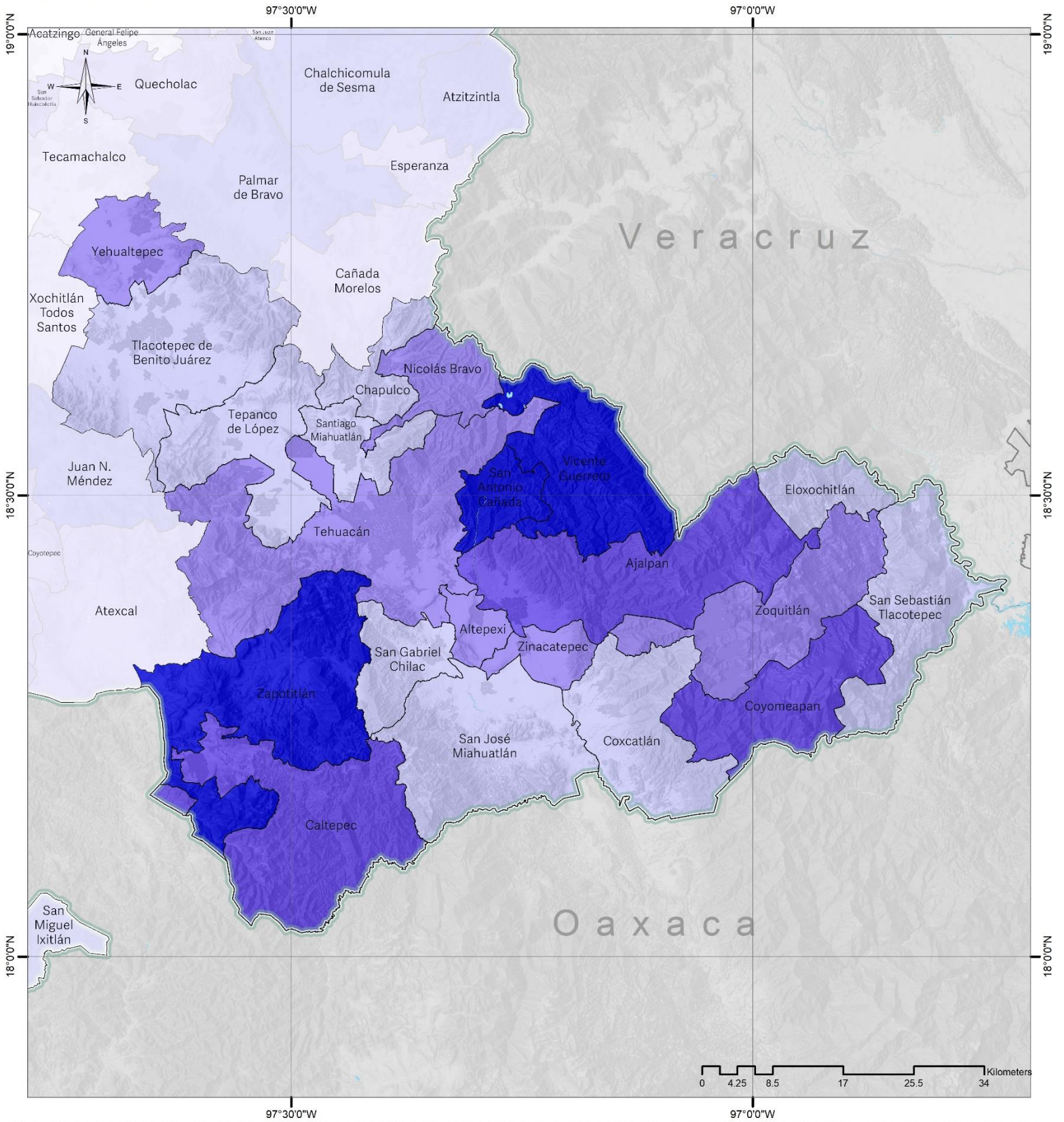


**M130. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**

**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

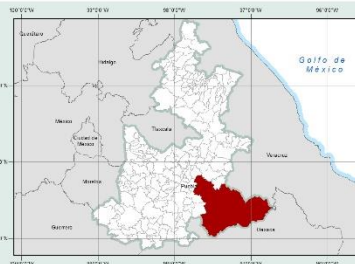
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



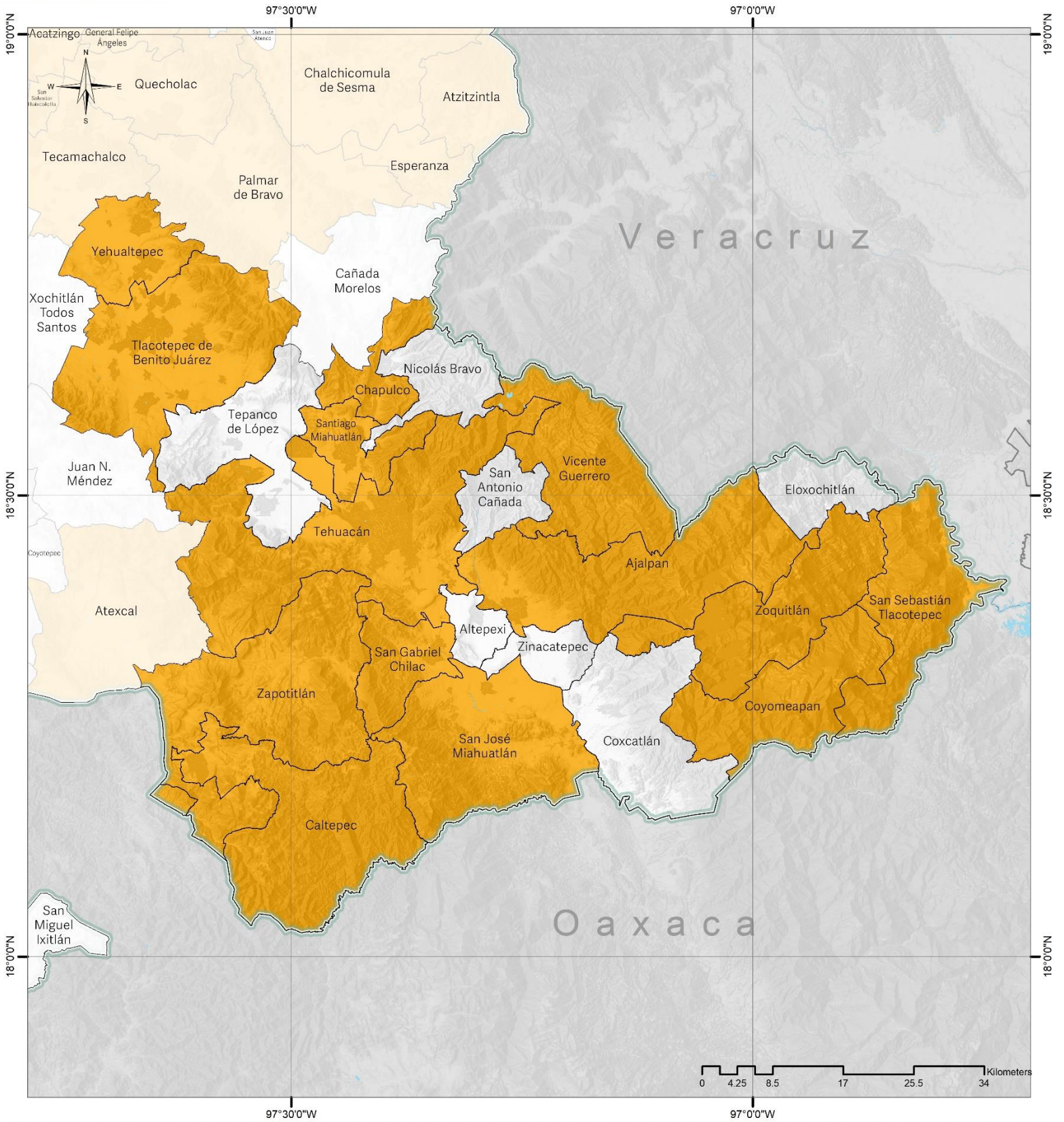
**M131. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad**

**Región Tehuacán y Sierra Negra**





Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



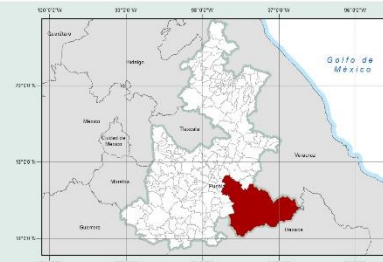


**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

-  Aumenta 0
-  A



**M133. Vulnerabilidad por inundaciones.**

**Región Tehuacán y Sierra Negra**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

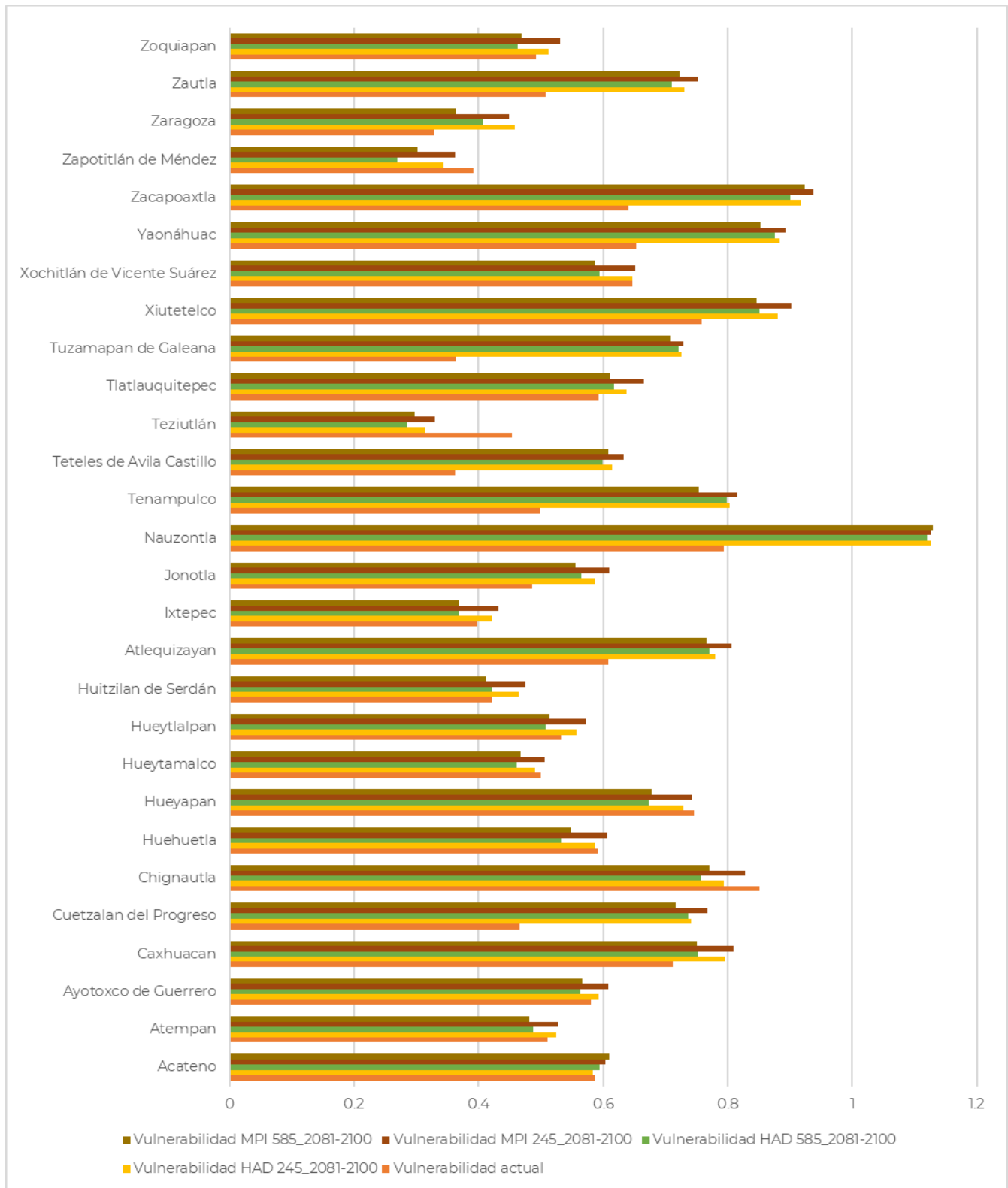
## *Resultado región Sierra Nororiental de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

En la Figura 28 se muestra los cambios en la vulnerabilidad por modelo HADGEM y MPI para dos trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) 245 y 585, y el futuro lejano. En la región nororiental se muestra un aumento general de la vulnerabilidad, los municipios de Cuetzalan del Progreso, Nauzontla, Tenampulco, Teteles de Avila Castillo, Yoanáhuac y Zacapaltla presentan los mayores aumentos.

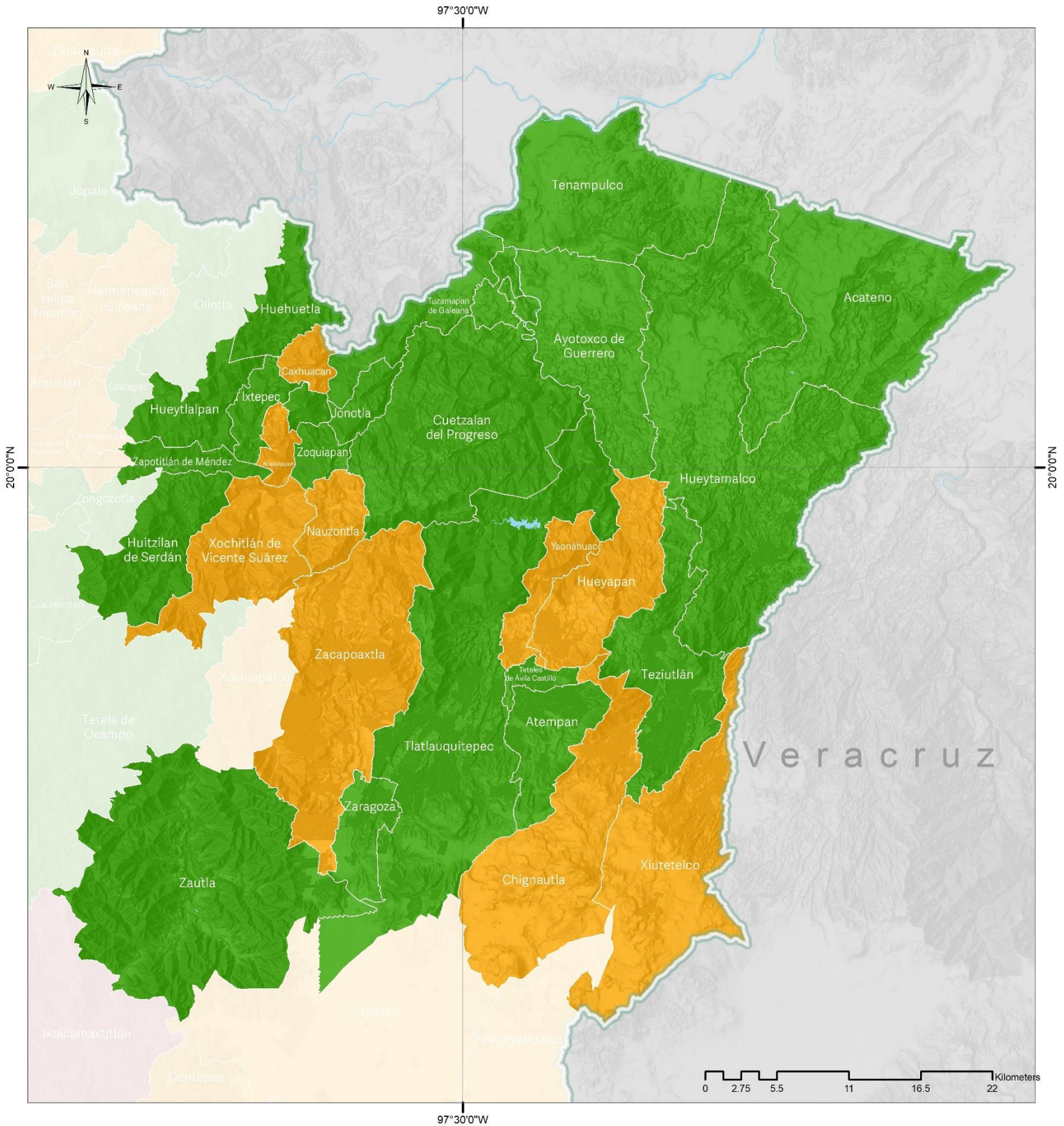
A pesar de que en la región Nororiental no tiene municipios con alta vulnerabilidad, pero la mayoría de los municipios si presenta un aumento de la vulnerabilidad de acuerdo con alguno de los escenarios utilizados en el estudio. La incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 28 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos como medida precautoria.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 134).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 135).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 136).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 137).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 139).



**FIGURA 28. GRÁFICA DE LA REGIÓN NORORIENTAL: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585**

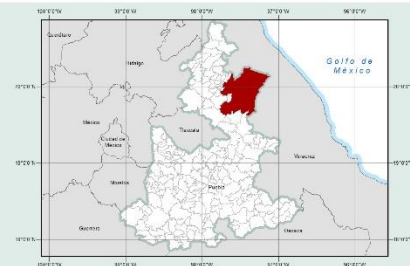


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

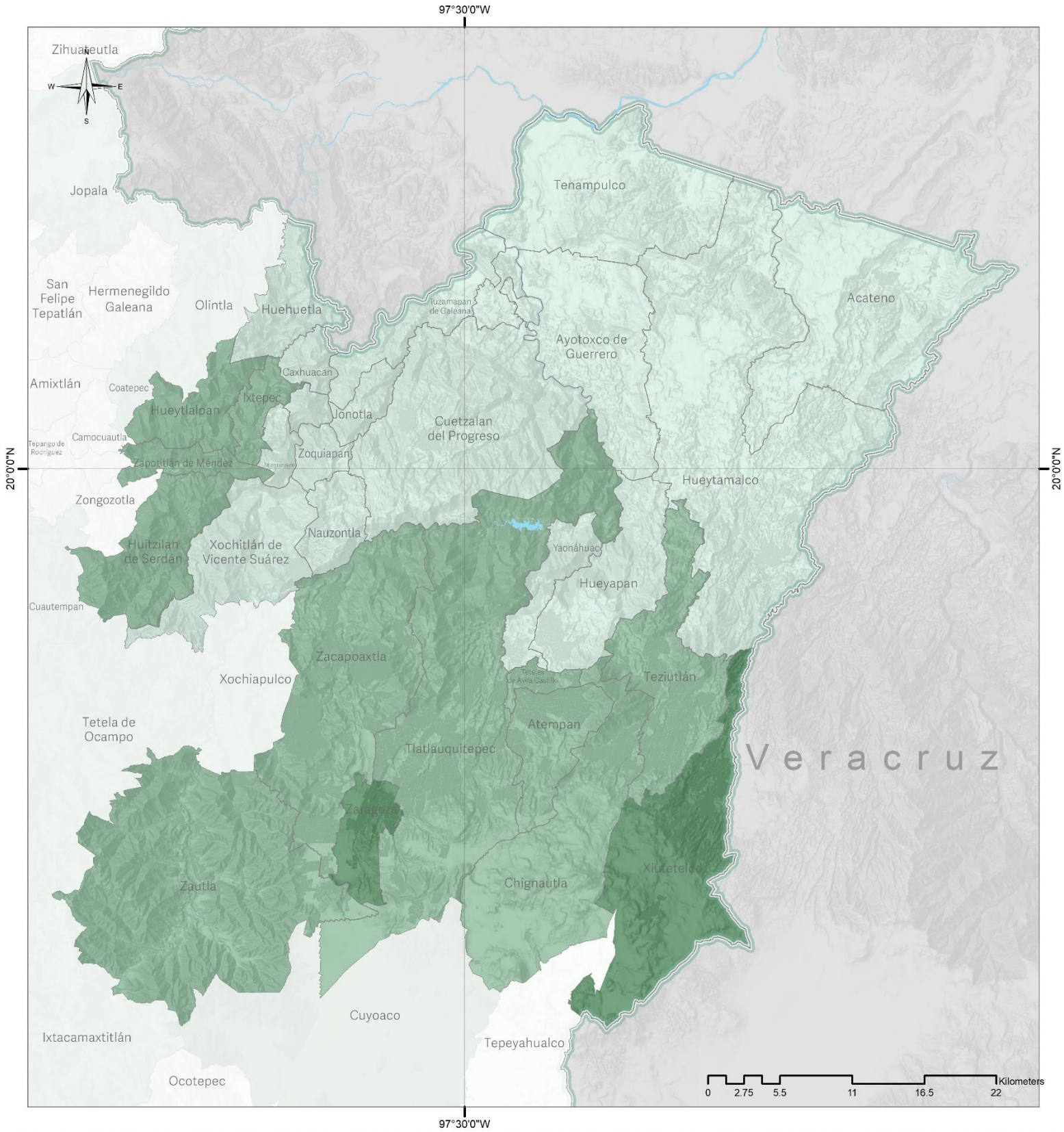
- Alta
- Media
- Baja



**M134. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Sierra Nororiental

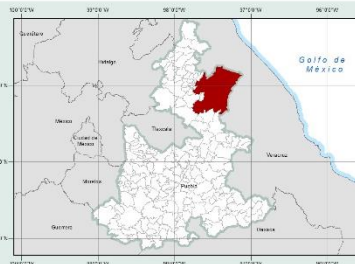
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

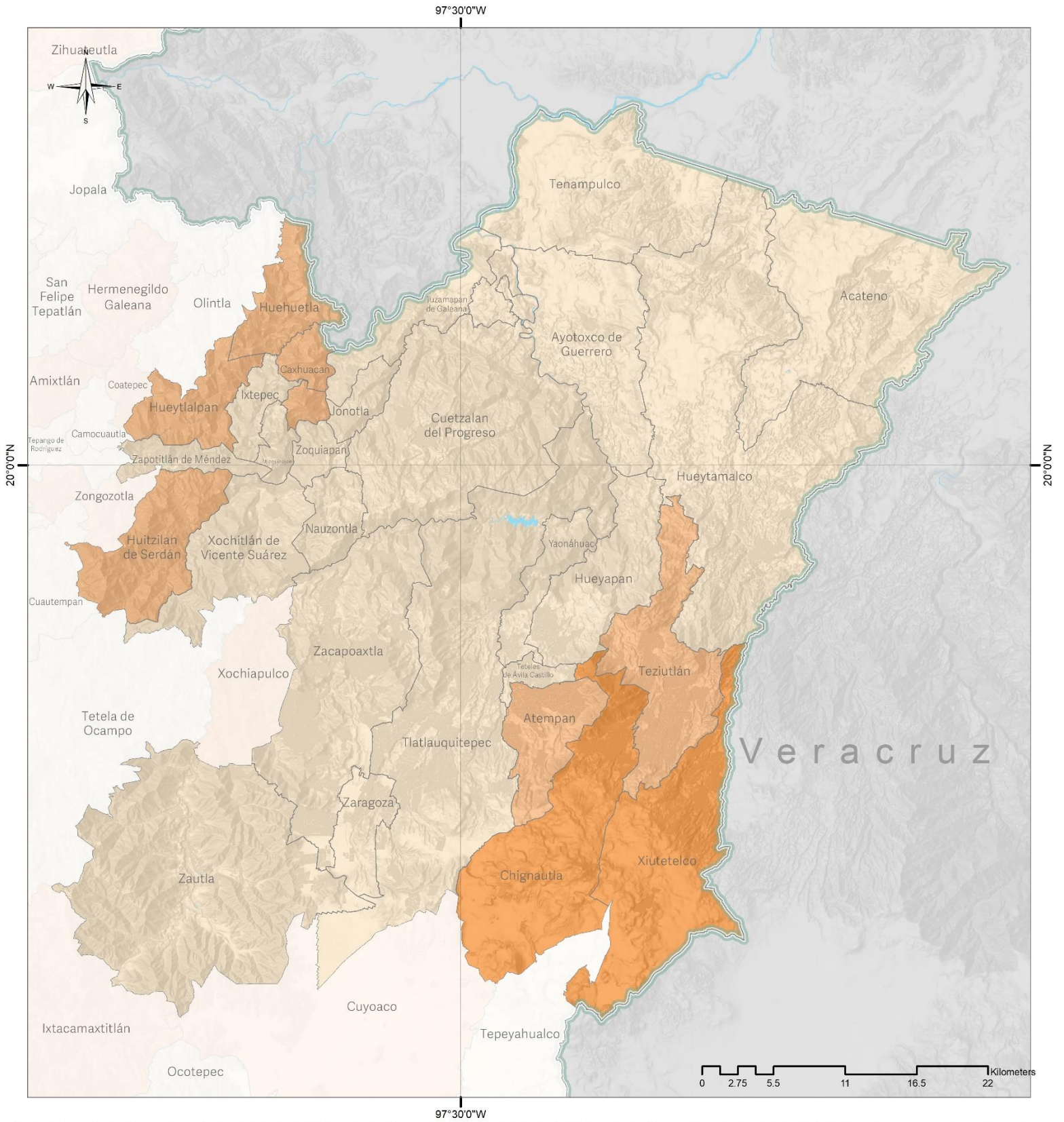
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M135. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Capacidad Adaptativa  
Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

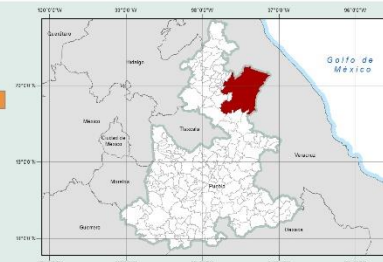
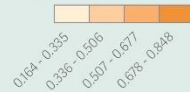
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición**

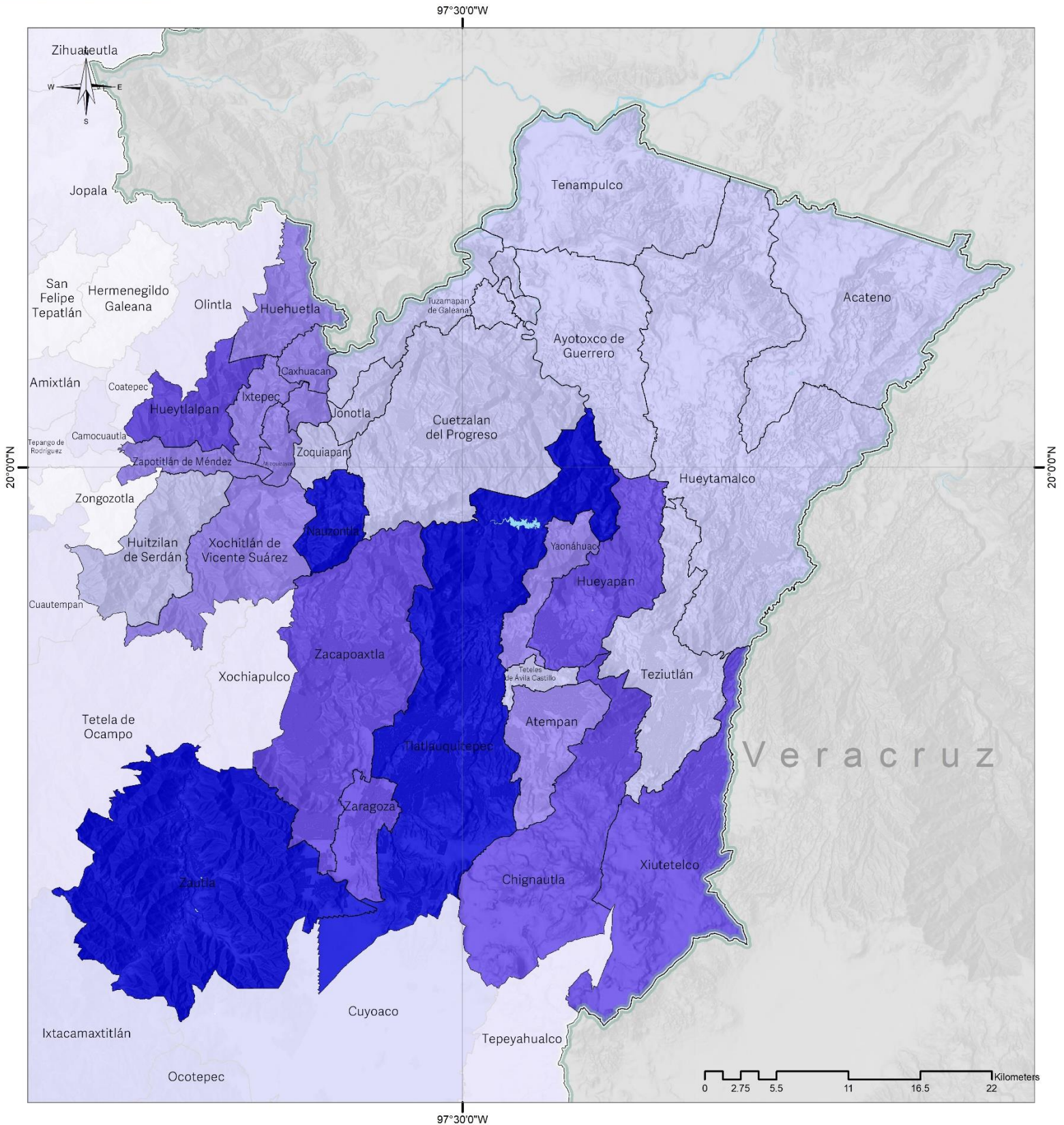


**M136. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

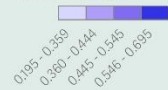
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**

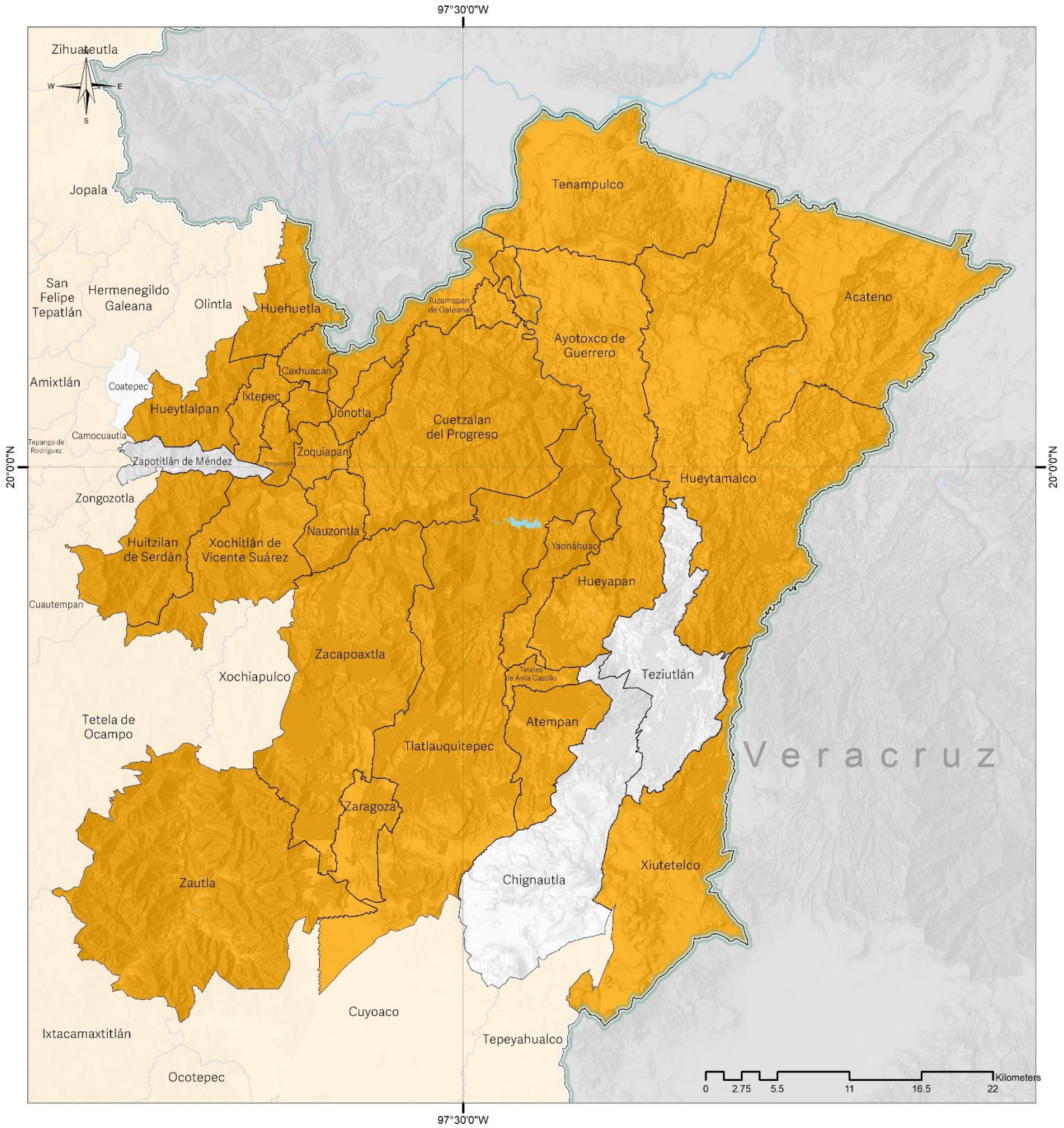


**M137. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad**

**Región Sierra Nororiental**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

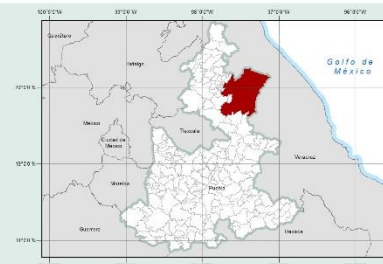


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

- Aumenta
- 0
  - A



**M139. Vulnerabilidad por inundaciones.**  
Región Sierra Nororiental

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



## *Resultado región Sierra Norte de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Ixtacamaxtitlán es el único municipio en la región con vulnerabilidad alta, y de acuerdo con la figura 29 este tiene un aumento de la vulnerabilidad tanto en el escenario SSP 245 como en el 585.

Los municipios de Cuautempan, Chignahuapan, Jopala, Olintla, Tepango de Rodríguez, y Tlapacoya son los que muestran mayores aumentos de vulnerabilidad futura de acuerdo con los modelos de circulación general utilizados en el estudio sin importar el SSP. En cambio, el municipio de Zacatlán es el que mayor disminución presenta.

Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 29 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos, como es el caso para el municipio de Ixtacamaxtitlán.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 140).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 141).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 142).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 143).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 145).

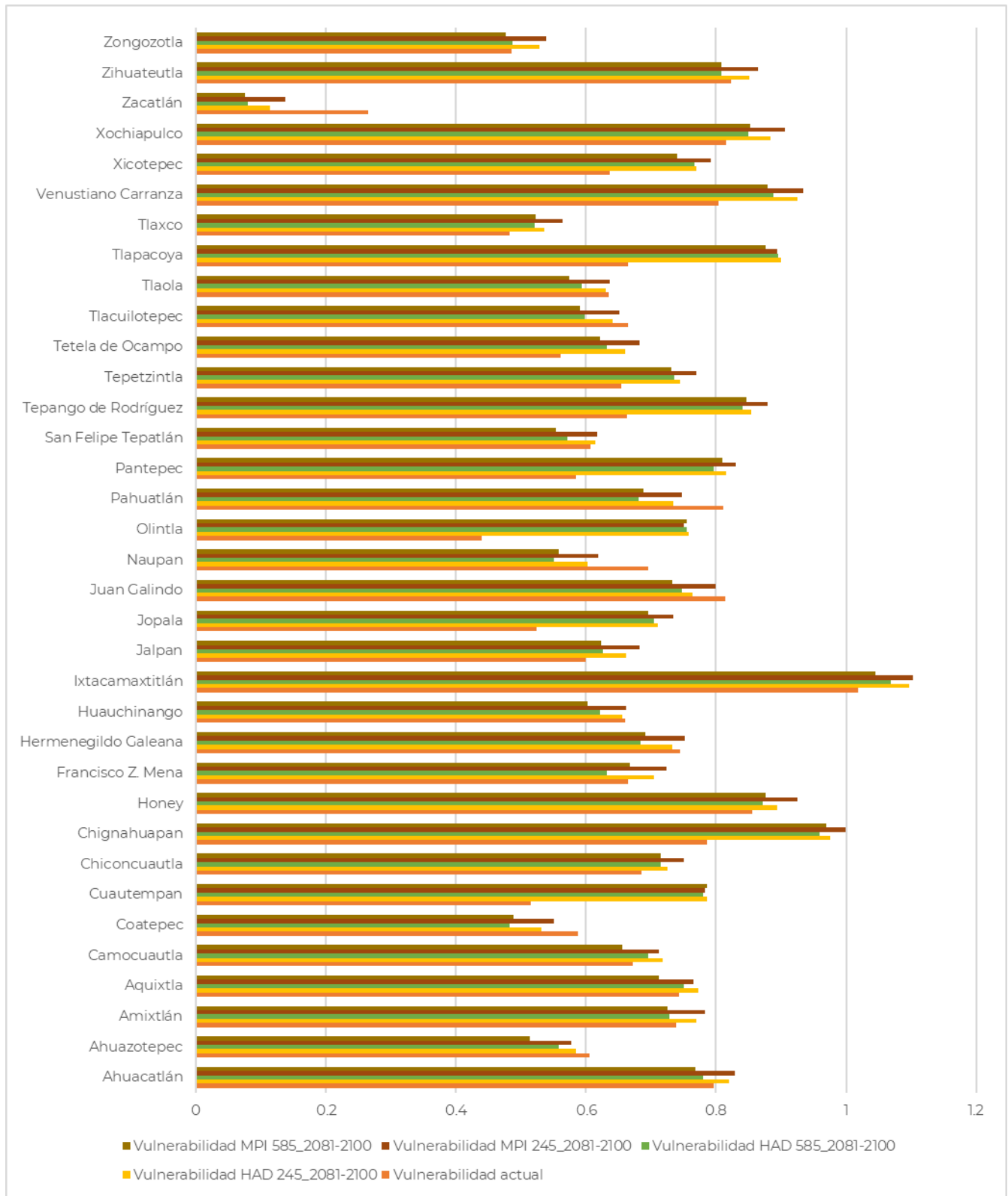
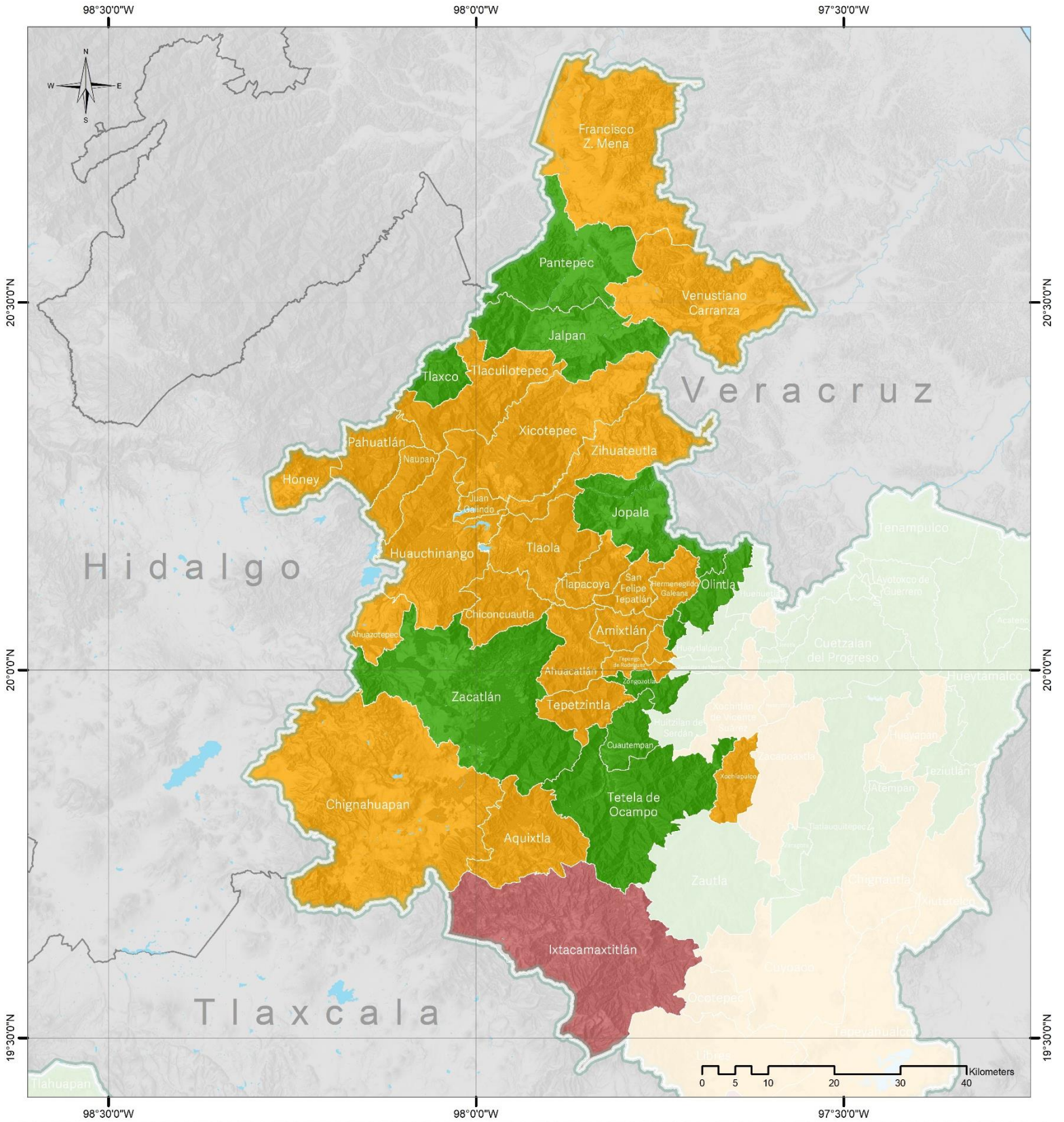


FIGURA 29. GRÁFICA DE LA REGIÓN NORTE: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

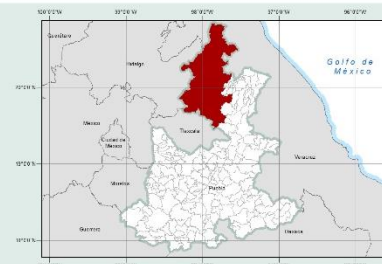


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

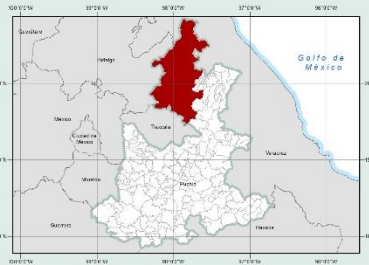
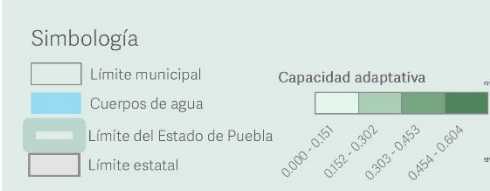
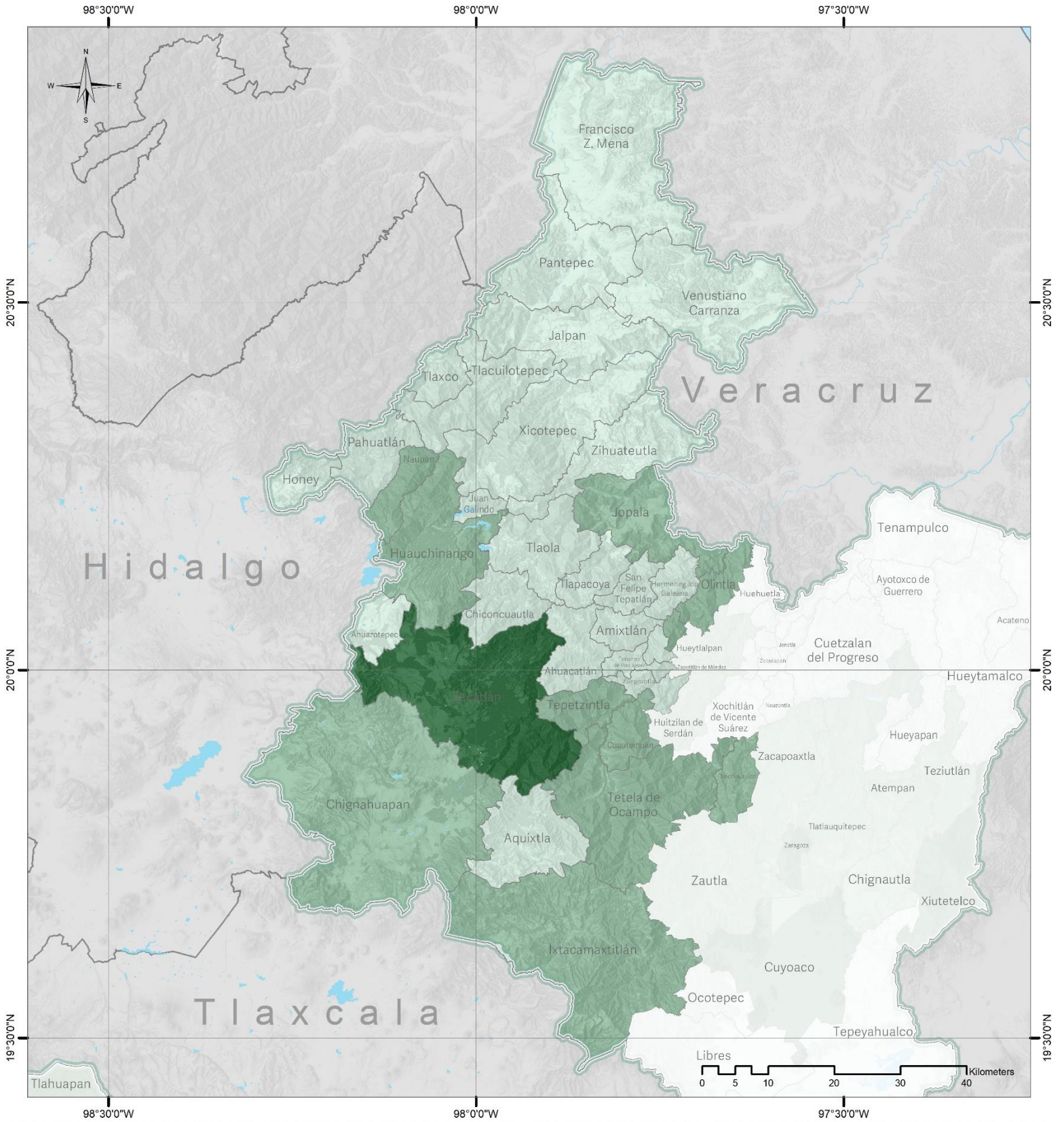
- Alta
- Media
- Baja



**M140. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Sierra Norte

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

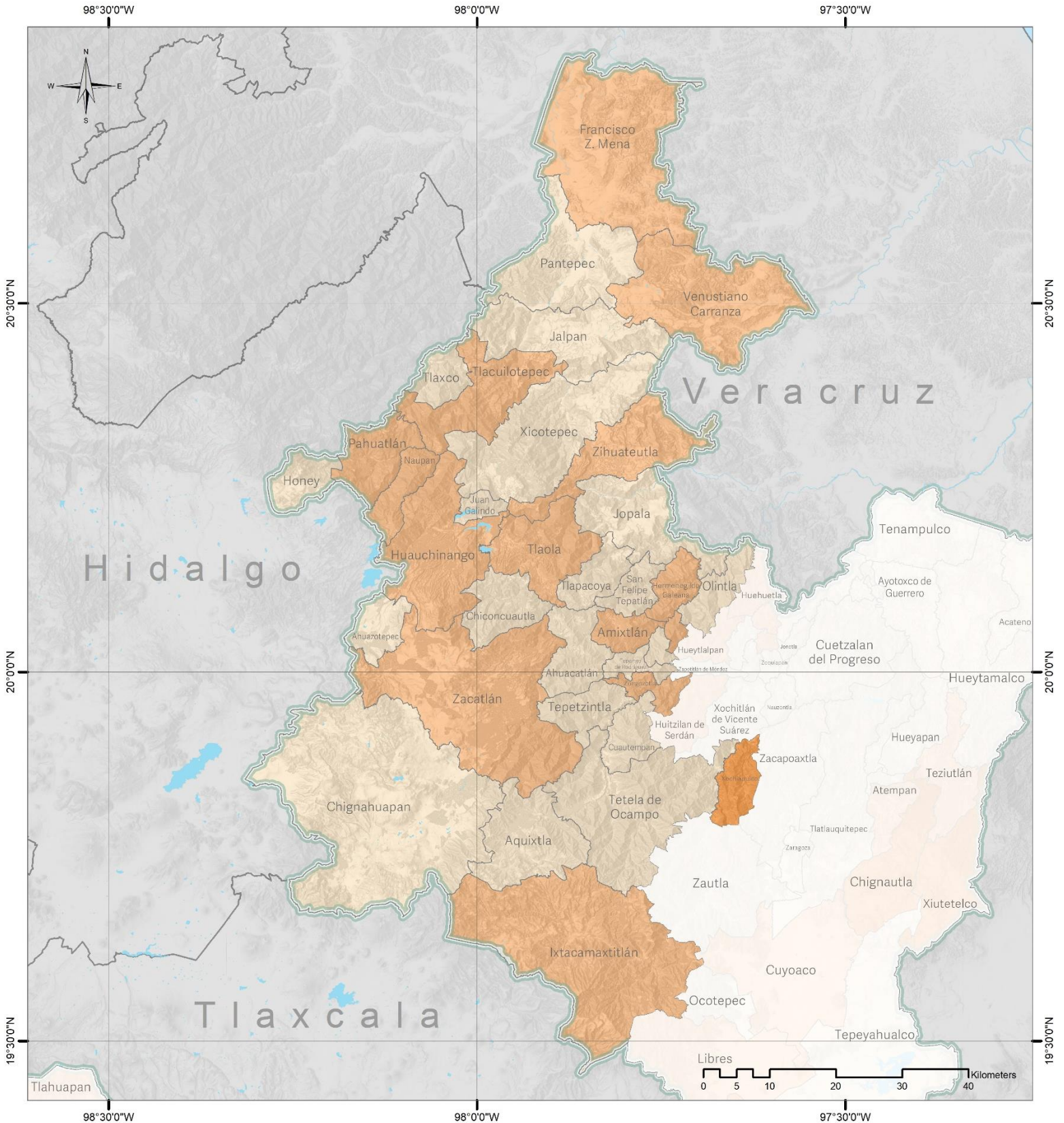
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984







**M141. Vulnerabilidad por inundaciones. Capacidad Adaptativa**  
**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

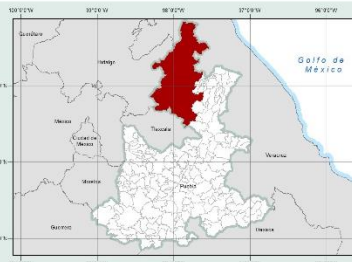
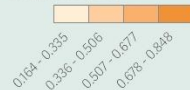
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Exposición**

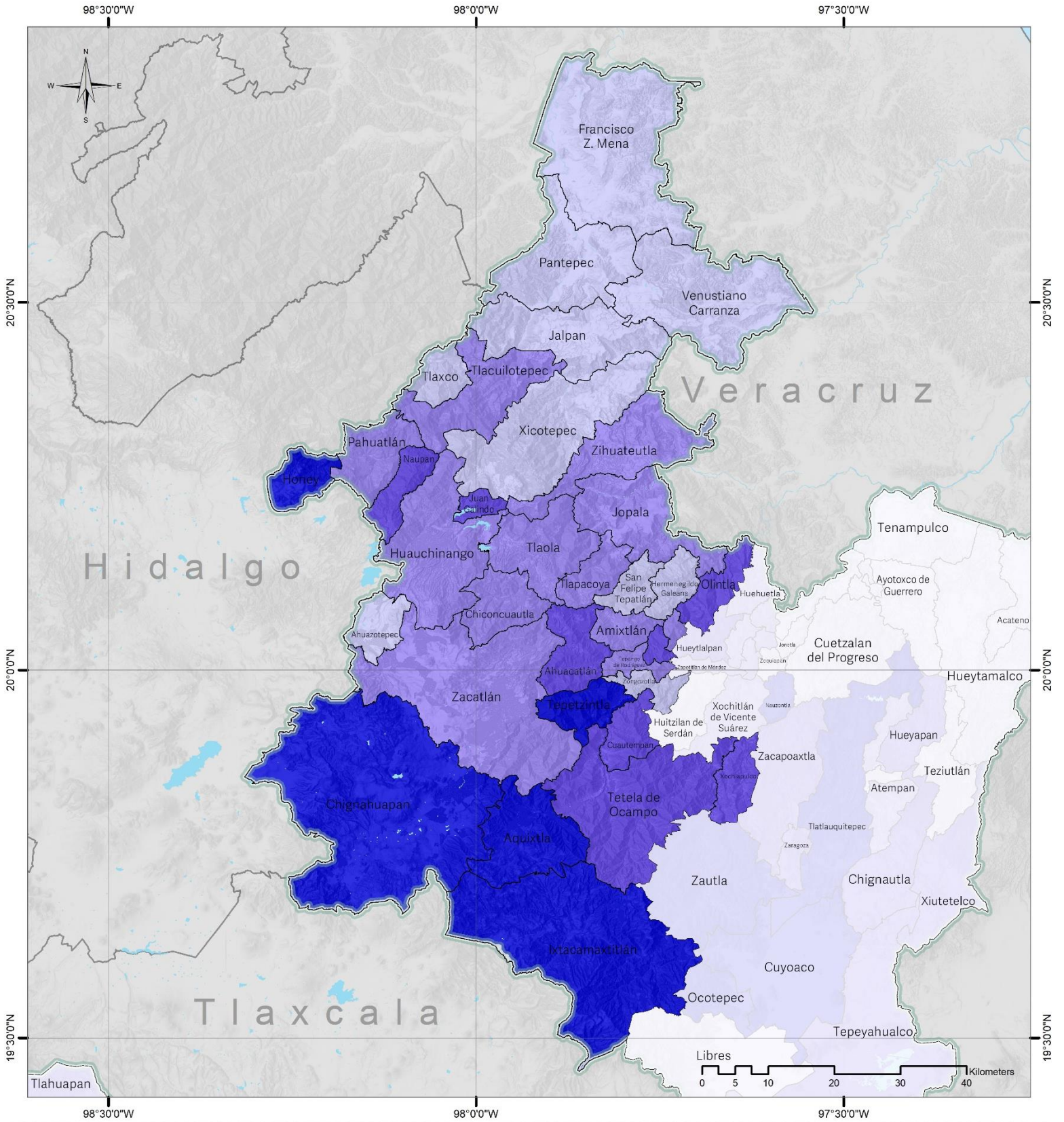


**M142. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**

**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

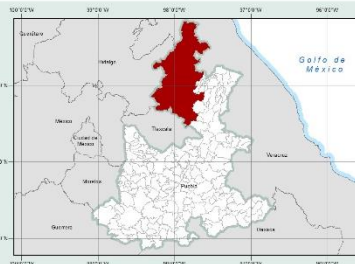
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**

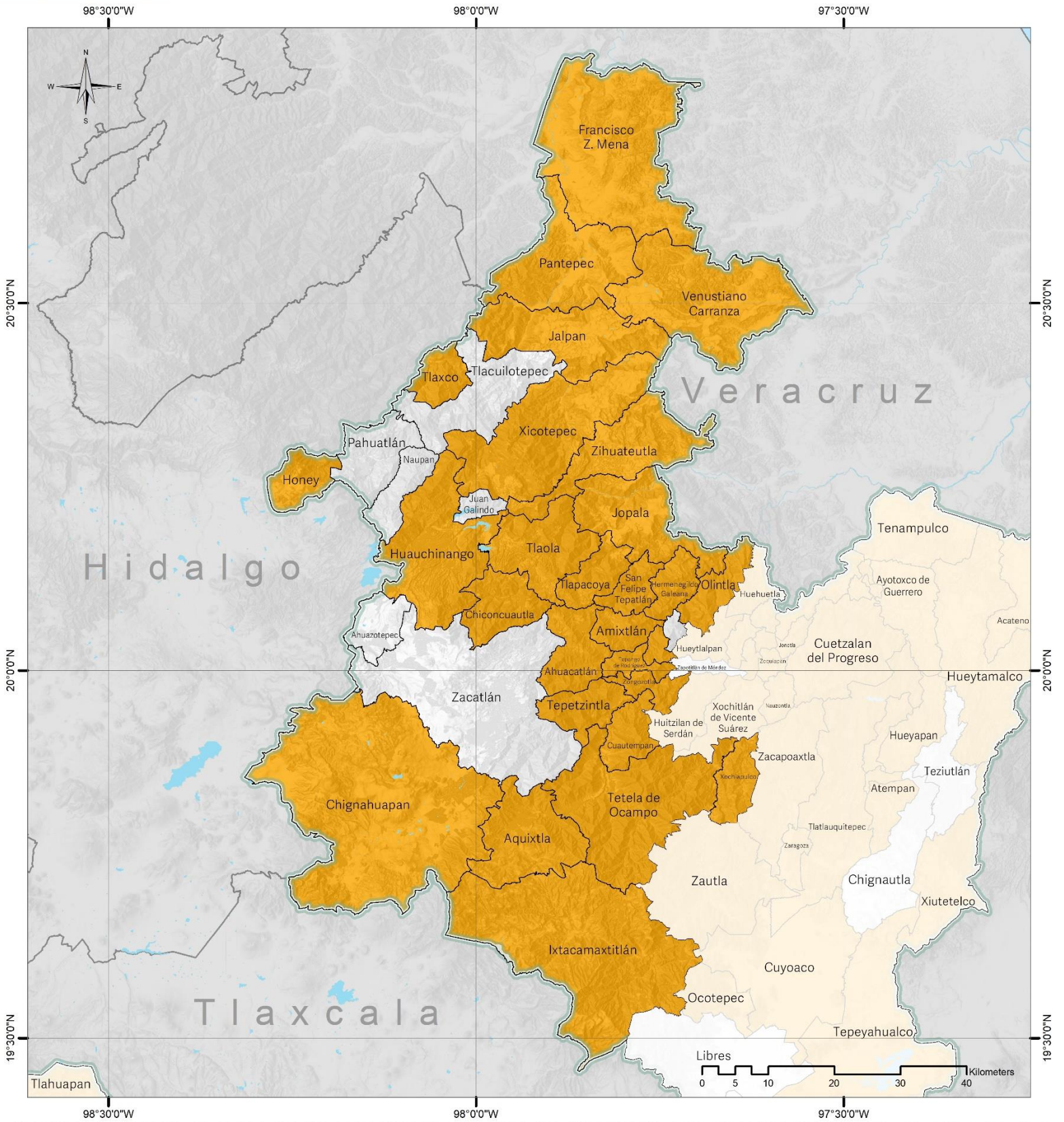


**M143. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad**

**Región Sierra Norte**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

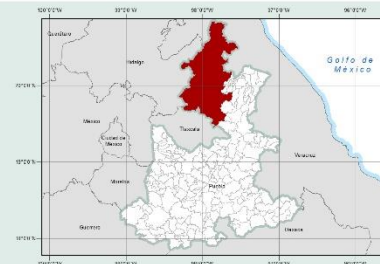


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

- Aumenta 0
- A



**M145. Vulnerabilidad por inundaciones.**  
Región Sierra Norte

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Valle Atlixco y Matamoros de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Los municipios con mayor vulnerabilidad en la región son: Acteopan, Ahuatlán, Atzitzihuacán, Cohuecan, San Gregorio Atzompa, Teopantlán y Tepemaxalco.

De acuerdo con la figura 30 en los dos SSP y futuro lejano los municipios de la región Valle Atlixco y Matamoros tienen aumento moderado de la vulnerabilidad. Un poco menos de la mitad de los municipios tiene una disminución en la vulnerabilidad futura en el horizonte lejano.

En la figura 30 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad. De esta manera si los municipios actualmente presentan problemáticas de inundación podrán analizar si es necesario tomar acciones para reducir la vulnerabilidad futura ante posibles aumentos.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 146).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 147).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 148).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 149).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 151).



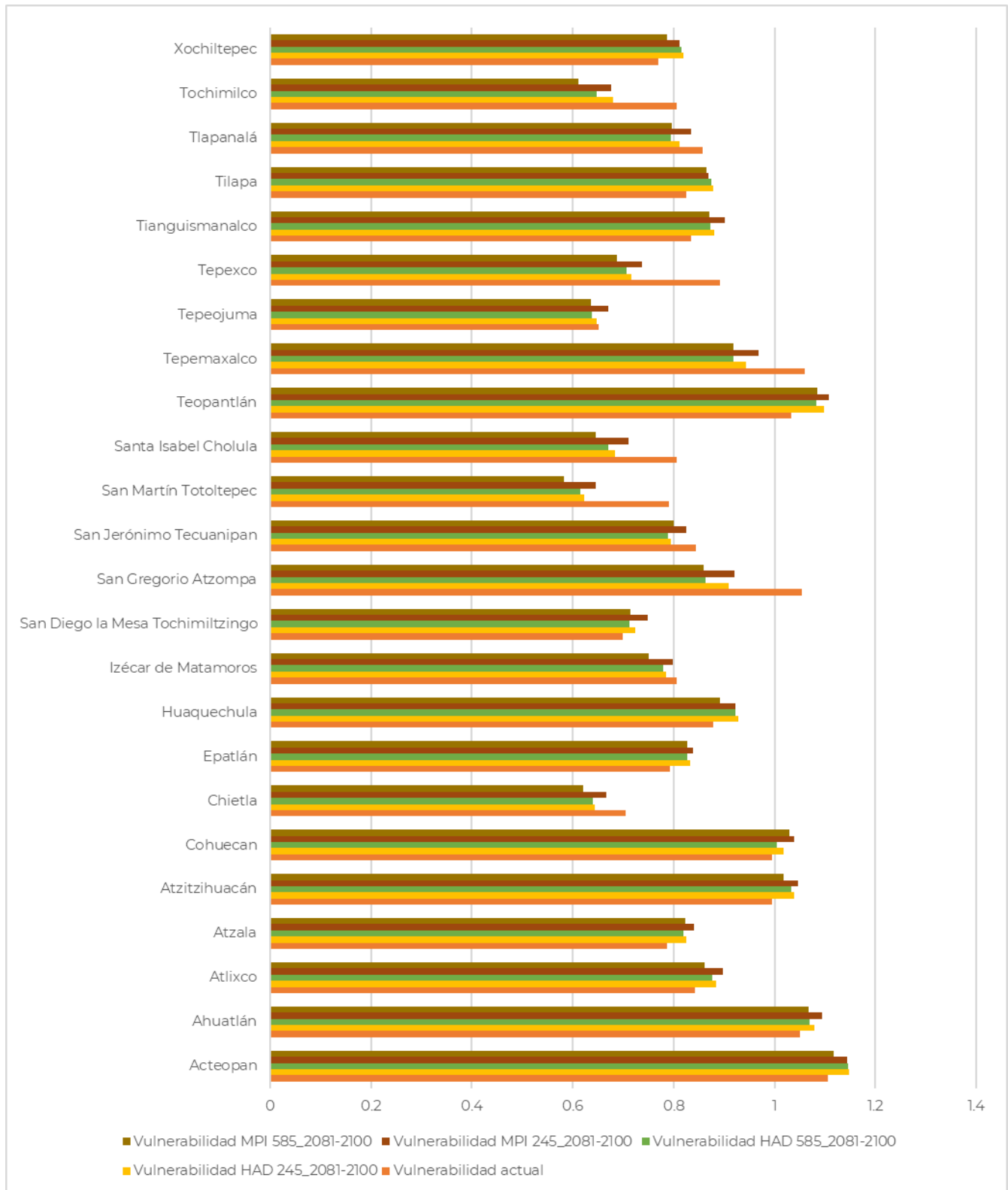
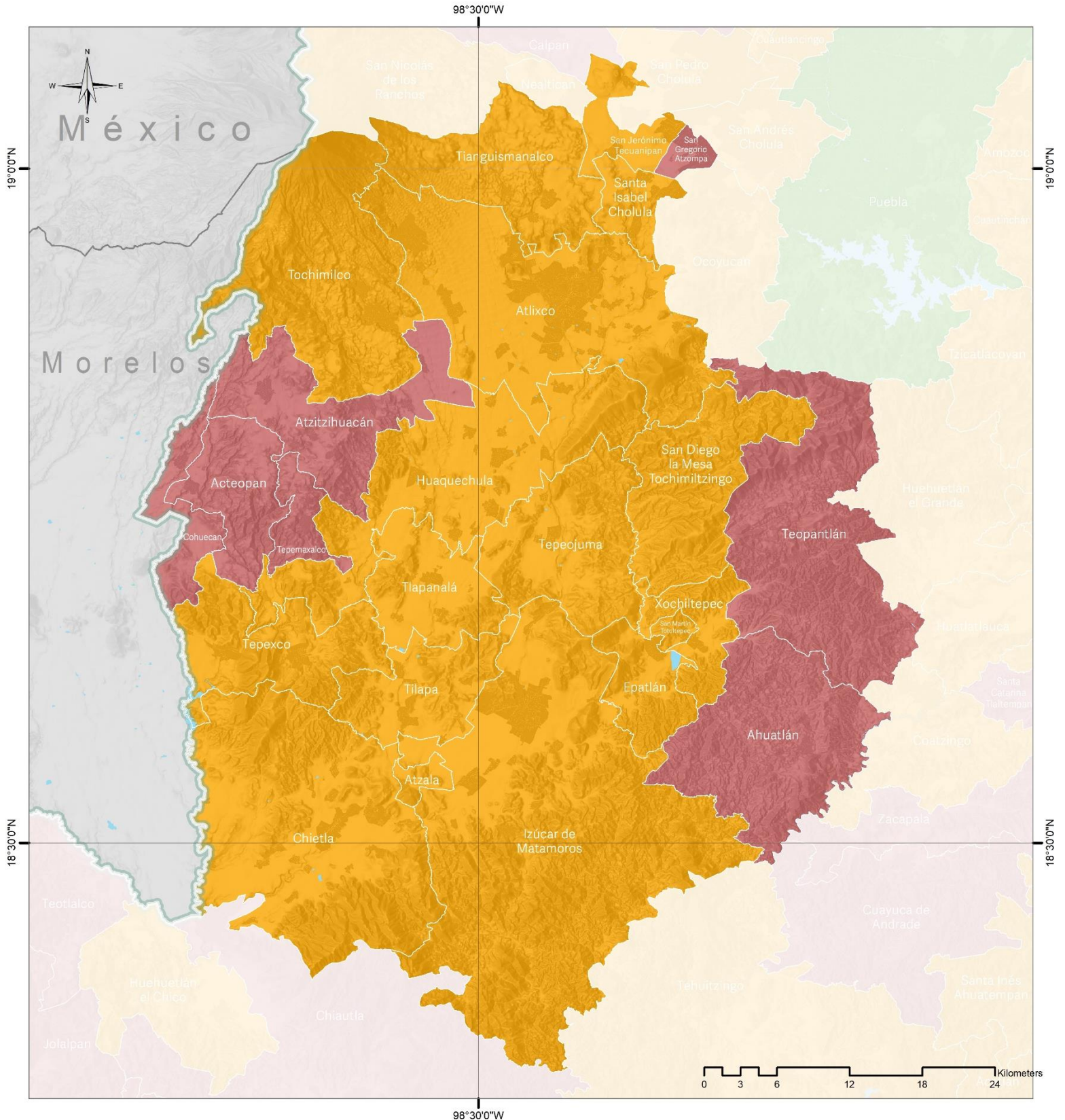


FIGURA 30. GRÁFICA DE LA REGIÓN ATLIXCO Y MATAMOROS: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585

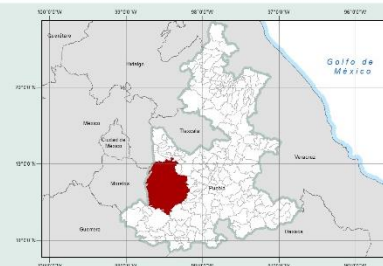


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

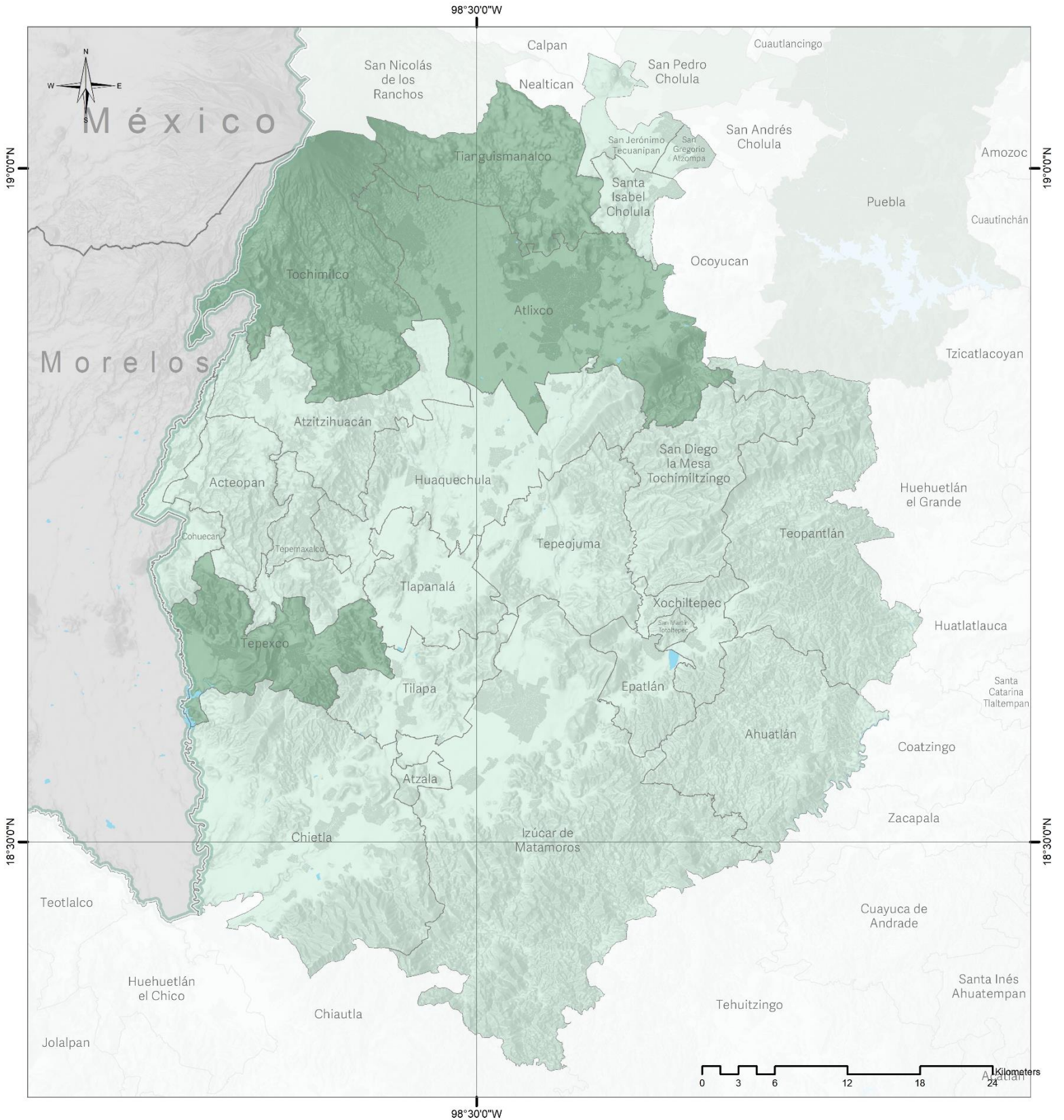
- Alta
- Media
- Baja



**M146. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Valle Atlixco y Matamoros

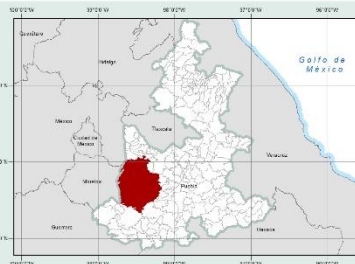
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M147. Vulnerabilidad por inundaciones.  
Capacidad Adaptativa  
Región Valle Atlixco y Matamoras**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

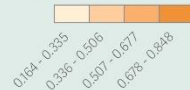
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición**



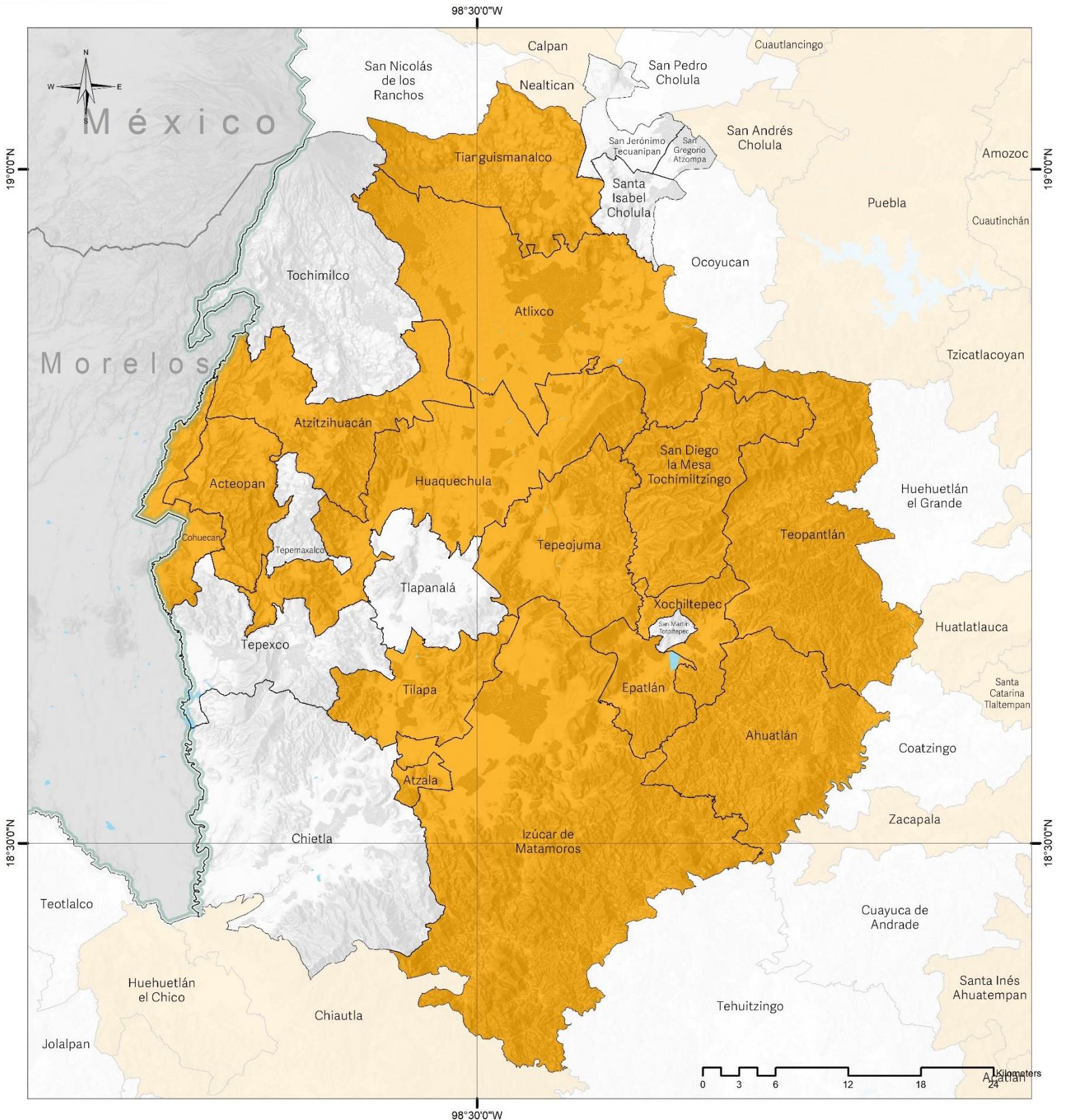
**M148. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**

**Región Valle Atlixco y Matamoras**





Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



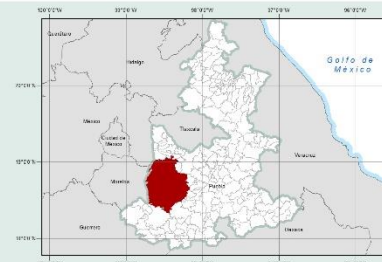


**Simbología**

-  Límite municipal
-  Cuerpos de agua
-  Límite del Estado de Puebla
-  Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

-  Aumenta 0
-  A



**M151. Vulnerabilidad por inundaciones.**

**Región Valle Atlixco y Matamoros**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## *Resultado región Serdán y Valles Centrales de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones*

Los municipios con mayor vulnerabilidad actual en la región son: Oriental y Quecholac.

De acuerdo con la gráfica los municipios de Chilchota, Mazapiltepec de Juárez y Ocoatepec son los municipios con mayores aumentos en la vulnerabilidad de acuerdo con los modelos HADGEM y MPI en el horizonte lejano en los dos SSPs utilizados en el estudio.

Se puede observar en la figura 31 que uno de los dos municipios altamente vulnerables puede presentar aumento en su vulnerabilidad de acuerdo con los escenarios futuros utilizados en este estudio. Al igual que la mayoría de los municipios con vulnerabilidad media también pueden presentar un aumento. Por ello es de gran relevancia la aplicación de medidas que disminuyan la vulnerabilidad al cambio climático. Debido a la incertidumbre que puede presentarse por modelo, SSP, y en los dos horizontes temporales y para facilitar la toma de decisiones, por principio precautorio en la figura 31 se muestran los municipios que de acuerdo alguno de los escenarios futuros mostró un aumento en la vulnerabilidad.

En los mapas siguientes se presentan los resultados de:

- Vulnerabilidad clasificada de la agricultura ante inundaciones a nivel municipal (Mapa 152).
- Exposición actual de los municipios ante la problemática (Mapa 153).
- Capacidad adaptativa de cada municipio para hacer frente a la problemática (Mapa 154).
- Sensibilidad de los municipios ante la problemática (Mapa 155).
- Municipios con aumento de vulnerabilidad a futuro (en color naranja) (Mapa 157).

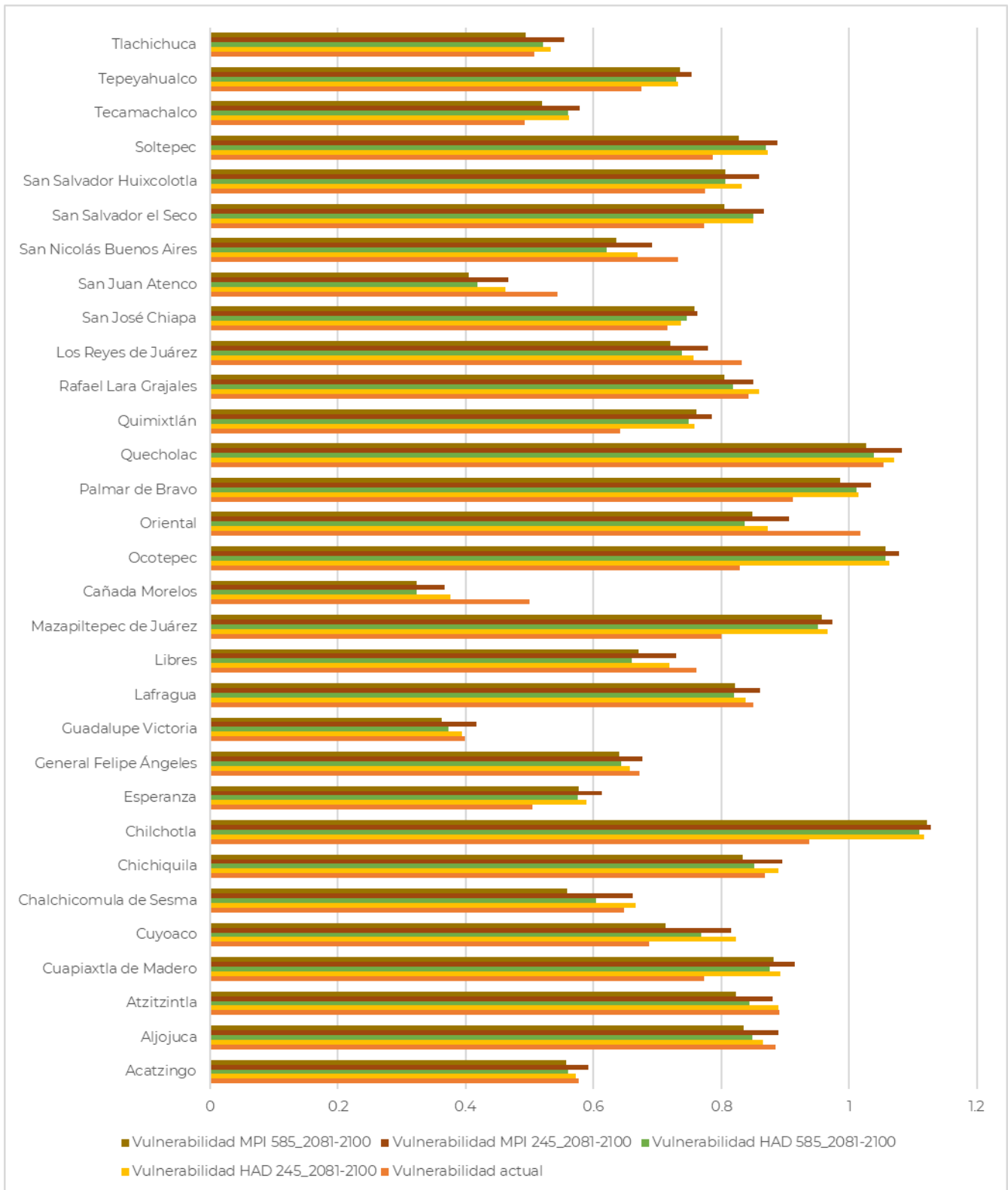
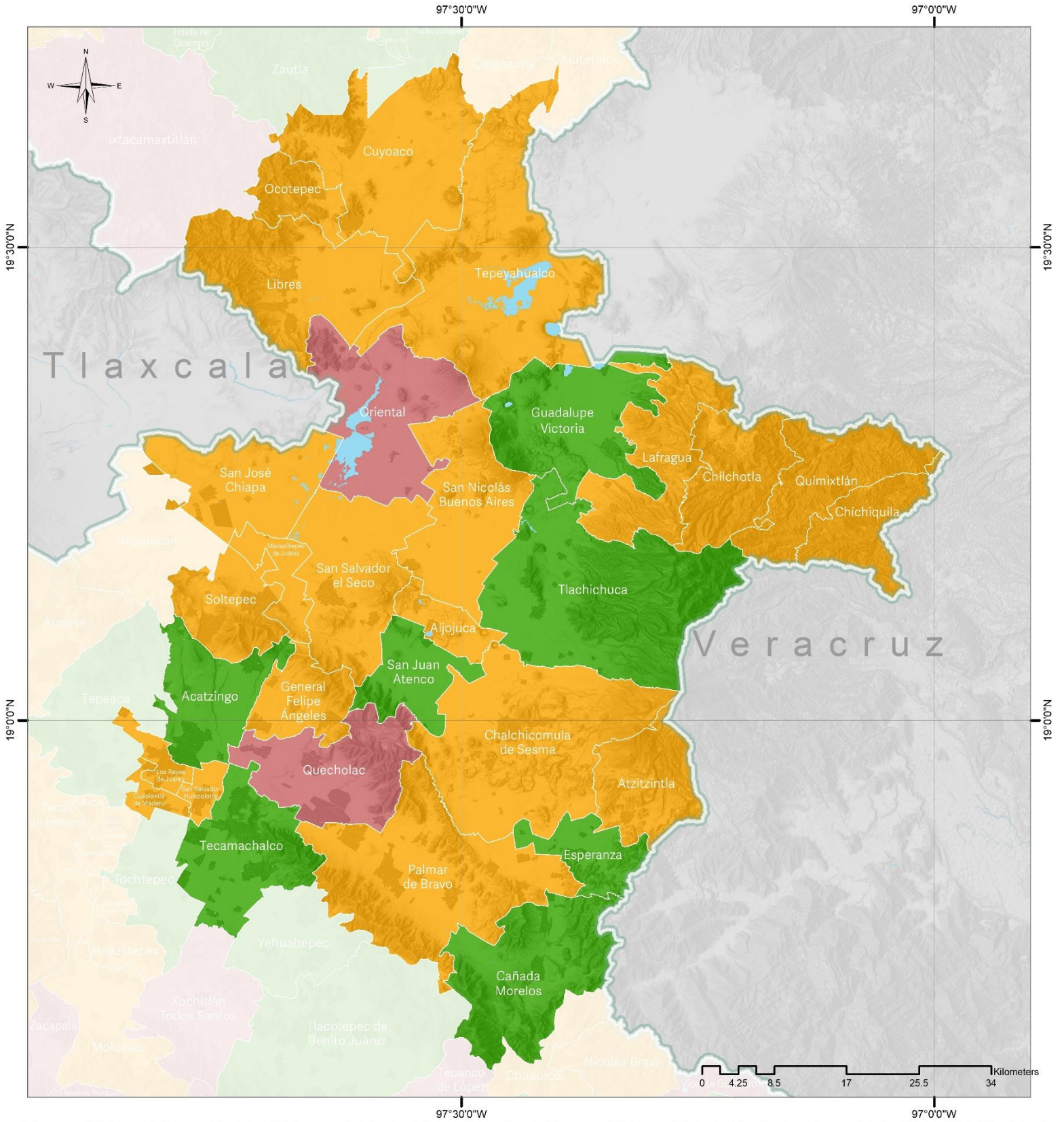


FIGURA 31. GRÁFICA DE LA REGIÓN SERDÁN Y VALLES CENTRALES: VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES ACTUAL Y EL FUTURO LEJANO DE LOS DOS SSP 245 Y 585



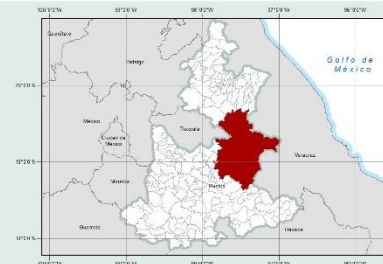


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

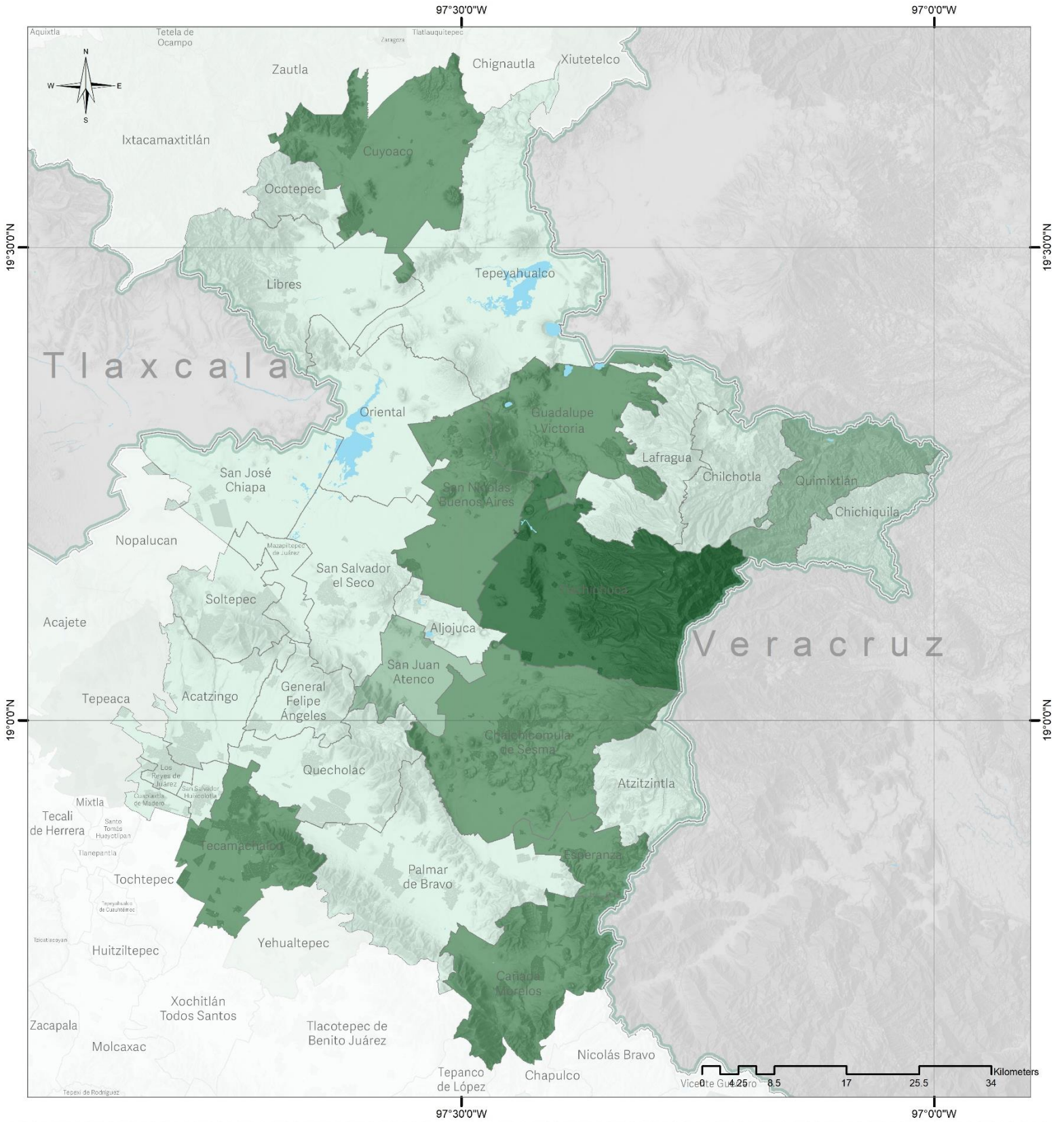
- Alta
- Media
- Baja



**M152. Vulnerabilidad por inundaciones**  
Región Serdán y Valles Centrales

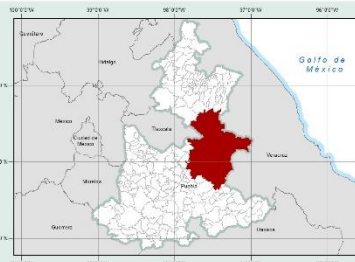
Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

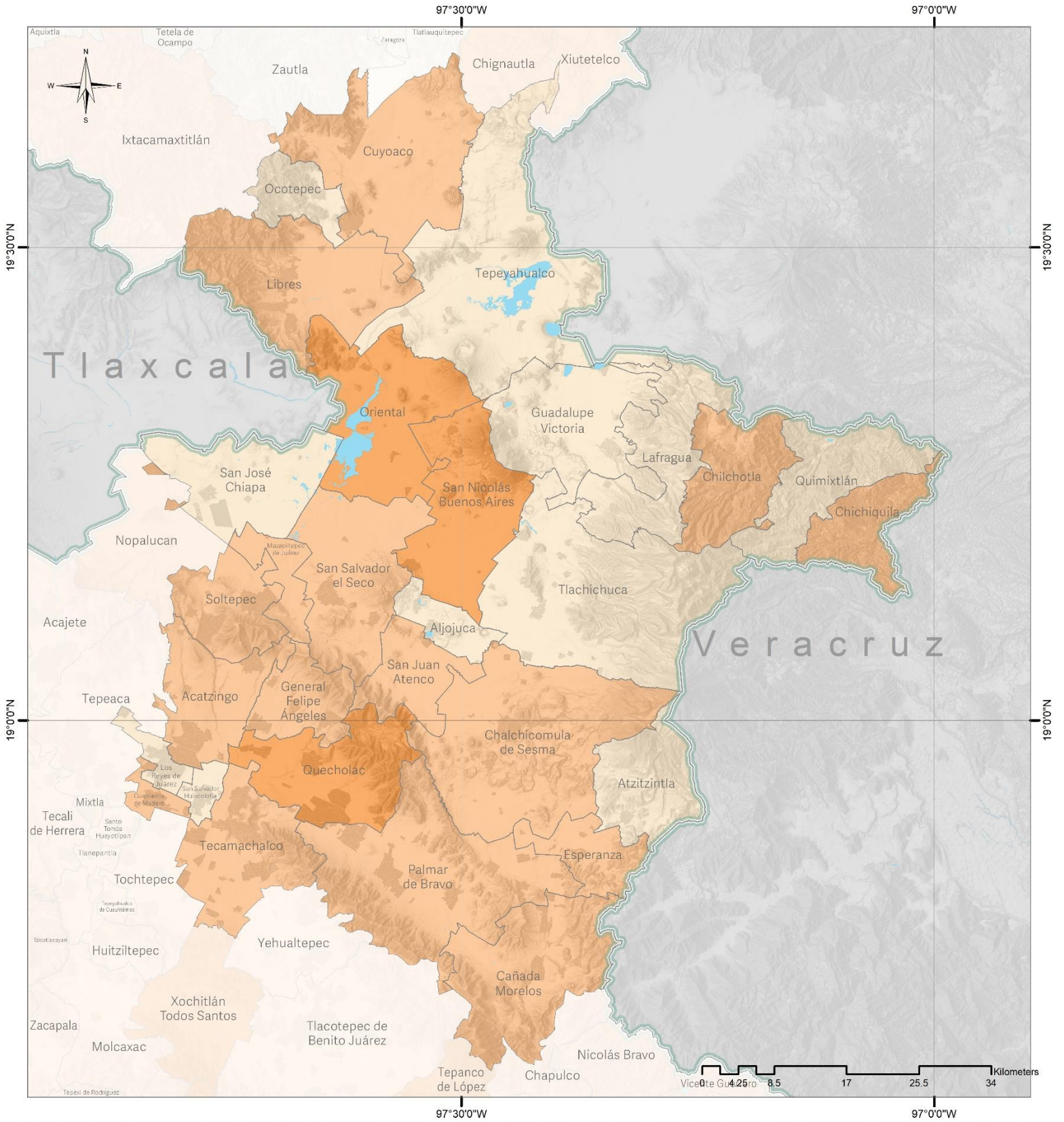
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal



**M153. Vulnerabilidad por inundaciones. Capacidad Adaptativa**  
Región Serdán y Valles Centrales

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

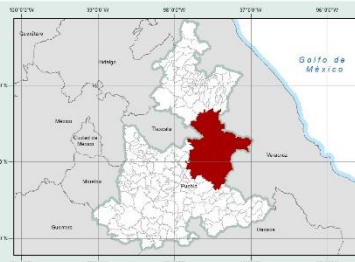
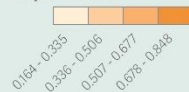
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Exposición**

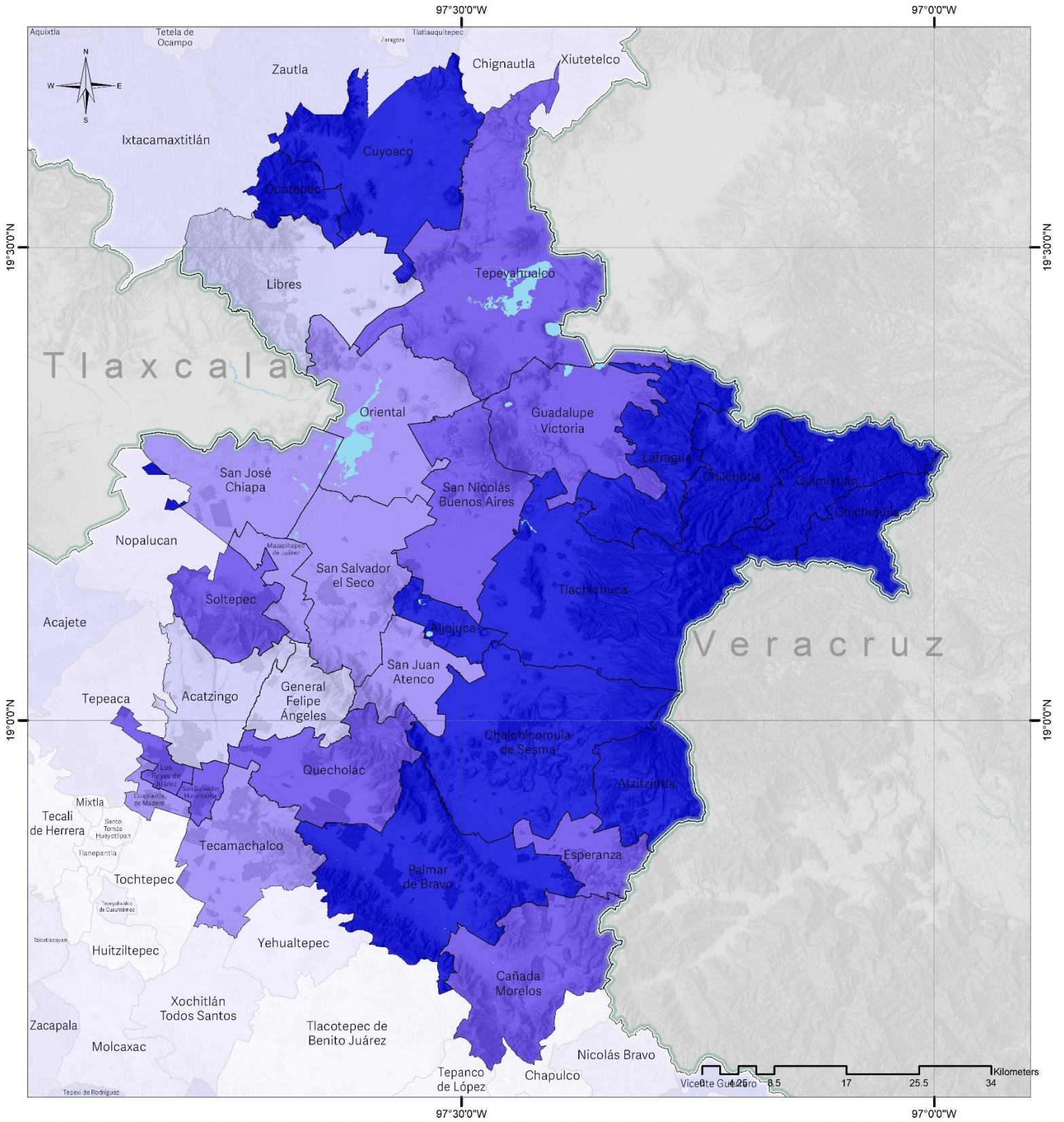


**M154. Vulnerabilidad por inundaciones. Exposición**

**Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

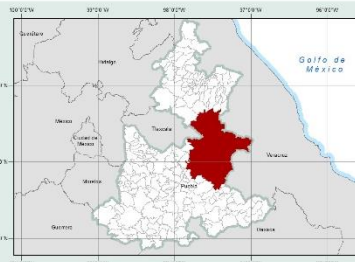
Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984



**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Sensibilidad**



**M155. Vulnerabilidad por inundaciones. Sensibilidad**

**Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

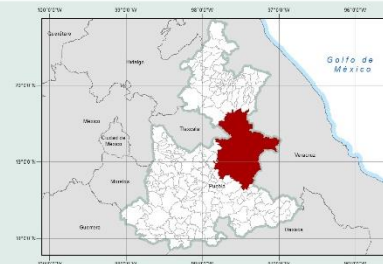


**Simbología**

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

**Vulnerabilidad por inundaciones**

- Aumenta 0
- A



**M157. Vulnerabilidad por inundaciones.**

**Región Serdán y Valles Centrales**

Fuente: Elaboración Propia  
Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984

## Recomendaciones para disminuir la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones.

En general las medidas para disminuir la vulnerabilidad de estos municipios van encaminadas a la disminución de la sensibilidad y al aumento de la capacidad adaptativa. Para disminuir la sensibilidad a la problemática de inundaciones en la agricultura se deben de implementar medidas que:

- Incrementen la cobertura de vegetación en las cuencas. En especial en las zonas altas y restauración de la vegetación riparia.
- Disminuyan la erosión de suelos
- Promuevan condiciones de producción más resistentes como el uso de cultivos perennes.

Para aumentar la capacidad adaptativa:

- Promover la generación de instrumentos de gestión de riesgos. Muchos de estos municipios no cuentan con un Atlas Municipal de Riesgos.
- Promover áreas de conservación de la vegetación (ej. Áreas Naturales Protegidas, Pago por servicios ambientales)
- Promover la organización de los productores para que reciban asistencia técnica para mejorar la manera en que hacen uso del suelo y prácticas agrícolas y mejorar su acceso a programas como el de fomento agrícola.
- Acceso a seguros contra eventos climáticos.

En la siguiente tabla se muestran los 41 municipios con alta vulnerabilidad y de los criterios utilizados para evaluar esta se hace referencia a las medidas anteriores que pudiesen aplicar para disminuir su sensibilidad o aumentar su capacidad adaptativa. Para todos estos municipios aplica el incrementar la cobertura de seguros y promover la organización de productores.

Para más información sobre las medidas de adaptación revisar el capítulo correspondiente en el informe.

TABLA 5. MUNICIPIOS CON ALTA VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES Y RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR SU VULNERABILIDAD.

| CLAVE DEL MUNICIPIO | NOMBRE DEL MUNICIPIO      | NOMBRE DE LA REGIÓN       | INCREMENTAR LA COBERTURA DE LA VEGETACIÓN EN LA CUENCA Y RESTAURACIÓN DE LA VEGETACIÓN RIPARIA | PROMOVER MEJORES CONDICIONES DE PRODUCCIÓN | PROMOVER LA GENERACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS | PROMOVER ÁREAS DE CONSERVACIÓN DE LA VEGETACIÓN | FOMENTO A LA ORGANIZACIÓN DE AGRICULTORES | ACCESO A SEGUROS |    |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|--|--|---|---|---|------------------|----|
| 21060               | Domingo Arenas            | Angelópolis               | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21090               | Juan C. Bonilla           |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21026               | Calpan                    |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21042               | Cuayuca de Andrade        |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21037               | Coyotepec                 |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21127               | San Jerónimo Xayacatlán   |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21092               | Juan N. Méndez            |                           | No   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21032               | Cohetzala                 |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21087               | Jolalpan                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21191               | Tulcingo                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21066               | Guadalupe                 |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21141               | San Pedro Yeloixtlahuaca  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21190               | Totoltepec de Guerrero    | Mixteca                   | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21135               | San Miguel Ixitlán        |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21169               | Tepexi de Rodríguez       |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21056               | Chila de la Sal           |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21139               | San Pablo Anicano         |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21024               | Axutla                    |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21146               | Santa Catarina Tlaltempan |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21011               | Albino Zertuche           |                           | No   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21059               | Chinantla                 |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21047               | Chiautla                  |                           | Si   | No   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21160               | Teotlalco                 |                           | Si   | Si   | Si  | No  | Si  | Si               |    |
| 21081               | Ixcamilpa de Guerrero     |                           | No   | Si   | No  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21206               | Zacapala                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21203               | Xochitlán Todos Santos    |                           | No   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21198               | Xicotlán                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21196               | Xayacatlán de Bravo       |                           | Si   | Si   | No  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21161               | Tepanco de López          |                           | Tehuacán y Sierra Negra  | No   | No  | Si  | Si  | Si               | Si |
| 21195               | Vicente Guerrero          |                           |  | No   | Si  | Si  | Si  | Si               | Si |
| 21209               | Zapotitlán                | No                        |  | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21083               | Ixtacamaxitlán            | Sierra Norte              | Si   | Si   | No  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21005               | Acteopan                  | Valle Atlixco y Matamoros | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21165               | Tepemaxalco               |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21125               | San Gregorio Atzompa      |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21007               | Ahuatlán                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21159               | Teopantlán                |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21022               | Atzitzihuacán             |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21033               | Cohuecan                  |                           | Si   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21115               | Quecholac                 | Serdán y Valles Centrales | No   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |
| 21108               | Oriental                  |                           | No   | Si   | Si  | Si  | Si  | Si               |    |

## REFERENCIAS

Álvarez, M., Varela, C., Soto, B., López, E. y Díaz - Fierros, F. (2001). Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca fluvial y su relación con la precipitación. España: Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/11134>

Arceo-Gómez EO, Hernández-Cortés D, López-Feldman A (2020) Droughts and rural households' wellbeing: evidence from Mexico. *Clim Change* 162:1197–1212. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02869-1/TABLES/3>

Atanga RA & Tankpa V (2021) Climate Change, Flood Disaster Risk and Food Security Nexus in Northern Ghana. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:706721. doi: 10.3389/fsufs.2021.706721

Bitrán, D.B., (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99. Disponible en: <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/28-NO.1-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELPERIODO1980-1999.PDF>

Blom C.W.P.M., Bögemann G.M., Laan P., van der Sman A.J.M., van de Steeg H.M., Voesenek L.A.C.J., (1990) Adaptations to flooding in plants from river áreas. *Aquatic Botany*, Volume 38, Issue 1, Pages 29-47, ISSN 0304-3770. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(90\)90097-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90097-5).

Calle Díaz, Z. y Murgueitio, E. (2015). Conservación de los suelos ganaderos: un tema pertinente en tiempos de sequía. *Engormix*. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/conservacion-suelos-ganaderos-tema-t32265.htm>

CENAPRED (2018). Umbrales de precipitación como medida de prevención ante inundaciones. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336986/3.\\_Presentacion\\_umbrales\\_180305.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/336986/3._Presentacion_umbrales_180305.pdf)



CENAPRED (2022). Sistema de Consulta de Declaratorias 2000 – 2022. Disponible en: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>

CIMMYT (2021). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Impacto del cambio climático en la agricultura. Disponible en: <https://atamexico.com.mx/noticia-de-interes/impacto-del-cambio-climatico-en-la-agricultura/>

De Ávila B. A. ¿Cuna o escaparate? La domesticación de plantas en el Valle de Tehuacán. *Elementos* 122 (2021) 57-64. Disponible en: <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000006144.pdf>

DOF, (2009). Declaratoria de contingencia climatológica para efectos de las reglas de operación del programa de atención a contingencias climatológicas (PACC), en virtud de los daños a consecuencia de la sequía atípica, impredecible y no recurrente, que afecto a los municipios de Ahuehuetitla, Albino Zertuche, Axutla, Cohetzala, Chila de la Sal, Chinantla, Ixcamilpa de Guerrero, Jolalpan, Piaxtla, Tecmatlán, Tehuizingo, Tulcingo y Xicotlán del estado de Puebla. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5081414&fecha=24/02/2009#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5081414&fecha=24/02/2009#gsc.tab=0)

Esparza, M. (2013). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia no. 89 México may/ago 2014. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-03482014000200008](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008)

Estrada, F., Mendoza-Ponce, A., y Calderón-Bustamante, O. (2022). Impacts and economic costs of climate change on Mexican agriculture. *Reg Environ Change* **22**, 126 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01986-0>

FAO (2007). Secuestro de carbono en tierras áridas. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf>

FAO (s/f). La organización de los productores en el contexto de la globalización: la experiencia de la confederación nacional ganadera. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/AD727S/AD727S05.htm>

Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.

Flores-Cruz, LA., García-Salazar, JA., Mora-Flores, JS., y Pérez-Soto, F. (2014). Producción de maíz (zea mays l.) en el estado de Puebla: un enfoque de equilibrio espacial para identificar las zonas productoras más competitivas. *AGRICULTURA*,

SOCIEDAD Y DESARROLLO, ABRIL - JUNIO 2014. VOLUMEN 11, NÚMERO 2.  
Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v11n2/v11n2a6.pdf>

Flores-Domínguez, A.D., Ruíz-Careaga, J.A., Priego-Santander, A., (2017). Procesos de Erosión Sedimentación en cauces y cuencas. Capítulo 5: Evaluación de la degradación de suelos en el estado de Puebla, México. Volumen 3. PHI-VIII. Documento técnico N 38. ISBN 978-92-3-300071-1. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321319173\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_degradacion\\_de\\_suelos\\_en\\_el\\_estado\\_de\\_Puebla\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/321319173_Evaluacion_de_la_degradacion_de_suelos_en_el_estado_de_Puebla_Mexico)

Froidevaux, P., Schwanbeck, J., Weingartner, R., Chevalier, C. y Martius, O. (2015). Flood triggering in Switzerland: the role of daily to monthly preceding precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(9):3903-3924. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-19-3903-2015>

Gobierno del Estado de Puebla, (2019). Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024.  
Disponible en:  
<http://giep.puebla.gob.mx/Documentos/2018/trtrrt/PlanEstataldeDesarrollo2019-2024.pdf>

Gómez Díaz, JD, Flores Velásquez, R., y Monterroso Rivas, AI (2020). Aptitud actual bajo escenarios de cambio climático para tres cultivos en México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 11 (4). México, ME:777-88.  
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2463>.

Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Recuperado de:  
<http://revistas.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfalV2148.pdf>

Guevara-Polo, D.E., (2021). Acuíferos: Fuente de resiliencia ante las sequías.  
Disponible en: <https://blogcatedraunesco.udlap.mx/acuiferos-fuente-de-resiliencia-ante-las-sequias/>

Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn, and D.H. Lister (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34, 623-642. doi:10.1002/joc.3711

Harvey CA, Saborio-Rodríguez M, Martínez-Rodríguez M, Viguera B, Chain-Guadarrama A (2018) Climate change impacts and adaptation among smallholder

farmers in Central America. *Agric Food Secur* 7:1–20. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>

Hernández Cerda, M. E., Carrasco Anaya, G. y Alfaro Sánchez, G. (2007). Mitos y realidades de la sequía en México. México: Instituto de Geografía, UNAM. Disponible en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/128/121/419-1>

INAFED (s/f). Guía técnica. Prevención y atención de contingencias a nivel municipal. México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.

INECC. 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigital.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf)

INEGI, (2017). Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000- Serie IV. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Publicación especial No. 8. Disponible en: <https://www.cmdrs.gob.mx/sites/default/files/cmdrs/sesion/2018/09/17/1474/materiales/inifap-estudio.pdf>

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24, doi:10.1017/9781009157940.001.

Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K. y Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394(1-2):90-100. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.04.025>

Méndez, G. J., Návar, C. J. J. y González, O. V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 65:38. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112008000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000100004)

Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Alanís-Rodríguez, E., Canizales-Velázquez, P. A., González-Rodríguez y H., Jiménez-Pérez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. Rev. Mex. de Cienc. Pecuarias. Recuperado de:  
<http://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3193/2618>

Murray-Tortarolo GN, Jaramillo V, Larsen J (2018) Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. Agric for Meteorol 253–254:124–131.  
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.011>

Nawrotzki RJ, Hunter LM, Runfola DM, Riosmena F (2015) Climate change as a migration driver from rural and urban Mexico. Environ Res Lett 10:114023.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/114023>

Neira Méndez, F. H. (2006). Assessment of climate indices in drylands of Colombia. Bélgica: Universiteit Gent. Disponible en:  
[http://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Thesis\\_Soil/Thesis\\_Fredy\\_final.pdf](http://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Thesis_Soil/Thesis_Fredy_final.pdf)

OEA (2008). Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe (Documento borrador). Arlington, Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos, Departamento de Desarrollo Sostenible. Disponible en:  
[http://www.oas.org/dsd/spanish/psa/guia\\_conceptual\\_y\\_metodologica\\_psa\\_draft\\_2.pdf](http://www.oas.org/dsd/spanish/psa/guia_conceptual_y_metodologica_psa_draft_2.pdf)

OEA (2008). Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe. Documento borrador. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo sostenible. Disponible en:  
[https://www.oas.org/DSD/Spanish/PSA/Guia\\_Conceptual\\_y\\_Metodologica\\_PSA\\_Draft\\_2.pdf](https://www.oas.org/DSD/Spanish/PSA/Guia_Conceptual_y_Metodologica_PSA_Draft_2.pdf)

ONU (2020). Acción por el clima: ¿Qué es el cambio climático? Disponible en:  
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

ONU. (2020). El cambio climático es más mortal que el coronavirus. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/03/1470901>

ONU. (28 de marzo de 2019). Miles de muertos, millones de desplazados... los efectos del cambio climático se aceleran. Noticias ONU. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1453581>

ONU. (2022). ¿Qué es el cambio climático? Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms. *Nat Rev Earth Environ* **2**, 213–226 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>

Rey-Valencia, D. y Zambrano, J. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande. *Revista UIS Ingeniería* 17(1):115-126. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/7627>

Saaty, Thomas (1988). *The analytical hierarchy process*. Mc. Graw Hill.

SADER, (2022). Inicia Agricultura acciones de la Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible en cuatro entidades del país. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/puebla/es/articulos/inicia-agricultura-acciones-de-la-estrategia-nacional-de-suelo-para-la-agricultura-sostenible-en-cuatro-entidades-del-pais-301704>

Sánchez-Cohen I, Spring U, Padilla G, Cerano J, Inzynza M et al (2013) Forced migration, climate change, mitigation, and adaptive policies in Mexico: Some functional relationships. *Int Migr* 51:53–72. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2435.2012.00743.x>

Sánchez, S. N. y Garduño, L. R. (2008). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. *ContactoS* 68:5-10. Disponible en: <https://docplayer.es/20640177-Algunas-consideraciones-acerca-de-los-sistemas-de-clasificacion-climatica.html>

San José R., Pérez J.L., González R.M., Pecci J., Garzón A., y Palacios M. (2016). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. *Journal of*

Computational and Applied Mathematics. Volume 293. 192-207 pp. ISSN 0377-0427.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.04.024>

SDR, (2022b). Continúa SDR impulso al maíz en Puebla. Disponible en:  
<https://puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/10158-continua-sdr-impulso-al-maiz-en-puebla>

SDR, (2022c). Apoya SDR a productores afectados por contingencias climáticas.  
<https://puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/10058-apoya-sdr-a-productores-afectados-por-contingencias-climatologicas>

Secretaría de Desarrollo Rural (SRD) (2022). Destinará gobierno de Puebla 72 mdp para atender a productores afectados por sequías. Disponible en:  
<https://www.puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/9482-destinara-gobierno-de-puebla-72-mdp-para-atender-a-productores-afectados-por-sequias>

Secretaría de Economía (2022). Plataforma iCluster. Consultado el 13 de diciembre de 2022. <http://icluster.puebla.gob.mx/>

SEGOB, (2010). Con punto de acuerdo, a fin de que la SAGARPA emita por la Subsecretaría de Desarrollo Rural la declaratoria de contingencia climática para efectos de las reglas de operación del programa de atención a contingencias climatológicas, en virtud de los daños por la sequía atípica, impredecible y no recurrente que afectó diversos municipios de Puebla, a cargo del diputado Marco Ramírez Martínez, del grupo parlamentario del PRI. Disponible en:  
[http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2010/12/asun\\_2723698\\_20101213\\_1292266750.pdf](http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2010/12/asun_2723698_20101213_1292266750.pdf)

SMADSOT, (2022). Reporte especial de sequía, riesgos climáticos, calidad del aire y seguridad del agua en el estado de Puebla. Disponible en:  
<https://puebla.gob.mx/images/tramites-y-servicios/162/ReporteEspecialcorteal040422.pdf>

SMADSOT, (2022b). Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030. Disponible:  
[https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion\\_de\\_la\\_Estrategia\\_Estatal\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_2021-2030\\_T2\\_04042022.pdf](https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion_de_la_Estrategia_Estatal_de_Cambio_Climatico_2021-2030_T2_04042022.pdf)

SEMARNAT, (2015). Informe de la situación del Medio Ambiente en México 2015. Disponible en:  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf)

SHCP, (2017). Secretaría de Hacienda y Crédito Público- Laura Ramírez Aldana. El Seguro Agrícola y de Animales en México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/293683/165.\\_El\\_Seguro\\_Agricola\\_y\\_de\\_Animales\\_en\\_Mexico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/293683/165._El_Seguro_Agricola_y_de_Animales_en_Mexico.pdf)

SIAP (2018), Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas agroalimentario 2012-2018. Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)

SIAP, (2018b). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Aptitud agroclimática de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/401133/10\\_Aptitud\\_agroclimtica\\_de\\_Mexico\\_de\\_octubre\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/401133/10_Aptitud_agroclimtica_de_Mexico_de_octubre_2018.pdf)

SIAP, (2018c). Cultivos perennes: garantía de alimentación agrícola y humana. <https://www.gob.mx/siap/articulos/cultivos-perennes-garantia-de-alimentacion-agricola-y-humana?idiom=es>

SIAP, (2021). Comportamiento del empleo en el sector primario. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/analisis-del-comportamiento-del-empleo-en-el-sector-primario-134578>

SIAP, (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SIAP, (2022b). Empleo en el sector primario (Primer trimestre de 2022). Disponible: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729352/Analisis\\_de\\_Empleo\\_en\\_Actividades\\_agropecuarias\\_y\\_pesqueras\\_1\\_Trim\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/729352/Analisis_de_Empleo_en_Actividades_agropecuarias_y_pesqueras_1_Trim_2022.pdf)

SIAP, (2022c). Panorama de la Frontera Agrícola de México: Puebla. Dirección de Soluciones Geoespaciales. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/763712/Panorama\\_FA\\_Puebla\\_s\\_ept\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/763712/Panorama_FA_Puebla_s_ept_2022.pdf)

SIAP, (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Ulloa, F. (2011). El entorno y la gestión del riesgo de desastre. En la UNESCO. Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000219184>

UNESCO (1982). Desarrollo de tierras áridas y semiáridas, obstáculos y perspectiva. España: Serbal. Disponible en:  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000024592\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000024592_spa)

United Nations Environment Programme (UNEP) (2022). Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies. Nairobi. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>

USDA, (2019). Research brief: Farming in the floodplain Trade-offs and opportunities. Disponible en:  
[https://www.climatehubs.usda.gov/sites/default/files/FarmingtheFloodplain\\_508.pdf](https://www.climatehubs.usda.gov/sites/default/files/FarmingtheFloodplain_508.pdf)

Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time *Weather* 36(7):201-208. Doi: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>

World Bank. 2020. Addressing Food Loss and Waste: A Global Problem with Local Solutions. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34521> License: CC BY 3.0 IGO.

### **Referencias bases de datos:**

CENAPRED (2010-2020). Cobertura de Atlas Municipales.  
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/cob-atlas-municipales.html>

CONAGUA (2010). Cuencas Hidrológicas.  
<https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=10>

CONAGUA (2019). Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH) en el Atlas Nacional de Riesgos por Inundación (ANRI). Región Centro. Índice de inundabilidad, periodo de retorno 100 años.  
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>

CONAGUA, (2020). Comisión Nacional del Agua – Subdirección General Técnica. Disponibilidad de los acuíferos 2020. Consulta septiembre 2022.  
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=mapa>

CONAGUA-CENAPRED (2016). Umbrales de inundación.  
<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/indicadores-municipales.html>



CONAFOR (2018). Pago por Servicios Ambientales. Disponible en:  
<https://idefor.cnf.gob.mx/mviewer/PSA>

CONANP (2018). Áreas Naturales Protegidas.  
[http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato\\_SHAPE\\_ANPS.html](http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/metadatos/anp/Metadato_SHAPE_ANPS.html)

INECC (2019). Índice de compacidad de las cuencas. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio climático.

INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal:  
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>

INEGI (2014). Conjunto de datos vectoriales Edafológico. Escala 1:250000.  
<https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>

INEGI (2014). Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825004223>

INEGI, (2017). Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000- Serie IV.  
Disponible en:  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>

INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Escala 1: 250 000.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/geografia/tematicas/uso\\_suelo/889463173359\\_s.zip](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/geografia/tematicas/uso_suelo/889463173359_s.zip)

INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020. División municipal.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>

Padrón Único de Beneficiarios. Beneficiarios de programas federales:  
<https://pub.bienestar.gob.mx/pub>

SADER (2018). Monto y número de hectáreas y/o unidades animales apoyadas de SAGARPA. Datos Abiertos:  
<https://datos.gob.mx/busca/dataset?organization=agricultura>

Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla (2020). Seguro Catastrófico. Página de transparencia. Descarga:

[https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151\\_1635986818\\_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx](https://transparencia.puebla.gob.mx/docs/adjuntos/1151_1635986818_7ac1b2b7a014479ece847541b0a9a47f.xlsx)

SMADSOT (2019). Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua.

<https://buscador.plataformadetransparencia.org.mx/web/guest/buscadornacional?buscador=Obras%20de%20Infraestructura%20Productiva%20para%20el%20Aprovechamiento%20Sustentable%20de%20Suelo%20y%20Agua&coleccion=5>

SEMARNAT, Dirección de Geomática, (2004); Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000.

<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/degra250kgw.html>

SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

### **Datos climáticos:**

Para los datos actuales se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1 (base de datos Harris et al. 2014); se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1km<sup>2</sup>) (Fick and Hijmans, 2017). Para los cálculos a futuro se utilizaron los escenarios de cambio climático seleccionados: HadGEM3 ssp245 (2021-2040), HadGEM3 ssp245 (2081-2100), HadGEM3 ssp585 (2021-2040), HadGEM3 ssp585 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100):

- WorldClim (2020). WorldClim version 2.1 climate data for 1970-2000. <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>
- WorldClim (2020). Future climate, 30 seconds spatial resolution. [https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6\\_clim30s.html](https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6_clim30s.html)

## ANEXOS

### ANEXO 1: TABLA CON LOS 120 PRODUCTOS EN MODALIDAD DE TEMPORAL

| Producto                  | Superficie Sembrada | Valor de la producción |
|---------------------------|---------------------|------------------------|
| Acelga                    | 1.59                | 44,502.80              |
| Agave                     | 376.50              | 37,990,979.80          |
| Aguacate                  | 1,971.72            | 75,415,023.90          |
| Ajo                       | 81.92               | 13,227,118.10          |
| Ajonjolí                  | 38.73               | 574,790.39             |
| Albricia                  | 5.88                | 146,930.63             |
| Alfalfa verde             | 127.76              | 3,156,902.71           |
| Alhelí                    | 208.13              | 2,841,654.46           |
| Amaranto                  | 2,338.80            | 15,944,073.90          |
| Arándano                  | 156.26              | 10,057,719.20          |
| Árbol de navidad          | 165.31              | 20,481,550.60          |
| Arvejón                   | 1,228.92            | 9,838,440.98           |
| Avena forrajera en verde  | 7,583.57            | 52,170,264.80          |
| Avena forrajera seca      | 164.45              | 2,046,778.18           |
| Avena grano               | 156.16              | 1,829,743.62           |
| Bambú                     | 244.67              | 3,225,850.53           |
| Betabel                   | 22.95               | 2,110,486.11           |
| Brócoli                   | 9.12                | 327,030.59             |
| Cacahuete                 | 6,276.38            | 65,416,479.00          |
| Café cereza               | 78,828.73           | 976,617,101.00         |
| Calabacita                | 549.15              | 29,134,826.70          |
| Calabaza                  | 190.79              | 6,474,996.36           |
| Calabaza semilla o chihua | 881.05              | 12,945,574.90          |
| Camote                    | 133.28              | 2,999,272.73           |
| Caña de azúcar            | 322.06              | 11,256,304.80          |
| Caña de azúcar fruta      | 13.73               | 111,337.91             |
| Caña de azúcar piloncillo | 100.00              | 931,712.63             |
| Canola                    | 255.72              | 186,995.46             |
| Capulín                   | 35.24               | 506,152.20             |
| Cebada forrajera en verde | 312.38              | 2,241,480.76           |
| Cebada grano              | 36,227.39           | 271,246,418.00         |
| Cebolla                   | 206.29              | 13,618,695.40          |
| Cereza                    | 11.82               | 2,091,770.53           |
| Chabacano                 | 47.69               | 872,108.90             |

|                             |            |                  |
|-----------------------------|------------|------------------|
| Chayote                     | 40.53      | 490,986.64       |
| Chía                        | 278.51     | 5,887,582.21     |
| Chícharo                    | 1,883.01   | 33,056,860.10    |
| Chile verde                 | 2,096.97   | 112,876,190.00   |
| Cilantro                    | 308.78     | 6,255,490.89     |
| Ciruela                     | 1,796.74   | 20,692,780.90    |
| Col (repollo)               | 36.92      | 1,034,965.36     |
| Coliflor                    | 1.19       | 81,633.65        |
| Durazno                     | 3,836.33   | 128,193,157.00   |
| Ebo (janamargo o veza)      | 160.94     | 1,548,241.97     |
| Ejote                       | 43.69      | 1,937,921.32     |
| Elote                       | 52.17      | 2,108,040.79     |
| Espinaca                    | 32.64      | 792,058.57       |
| Flor perrito                | 29.27      | 127,661.26       |
| Frijol                      | 55,264.14  | 377,271,647.00   |
| Frutales varios             | 28.18      | 1,202,430.02     |
| Girasol flor                | 0.27       | 67,560.95        |
| Gladiola                    | 23.53      | 5,051,009.37     |
| Granada                     | 46.05      | 1,318,766.14     |
| Guaje                       | 18.77      | 358,145.58       |
| Guanábana                   | 43.17      | 590,543.15       |
| Haba grano                  | 13,525.33  | 178,817,566.00   |
| Haba verde                  | 1,827.82   | 26,755,868.50    |
| Hierbabuena                 | 6.96       | 103,252.64       |
| Higo                        | 57.00      | 1,306,394.79     |
| Hongos, setas y champiñones | 0.24       | 952,945.46       |
| Huauzontle                  | 84.55      | 906,249.30       |
| Hule hevea                  | 35.09      | 666,818.98       |
| Jamaica                     | 489.27     | 10,765,583.60    |
| Jatropha                    | 97.82      | 99,496.91        |
| Jenjibre                    | 43.64      | 10,190,012.80    |
| Jícama                      | 421.50     | 14,609,729.50    |
| Lechuga                     | 88.22      | 3,377,496.82     |
| Lima                        | 223.88     | 4,319,036.99     |
| Limón                       | 2,784.83   | 118,571,275.00   |
| Linaza                      | 1.91       | 7,538.64         |
| Linaza ornamental           | 0.18       | 6,545.45         |
| Litchi                      | 391.73     | 75,047,676.70    |
| Macadamia                   | 489.27     | 23,406,651.60    |
| Maguey pulquero             | 546.29     | 35,221,975.00    |
| Maíz forrajero en verde     | 1,926.06   | 35,055,341.70    |
| Maíz grano                  | 554,561.88 | 3,039,537,268.00 |
| Mamey                       | 60.30      | 1,980,431.40     |
| Mandarina                   | 3,309.83   | 73,870,069.90    |
| Mango                       | 40.50      | 1,448,402.85     |

|                              |           |                |
|------------------------------|-----------|----------------|
| Manzana                      | 9,110.53  | 141,114,117.00 |
| Nabo forrajero               | 12.37     | 11,638.76      |
| Naranja                      | 26,006.54 | 352,730,384.00 |
| Nardo                        | 1.05      | 31,368.57      |
| Nopalitos                    | 324.53    | 54,464,915.70  |
| Nube                         | 96.91     | 1,128,058.81   |
| Nuez                         | 102.35    | 7,104,949.94   |
| Papa                         | 4,669.82  | 429,977,226.00 |
| Pápalo                       | 18.50     | 234,373.32     |
| Papaya                       | 18.23     | 1,351,690.32   |
| Pastos y praderas            | 670.42    | 7,866,010.82   |
| Pastos y praderas achicalado | 7.27      | 376,636.36     |
| Pera                         | 1,539.48  | 17,467,910.20  |
| Pimienta                     | 146.51    | 4,805,562.51   |
| Piñón                        | 637.14    | 42,409,408.10  |
| Pitahaya                     | 54.77     | 2,615,009.15   |
| Pitaya                       | 138.55    | 6,056,064.80   |
| Plantas de ornato            | 614.93    | 156,604,375.00 |
| Plátano                      | 2,379.13  | 108,455,658.00 |
| Rábano                       | 51.48     | 1,117,984.04   |
| Rosa                         | 44.73     | 12,726,678.50  |
| Semilla de avena grano       | 60.45     | 491,560.00     |
| Semilla de caña de azúcar    | 0.69      | 11,517.98      |
| Semilla de papa              | 3.18      | 290,709.09     |
| Sorgo grano                  | 23,162.80 | 243,141,452.00 |
| Soya                         | 1.82      | 0.00           |
| Statice                      | 47.19     | 393,546.54     |
| Tangerina                    | 1,379.91  | 28,539,775.00  |
| Tejocote                     | 561.57    | 7,119,431.00   |
| Tomate rojo (jitomate)       | 7.73      | 339,349.09     |
| Tomate verde                 | 1,060.03  | 34,373,484.40  |
| Toronja (pomelo)             | 617.00    | 10,622,070.50  |
| Trigo grano                  | 3,378.35  | 17,852,771.70  |
| Trigo ornamental             | 4.36      | 34,202.26      |
| Tuna                         | 5,360.53  | 355,517,907.00 |
| Uva                          | 6.04      | 296,786.73     |
| Vainilla                     | 83.38     | 3,497,457.19   |
| Zanahoria                    | 89.23     | 2,668,862.57   |
| Zapote                       | 0.91      | 17,939.08      |
| Zarzamora                    | 10.41     | 412,179.91     |
| Zempoalxochitl               | 753.27    | 15,372,470.70  |

## ANEXO 2: TABLA CON LOS 124 PRODUCTOS EN MODALIDAD DE RIEGO

| Producto                  | Área sembrada | Valor de la producción |
|---------------------------|---------------|------------------------|
| Acelga                    | 280.53        | 7,729,481.47           |
| Agave                     | 20.45         | 437,309.09             |
| Aguacate                  | 838.78        | 53,575,624.50          |
| Ajo                       | 483.77        | 50,647,703.30          |
| Albahaca                  | 43.45         | 2,019,809.08           |
| Albricia                  | 139.63        | 3,759,354.60           |
| Alcachofa                 | 35.41         | 1,482,976.45           |
| Alfalfa verde             | 20,419.09     | 693,555,875.00         |
| Alhelí                    | 184.86        | 6,676,282.97           |
| Amaranto                  | 15.10         | 236,599.10             |
| Anturios                  | 0.15          | 131,673.96             |
| Apio                      | 164.92        | 15,836,426.20          |
| Arándano                  | 7.09          | 547,938.93             |
| Arvejón                   | 8.42          | 186,128.65             |
| Aster                     | 5.68          | 1,384,736.38           |
| Avena forrajera en verde  | 2,866.61      | 29,414,577.00          |
| Berenjena                 | 1.86          | 200,954.55             |
| Betabel                   | 375.33        | 25,784,670.60          |
| Brócoli                   | 2,349.23      | 137,399,383.00         |
| Cacahuate                 | 769.37        | 11,607,495.50          |
| Calabacita                | 4,100.36      | 276,775,826.00         |
| Calabaza                  | 25.38         | 1,604,644.36           |
| Camote                    | 21.85         | 518,835.17             |
| Caña de azúcar            | 17,637.31     | 1,150,901,601.00       |
| Caña de azúcar fruta      | 272.14        | 12,841,269.60          |
| Canola                    | 2.18          | 2,443.64               |
| Cebada forrajera en verde | 79.97         | 932,693.09             |
| Cebada grano              | 12.75         | 93,457.18              |
| Cebolla                   | 4,572.51      | 409,345,661.00         |
| Chía                      | 0.55          | 15,654.55              |
| Chícharo                  | 551.99        | 22,012,714.20          |
| Chile seco                | 483.77        | 40,325,602.50          |
| Chile verde               | 600.51        | 49,112,028.10          |
| Cilantro                  | 2,739.60      | 93,328,778.60          |
| Ciruela                   | 194.15        | 4,353,227.24           |
| Col (repollo)             | 1,799.62      | 134,373,458.00         |
| Col de bruselas           | 67.82         | 5,914,903.06           |
| Coliflor                  | 850.89        | 58,032,269.30          |
| Colza                     | 4.38          | 78,936.34              |

|                             |           |                |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| Coquia                      | 11.82     | 1,546,336.91   |
| Crisantemo                  | 149.19    | 126,242,649.00 |
| Durazno                     | 216.14    | 10,408,253.90  |
| Ebo (janamargo o veza)      | 504.61    | 9,809,279.16   |
| Ejote                       | 1,283.10  | 67,863,421.00  |
| Elote                       | 16,645.03 | 274,441,657.00 |
| Epazote                     | 70.53     | 2,073,927.49   |
| Espinaca                    | 525.33    | 18,152,780.10  |
| Flor lisianthus             | 0.09      | 63,000.00      |
| Flor perrito                | 116.00    | 1,466,332.29   |
| Flores                      | 195.45    | 82,744,546.30  |
| Frambuesa                   | 22.22     | 5,946,065.61   |
| Fresa                       | 12.65     | 2,534,789.11   |
| Frijol                      | 8,291.57  | 124,029,882.00 |
| Gladiola                    | 1,429.13  | 473,754,100.00 |
| Granada                     | 19.55     | 615,901.36     |
| Guaje                       | 233.42    | 3,144,854.58   |
| Guayaba                     | 40.60     | 1,596,966.67   |
| Haba grano                  | 1,350.70  | 33,112,990.70  |
| Haba verde                  | 1,751.95  | 50,054,392.80  |
| Hierbabuena                 | 11.67     | 423,566.10     |
| Higo                        | 29.67     | 794,350.77     |
| Hongos, setas y champiñones | 1.10      | 2,975,795.86   |
| Huauzontle                  | 295.60    | 10,533,812.30  |
| Jamaica                     | 45.31     | 4,276,918.51   |
| Jenjibre                    | 10.91     | 1,920,000.00   |
| Jícama                      | 166.74    | 16,171,146.60  |
| Lechuga                     | 3,154.85  | 173,181,171.00 |
| Limón                       | 91.59     | 4,018,598.20   |
| Linaza                      | 1.45      | 13,735.91      |
| Maíz forrajero en verde     | 5,258.75  | 142,276,524.00 |
| Maíz grano                  | 52,132.44 | 924,904,917.00 |
| Mamey                       | 8.00      | 473,462.95     |
| Mango                       | 17.41     | 600,233.36     |
| Manzana                     | 108.88    | 3,142,343.44   |
| Manzanilla                  | 35.09     | 909,185.12     |
| Melón                       | 17.00     | 960,731.97     |
| Menta                       | 2.36      | 221,518.00     |
| Moringa                     | 3.45      | 77,187.01      |
| Nabo                        | 104.48    | 4,154,048.53   |
| Nabo forrajero              | 0.91      | 16,704.55      |
| Napa                        | 35.12     | 3,125,786.01   |
| Naranja                     | 64.06     | 1,619,370.43   |
| Nardo                       | 6.64      | 805,706.69     |
| Nochebuena                  | 54.22     | 60,195,697.90  |

|                              |          |                |
|------------------------------|----------|----------------|
| Nopalitos                    | 20.00    | 3,925,011.21   |
| Nube                         | 468.88   | 14,030,270.50  |
| Papa                         | 2,696.49 | 388,214,861.00 |
| Pápalo                       | 80.14    | 1,260,999.87   |
| Papaya                       | 177.27   | 28,671,110.30  |
| Pastos y praderas            | 307.42   | 8,508,635.39   |
| Pastos y praderas achicalado | 22.73    | 1,101,536.36   |
| Pepino                       | 408.98   | 38,736,257.60  |
| Pera                         | 436.85   | 7,961,164.45   |
| Perejil                      | 54.51    | 1,792,075.26   |
| Pipicha                      | 55.36    | 388,599.70     |
| Pitahaya                     | 8.97     | 855,872.70     |
| Pitaya                       | 16.82    | 767,392.45     |
| Plantas de ornato            | 0.34     | 70,199.23      |
| Polar                        | 27.62    | 348,751.41     |
| Porro (leek)                 | 158.18   | 8,679,168.53   |
| Quelite                      | 0.91     | 10,454.55      |
| Rábano                       | 1,323.82 | 47,545,238.10  |
| Rosa                         | 260.94   | 138,508,033.00 |
| Sábila                       | 79.36    | 3,062,781.57   |
| Salvia                       | 4.21     | 124,210.68     |
| Sandía                       | 78.03    | 8,358,485.18   |
| Semilla de caña de azúcar    | 1,107.19 | 67,394,194.50  |
| Sorgo grano                  | 3,125.85 | 65,075,532.90  |
| Soya                         | 0.18     | 777.27         |
| Statice                      | 163.13   | 3,102,389.37   |
| Té limón                     | 27.45    | 283,045.95     |
| Tejocote                     | 268.17   | 3,323,362.22   |
| Terciopelo                   | 147.02   | 6,676,456.51   |
| Tomate rojo (jitomate)       | 877.71   | 678,595,254.00 |
| Tomate verde                 | 3,900.11 | 228,412,867.00 |
| Tomillo                      | 7.68     | 314,678.22     |
| Trigo grano                  | 117.39   | 1,070,613.21   |
| Trigo ornamental             | 2.09     | 23,229.88      |
| Tuna                         | 13.18    | 446,551.67     |
| Uva                          | 2.09     | 187,090.84     |
| Zanahoria                    | 2,961.82 | 205,745,055.00 |
| Zapote                       | 1.36     | 11,955.48      |
| Zarzamora                    | 9.90     | 1,771,329.45   |
| Zempoalxochitl               | 541.09   | 16,731,776.10  |