

Estudios de Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático

MAZATLÁN (SINALOA)



FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.
INSTITUCIÓN PRIVADA



RÍO ARRONTE
FUNDACIÓN



Contenidos

1. Resumen ejecutivo	6
2. Objetivo general	8
3. Antecedentes	10
4. Análisis climático	26
5. Análisis de vulnerabilidad	60
6. Portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)	200
7. Referencias	223
8. Mapas	230
9. Anexos	378
10. Siglas y acrónimos	396
11. Glosario	398

El presente documento para Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) se realizó bajo el marco del proyecto “Cuencas y Ciudades V: Espacios de adaptación al Cambio Climático en diez regiones de México” el cual se implementa con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de FMCN ni de la donataria del proyecto.

Agradecemos al socio local Conselva, Costas y Comunidades A.C., por su apoyo en las gestiones realizadas con actores clave en el territorio tanto del sector público, privado, académico y de sociedad civil, así como en la coordinación para el desarrollo de talleres y demás actividades que hicieron posible este documento.

Resumen ejecutivo

Las ciudades se ven afectadas en forma creciente por eventos hidrometeorológicos extremos como inundaciones, deslizamientos de ladera, sequías y olas de calor. Estos eventos impactan negativamente en medios de vida, salud, ecosistemas, bienes económicos, sociales y culturales, servicios e infraestructura. Con un 80% de la población mexicana viviendo en ciudades en 2024, y un 88% proyectado para 2050, abordar la vulnerabilidad urbana ante el Cambio Climático se vuelve crucial. La rápida urbanización en México, a menudo con una planeación deficiente, ha exacerbado los riesgos climáticos, con una gestión inadecuada del agua, viviendas irregulares y deterioro de recursos naturales que aumentan la vulnerabilidad.

La adaptación al Cambio Climático requiere entender la vulnerabilidad del sistema urbano y su entorno rural, incluyendo la cuenca que le proporciona servicios ecosistémicos. La vulnerabilidad surge de la interacción entre exposición y capacidad adaptativa (Monterroso-Rivas *et al.*, 2011), presentándose cuando un sistema urbano tiene baja capacidad de adaptación y alta exposición y sensibilidad socioeconómica.

En este contexto, se estudió la vulnerabilidad socioambiental (actual y futura) de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, considerando peligros climáticos, exposición de la población y ecosistemas, sensibilidad socioeconómica y capacidad adaptativa basada en ecosistemas. Los principales peligros identificados en Mazatlán son inundación fluvial y costera, inestabilidad de laderas y erosión costera. Actualmente, 102,377 habitantes distribuidos en 2,349 manzanas están expuestos a peligros relacionados con el clima, especialmente en colonias como Benito Juárez, Francisco I. Madero y Centro. La infraestructura urbana, incluyendo instalaciones de gobierno, turismo y escuelas, también presenta alta exposición. Cerca de 186,000 personas en Mazatlán tienen algún grado de sensibilidad socioeconómica y la desigualdad de género agrava la vulnerabilidad.

Los ecosistemas, en particular los bosques de pino-encino en la cuenca del río Presidio, son cruciales para garantizar la disponibilidad de agua. Esta cuenca puede proveer 2,703.43 millones de m³ al año, aunque en su mayoría este recurso se aprovecha en las zonas agrícolas de riego. Por su parte, la vegetación arbórea retiene 4.4 millones de toneladas de suelo al año, previniendo el azolve de cuerpos de agua. La selva baja caducifolia es un ecosistema prioritario para la conservación de servicios ecosistémicos.

En cuanto a la vulnerabilidad de la población urbana, actualmente 102,337 personas presentan vulnerabilidad Muy Alta (51.1%) y Alta (45.6%), concentrada en torno al estero Urías y colonias cercanas. 755 instalaciones urbanas y 56.64 km de vialidades también son vulnerables. Debido al crecimiento urbano, en el año 2030 podría presentarse una pérdida de 21,241 hectáreas de cobertura vegetal, principalmente selva baja caducifolia. En ese sentido, la población expuesta podría aumentar a 144,307 personas, siendo los ecosistemas naturales como la selva baja y el sistema agrícola los sectores que se vean más afectados por este crecimiento. En escenarios de Cambio Climático, la ciudad podría experimentar un aumento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos, incluyendo aumento del nivel del mar, olas de calor y escasez de agua.

Para enfrentar la vulnerabilidad actual y futura, se propone un portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Las SbN son prácticas que utilizan o simulan procesos naturales para abordar desafíos socioambientales, buscando un equilibrio sostenible entre las necesidades humanas y el entorno natural, además ofrecen un enfoque prometedor para construir un Mazatlán más resiliente y sostenible por lo que es fundamental integrar estas soluciones en la planificación urbana y la gestión de recursos para proteger a la población, la economía y los ecosistemas.

Objetivo general

Desarrollar el estudio de vulnerabilidad socioambiental actual y futura ante eventos relacionados con la variabilidad climática para la ciudad de Mazatlán, Sinaloa a partir de la evaluación de los peligros potenciales ante eventos climáticos, la exposición de la población, sus sistemas productivos y ecosistemas, la sensibilidad socioeconómica de los habitantes y la capacidad adaptativa basada en sus ecosistemas.

Antecedentes

2.1. Cambio Climático y ciudades

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) el *Cambio Climático* hace referencia a una variación del estado del clima identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante periodos prolongados, generalmente décadas o periodos más largos. El *Cambio Climático* puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas y cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra. La CMNUCC, en su Artículo 1, define el *Cambio Climático* como el *cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables*.

La CMNUCC diferencia, pues, entre el Cambio Climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2018b). El Cambio Climático es considerado un problema complejo y de interés público global (Rosas, 2015). En ese sentido, las ciudades de México enfrentan retos importantes relacionados con menores capacidades de prestación de servicios públicos y con las desigualdades sociales, situaciones que pueden verse exacerbadas por el Cambio Climático. De entre las regiones del mundo, América Latina y el Caribe es la segunda más poblada, donde además las instituciones de gobierno han

prestado muy poca atención al tema (Hardoy & Romero Lankao, 2011; Kamal-Chaoui & Robert, 2009; Mimura *et al.*, 2015; Slater, 2011).

De acuerdo con ONU-Hábitat, las ciudades de América Latina incluido México agrupan a más del 65% de la población, consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), pero abarcan menos del 2% de la superficie de la tierra (UN, 2023). Los efectos específicos del Cambio Climático en los sistemas urbanos variarán según la ubicación, pero pueden incluir la disminución en el aprovisionamiento de agua potable, eventos climáticos extremos con mayor frecuencia e intensidad, como fuertes lluvias y ciclones, mayor incidencia de inundaciones, en el caso de las ciudades costeras marejadas ciclónicas en el interior y un aumento en los eventos de calor extremo (Arias *et al.* 2021; Inostroza *et al.*, 2013).

La naturaleza y el alcance de estas amenazas potenciales para las ciudades significa que la gran mayoría de los sistemas urbanos y sus residentes son vulnerables hasta cierto punto, dependiendo del lugar donde se asienten y de sus condiciones socioeconómicas. El grado de vulnerabilidad urbana puede incrementarse por la concentración de personas y las demandas que esto supone para la infraestructura urbana (Arias *et al.* 2021; Winchester & Szalachman, 2012).

El incremento de concentración de personas y sus demandas a la infraestructura urbana incrementan la vulnerabilidad, con lo que incluso efectos menores del Cambio Climático pueden afectar a un gran número de personas y tener graves consecuencias para los sistemas urbanos más amplios.

Todos los sistemas urbanos se enfrentan a cierta vulnerabilidad a los efectos del Cambio Climático. Estos efectos pueden interrumpir o incluso destruir una amplia variedad de funciones urbanas (Matthews, 2011). Sin embargo, estos efectos directos no agotan los impactos potenciales que el Cambio Climático puede tener en las ciudades. De acuerdo con Sobrino (2011) el crecimiento urbano de México a lo largo del siglo XX atestiguó tres grandes fases. La primera fase abarcó el periodo 1900-1940, en donde el grado de urbanización se elevó de 10.6 a 20.1 por ciento. La segunda fase ocurrió durante las cuatro décadas siguientes, 1940-1980. La política económica de sustitución de importaciones y la inversión pública federal favorecieron la concentración de la población en áreas urbanas. El grado de urbanización se elevó de 20.1 a 51.8 por ciento. La expansiva urbanización fue resultado del crecimiento natural (nacimientos menos defunciones) y la masiva migración interna desde áreas rurales hacia zonas urbanas. La distribución territorial de la población urbana se caracterizó por su concentración hacia la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), cuyo monto demográfico ascendió de 1.5 millones de habitantes en 1940 a 14.5 millones en 1980.

La tercera fase de urbanización comenzó entre 1980 y 2010 en donde el índice cambió de 51.8 a 62.5% entre 1980 y 2010. Las principales características de la urbanización nacional en esta tercera fase han sido las siguientes: i) importante descenso en el crecimiento poblacional de la ZMCM, la cual se transformó de ser el principal polo de atracción de flujos de migración interna, a ser el nodo con mayor expulsión absoluta de migrantes; ii) significativo crecimiento poblacional en las urbes de mayor tamaño dentro del rango de ciudades intermedias, ubicadas tanto en la región Centro del país como en la Frontera Norte; iii) cambios en el patrón de la migración interna, con predominio de los flujos urbano-urbano, iv) consolidación de la dimensión metropolitana, propiciando un cambio en el país de ser predominantemente urbano a preferentemente metropolitano;

v) emergente conformación de regiones urbanas, y vi) institucionalización de la planeación territorial en el país. Sumado a lo anterior, en México se sigue presentando un crecimiento urbano relativamente intenso y desordenado, donde persisten las carencias y problemas que conlleva la urbanización (Luiselli Fernández, 2019). Es posible y de hecho probable que las características urbanas puedan exacerbar estos impactos y la vulnerabilidad de los espacios urbanos (Barlett et al., 2010).

Tales características incluyen:

- Grandes superficies asfaltadas y de concreto, además de otras superficies que absorben el calor del sol, causando el efecto de “isla de calor urbana”, que se suma al aumento de las temperaturas urbanas.
- La superficie impermeable también reduce la absorción del agua de lluvia, lo que puede hacer que se sobrepase la capacidad de los sistemas de agua pluviales y aumentar los riesgos de inundación.
- La densidad de población urbana tiene influencia directa sobre los espacios verdes ya que puede reducirlos o ejercer presión para cambiar el uso de suelo, esto puede traer consigo algunas consecuencias como aumento de las islas de calor urbanas, aumento de la velocidad de la escorrentía superficial, disminución en la infiltración de la lluvia hacia los mantos acuíferos.
- Las densidades de población también pueden ejercer presión sobre los suministros de agua, lo que lleva a un mayor potencial de escasez (Clean Air Partnership, 2007; Shaw, Colley y Connell, 2007), tal es el caso de Sinaloa que experimenta sequías y escasez de agua sin precedentes (Nasa, 2024).

Como los sistemas urbanos contribuyen significativamente al Cambio Climático y pueden sufrir muchos de sus efectos, entonces, estos se encuentran en un ciclo de retroalimentación negativa (Matthews, 2011). De ello se deduce que la adaptación en los sistemas urbanos es necesaria para reducir y gestionar los impactos de estos efectos. Mediante la implementación de respuestas adaptativas, la vulnerabilidad urbana puede reducirse y mejorar la resiliencia urbana (Hardoy & Romero Lankao, 2011; Sterner et al., 2012).

Para enfrentar los efectos adversos del Cambio Climático, existen dos caminos, la mitigación y la adaptación; la primera se define como la intervención humana destinada a reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero; mientras que la segunda es el proceso por medio del cual los sistemas humanos se ajustan al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños y aprovechar las oportunidades (IPCC, 2018). El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2015) la define como el proceso por medio del cual los individuos, comunidades, ciudades y países buscan formas para enfrentar las consecuencias del Cambio Climático y ayudan a reducir su vulnerabilidad.

La adaptación está ligada a la vulnerabilidad de un sistema al Cambio Climático, en este caso del sistema urbano porque la vulnerabilidad es una función de la exposición y de la capacidad adaptativa (Monterroso-Rivas et al., 2011); por tanto, el sistema urbano es vulnerable cuando tiene pocas capacidades adaptativas y una alta exposición y sensibilidad socioeconómica.

De acuerdo con IPCC (2018) la capacidad adaptativa es la capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar oportunidades o afrontar las consecuencias. La exposición por otro lado es la presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos medioambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares o entornos que podrían verse afectados negativamente.

Los habitantes de las ciudades en el mundo sufren los impactos de los riesgos materializados en los sistemas humanos y naturales, donde estos riesgos provienen de las interacciones entre los peligros relacionados con el clima incluidos inundación, deslizamiento de laderas, sequías y ondas de calor relacionadas con eventos hidrometeorológicos extremos. Estos impactos afectan medios de subsistencia, salud, bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales, culturales y servicios (incluidos servicios ecosistémicos) e infraestructuras (IPCC, 2018).

El caso de las ciudades en México no es la excepción, con una concentración de población de alrededor del 79% en ciudades al 2020 (ONU-Hábitat, 2020), las ciudades son los ambientes vivibles más importantes en el país y serán más importantes hacia 2050 cuando las ciudades agrupen al 88% de la población (CMCC, 2020).

Ciudades como Mazatlán están más sujetas a olas de calor y estrés hídrico. En la ciudad han incrementado los días de calor, en particular las temperaturas nocturnas comparadas con las áreas periurbanas y rurales; otro fenómeno que está exacerbando las islas de calor es la rápida impermeabilización de los suelos con concreto y asfalto, materiales que acumulan gran cantidad de energía en el día y la liberan durante la noche, en contraste con los espacios verdes que ayudan a enfriar el ambiente. A esto se suma una demanda creciente de agua para las actividades agrícolas en la zona periurbana y rural, y del sector turístico en la ciudad, situaciones que ponen de manifiesto la urgencia de tomar acciones para enfrentar el estrés hídrico en el mediano y largo plazo.

Otro aspecto crucial para Mazatlán son las inundaciones costeras y por desbordamiento de arroyos de respuesta rápida, como el río Jabalines. Muchas de las ciudades que exhiben una vocación mayormente turística están situadas a lo largo de la costa y por lo tanto expuestas a los peligros asociados al Cambio Climático, como ciclones, huracanes, sequías e incremento del nivel del mar. En zonas densamente pobladas, las precipitaciones intensas derivadas de eventos climáticos extremos producen flujos rápidos que causan inundaciones, especialmente en las áreas más próximas a los sistemas de drenaje que son incapaces de lidiar con esa cantidad de agua. Estos eventos generalmente afectan alguna de las 289 colonias en situación de peligro de inundación alto y muy alto (IMPLAN, 2020) mismas que enfrentan problemas de infraestructura de protección y muchas veces de los servicios básicos, así como la falta de ayuda para la recuperación. En el diseño de muchos de estos asentamientos no se tuvo en cuenta el funcionamiento del sistema hidrológico de la ciudad y ahora sufren las consecuencias.

3.2. Percepción del Cambio Climático

Para abordar de manera integral los desafíos que plantea el Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, se realizó un análisis de percepción dirigido tanto a la ciudadanía como a funcionarios públicos de diversas instituciones locales. Este análisis tiene como objetivo identificar si los ciudadanos y las instituciones perciben cambios en los patrones climáticos, cuáles son los peligros climáticos que reconocen, sus principales preocupaciones en torno a estos temas, y conocer la capacidad de respuesta existente para enfrentar estos desafíos. A través de encuestas diseñadas específicamente para cada grupo, se recopiló información valiosa que no solo refleja la conciencia y percepción del Cambio Climático en la ciudad, sino que también orienta sobre los principales peligros que deben considerarse en el marco del análisis de vulnerabilidad socioambiental.

3.2.1. Percepción ciudadana

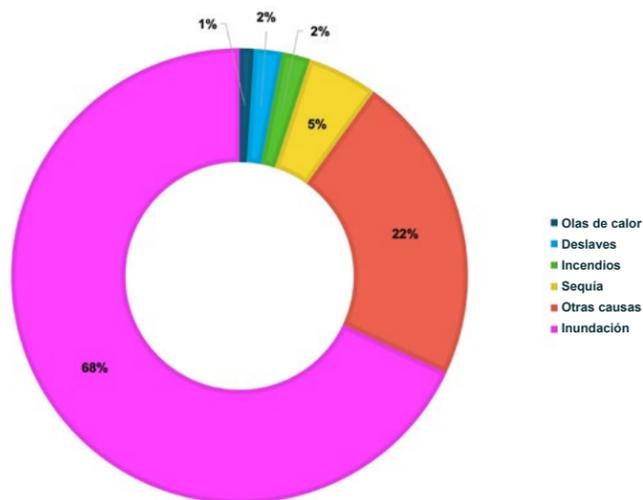
Para llevar a cabo el análisis de la percepción ciudadana sobre los peligros climáticos en la ciudad de Mazatlán, se diseñó una encuesta digital compuesta por 16 preguntas que abordan diversos aspectos relacionados con los peligros y la capacidad adaptativa de la población. Se recibieron 61 respuestas, de las cuales el 61% correspondieron a mujeres y el 39% a hombres. En términos de nivel educativo, el 62% de los encuestados dijo tener estudios de bachillerato, el 25% licenciatura, y el 13% poseía un posgrado. En cuanto a la distribución por edad, el grupo mayoritario, con un 26.5%, se ubicó en el rango de 50 a 65 años, mientras que los grupos de 20 a 35 años y de 35 a 50 años obtuvieron porcentajes similares, representando el 22.5% cada uno. Las personas que respondieron a la encuesta se identificaron como empleados

(62.5%), docentes (15%), estudiantes (10%) y profesionistas en diversas áreas de especialización (12.5%). En cuanto a su lugar de trabajo, solo el 16% mencionó ser funcionario público de alguna de las siguientes instituciones: Municipio de Mazatlán, Ejército Mexicano, Instituto Nacional Electoral (INE), Instituto Municipal de Cultura, Turismo y Arte de Mazatlán, Poder Judicial de la Federación y Universidad Autónoma de Sinaloa, entre otras.

En respuesta a la pregunta sobre las zonas de la ciudad que se consideran más vulnerables ante eventos climáticos extremos, los encuestados identificaron principalmente el centro de la ciudad y la zona de los esteros (27%), El Infiernillo (17.31%), y las colonias López Mateos (11.64%) y Toreo (9.62%). Por otro lado, la colonia Jacarandas y la zona costera fueron percibidas por algunos participantes como menos peligrosas, con un 7.69% y 5.77%, respectivamente. La zona turística, incluyendo el malecón y la zona dorada, así como áreas menos urbanizadas como Valle del Ejido, se consideraron de bajo riesgo. Únicamente una persona refirió al Arroyo Jabalines como un sitio de peligro.

En cuanto a los peligros relacionados con el clima, se preguntó a los ciudadanos cuáles consideraban más relevantes. Los resultados revelaron que el 68.42% identificó las inundaciones como la principal amenaza, mientras que un 4.91% señaló las sequías y los huracanes. Otros peligros, como el calor extremo, deslaves e incendios, fueron mencionados por un porcentaje menor de encuestados (**Gráfica 1**). Las inundaciones destacan como el peligro más preocupante para los residentes, referencias a desbordamientos de ríos y canales durante las lluvias intensas son sus primeras reflexiones cuando se habla de Cambio Climático.

Gráfica 1. Principales peligros relacionados con el clima que refieren los ciudadanos. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.



Si bien las respuestas ofrecidas en su mayoría guardan relación con el clima, algunos participantes no distinguen claramente entre lo que es un peligro, y cuáles son sus causas y sus consecuencias, algunos mencionaron problemas como la mala gestión de los residuos sólidos urbanos y el drenaje insuficiente como peligros, esta falta de claridad puede ser un obstáculo para realizar acciones en materia de prevención en la ciudad.

Conocer la condición socioeconómica de las personas que viven en zonas de peligro climático en la ciudad de Mazatlán es crucial por varias razones, la más evidente es que las personas con menores recursos económicos suelen ser más vulnerables a los impactos de los eventos climáticos extremos debido a la limitada capacidad para prepararse y recuperarse. Esto incluye acceso limitado a viviendas seguras, servicios básicos, y redes de apoyo social.

La condición socioeconómica influye directamente en la capacidad de respuesta ante desastres. Aquellos con menores recursos pueden tener dificultades para evacuar, acceder a refugios seguros o reconstruir sus viviendas, lo que perpetúa el ciclo de vulnerabilidad y pobreza. Además, conocer la situación socioeconómica permite diseñar políticas públicas más efectivas y equitativas, asegurando que las medidas de adaptación y mitigación consideren las necesidades de las poblaciones más vulnerables y no amplíen las brechas sociales existentes, y permite también la priorización de recursos para infraestructura, educación y programas de apoyo, orientados a reducir la exposición al riesgo y aumentar la resiliencia comunitaria.

Al indagar sobre la condición socioeconómica de las zonas más afectadas en la ciudad, los encuestados informaron que las áreas de mayor impacto incluyen zonas habitadas por personas con condición socioeconómica baja (47.54%), media (45.90%) y alta (4.92%).

Las respuestas sugieren que los impactos negativos del Cambio Climático no se limitan exclusivamente a las personas de nivel socioeconómico bajo, sino que también puede y de hecho afecta a aquellos de nivel medio. Es importante destacar esta percepción, ya que los eventos climáticos pueden impactar a individuos de cualquier condición socioeconómica.

Por su parte la resiliencia de las comunidades está estrechamente ligada con la percepción de los cambios en la frecuencia e intensidad de los peligros climáticos, esta percepción afecta el nivel de conciencia y preparación de una comunidad. Una percepción alta del peligro suele traducirse en una mayor preocupación y en la adopción de

medidas preventivas, como la mejora en la infraestructura y el desarrollo de planes de emergencia también puede influir en la demanda de políticas y estrategias de adaptación y puede ofrecer retroalimentación sobre la eficacia de políticas y estrategias en curso, si los ciudadanos perciben que las medidas actuales son insuficientes para enfrentar los peligros climáticos, pueden señalar la necesidad de revisar las políticas existentes.

En ese sentido los ciudadanos han observado: Más días con olas de calor (22.95%), inundaciones y aumento en tormentas y huracanes (21.75%); los periodos de menos lluvia y más días de sequía (16.39%) y pérdida de playas (11.48%); los ciudadanos también refieren un incremento en los eventos hidrometeorológicos extremos, como precipitaciones inusuales asociadas principalmente a tormentas y huracanes. Las respuestas indican que los ciudadanos han detectado algunos cambios en los patrones de lluvia e incrementos de temperatura, esta percepción se contrastará cuando se analice la climatología de la ciudad en las siguientes secciones de este estudio

El Cambio Climático también puede tener efectos directos en la salud pública, como el aumento de enfermedades transmitidas por vectores (como el dengue) debido a cambios en la temperatura y la humedad. Si las personas perciben un aumento en ciertas enfermedades, esto puede ser un indicio de que el Cambio Climático está afectando directamente la salud de la comunidad. Una percepción de aumento en enfermedades puede ayudar a sensibilizar a la población sobre los impactos tangibles del Cambio Climático en su vida diaria. Esto puede aumentar la conciencia pública y la disposición a adoptar medidas de adaptación ante la crisis climática y las autoridades podrían usar esta información para guiar la formulación de políticas públicas y estrategias de adaptación que aborden los riesgos de manera más efectiva. Esto incluye mejorar la infraestructura sanitaria, desarrollar campañas de concienciación y fortalecer los sistemas de vigilancia epidemiológica.

El 55% de las personas que respondieron el cuestionario indicaron que han percibido incremento en las enfermedades, principalmente gastrointestinales (26%), dengue (16%), respiratorias (26%). Como puede notarse las enfermedades gastrointestinales y las respiratorias pueden atribuirse a los cambios en la temperatura, mientras que el dengue se ha determinado que corresponde con las enfermedades transmitidas por vectores y que el Cambio Climático ha tenido influencia directa en su incremento (Arbo et al., 2022). Llama la atención que el 5% de las personas indicaron que han notado incremento en enfermedades nuevas como el COVID-19, sin embargo, dada la

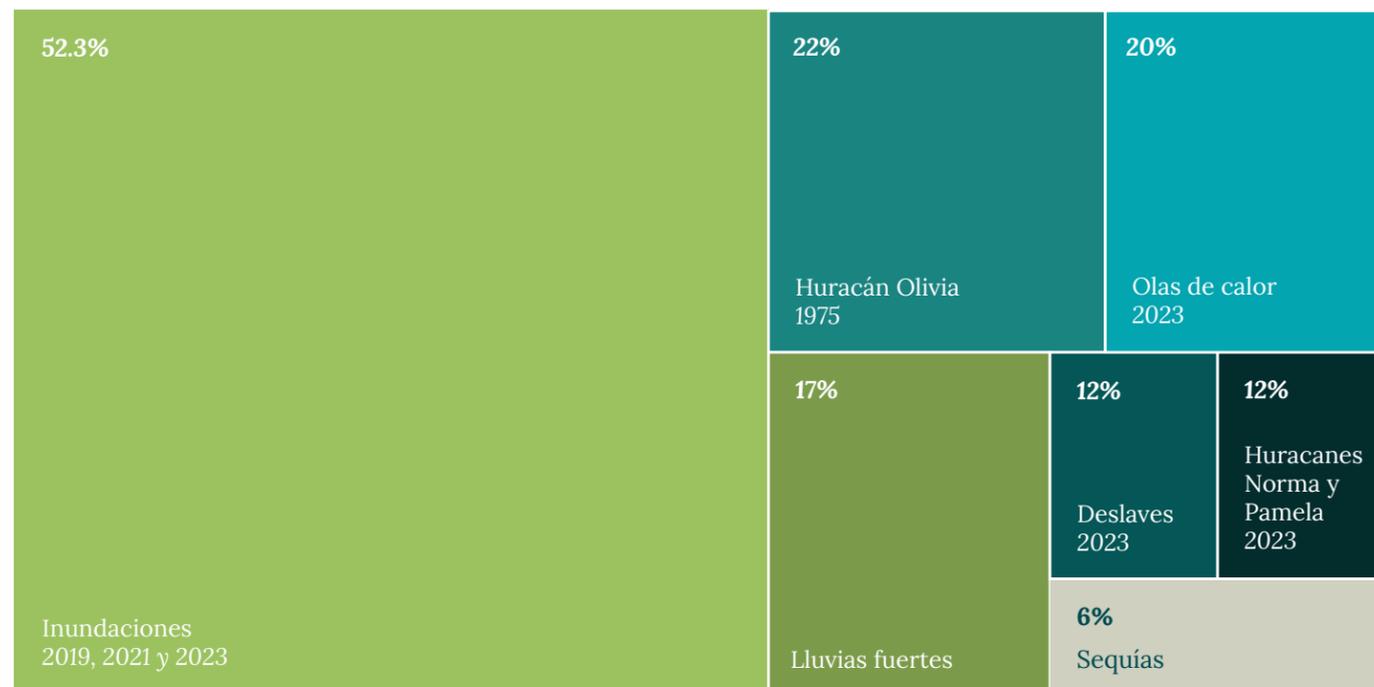
naturaleza multifactorial de la pandemia, en este estudio no puede atribuírsele una relación directa con el Cambio Climático. En el contexto de un análisis de vulnerabilidad, es importante evaluar el conocimiento que tienen los ciudadanos sobre estudios de vulnerabilidad, atlas de riesgo, y otros mecanismos de respuesta ante eventos climáticos extremos. Este conocimiento es esencial para fortalecer la gobernanza y la capacidad de la comunidad para prepararse y responder eficazmente a los desastres. La comprensión de estos instrumentos permite a los ciudadanos identificar zonas de riesgo, adoptar medidas preventivas y participar activamente en la planificación y gestión del riesgo. Además, un mayor conocimiento contribuye a una mayor resiliencia comunitaria, al fomentar una cultura de prevención y adaptación frente a los impactos del Cambio Climático. En ese sentido, los ciudadanos encuestados en su mayoría dijeron conocer por lo menos el atlas de riesgo de zonas inundables y el atlas de riesgo del Municipio de Mazatlán.

El análisis muestra que, aunque algunos encuestados respondieron afirmativamente, sus respuestas son diversas y carecen de especificidad. Esto revela que el conocimiento sobre estrategias y planes de gestión de riesgos climáticos está fragmentado y posiblemente limitado. Por lo tanto, es crucial mejorar la difusión de información y la educación pública en este ámbito, ya que la falta de conocimiento adecuado puede debilitar la capacidad de las comunidades para prepararse y responder de manera efectiva ante eventos climáticos adversos. En

este contexto, se preguntó a los ciudadanos si recordaban algún desastre provocado por eventos climáticos en su municipio o colonia. Los resultados revelan que los huracanes y las inundaciones son los eventos climáticos más frecuentemente recordados por los residentes de Mazatlán, destacando en particular los huracanes Olivia (1975), Norma y Pamela (2021), así como las inundaciones de 2019, 2021 y 2023. Además, mencionaron las olas de calor, deslaves y sequías ocurridos en 2023.

Los datos indican que las inundaciones son el desastre climático más comúnmente recordado en la región, seguido por los huracanes y eventos de calor extremo. El hecho de que el huracán Olivia de 1975 todavía sea recordado sugiere que tuvo un impacto significativo y duradero. La recurrencia de las inundaciones en años recientes pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación y adaptación al Cambio Climático. Además, la variedad de eventos mencionados resalta la importancia de estar preparados para enfrentar múltiples tipos de desastres climáticos. Es importante destacar que alrededor del 36% de los encuestados no recordaron estos eventos, lo que subraya la necesidad de mejorar la educación y la comunicación sobre los riesgos climáticos y sus impactos (**Gráfica 2**).

Gráfica 2. Principales desastres relacionados con el Cambio Climático que los ciudadanos recuerdan. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.



En este panorama, surge la pregunta sobre la capacidad de respuesta ante eventos climáticos en la ciudad y si los ciudadanos recibieron algún tipo de apoyo institucional. Los datos revelan que el 26.33% de los encuestados indicaron no haber recibido ningún tipo de apoyo tras un desastre climático, mientras que el 36.67% afirmó no saber si las personas afectadas recibieron o no asistencia institucional. Por otro lado, el 37% señaló que ellos o sus conocidos sí recibieron apoyo, principalmente del Municipio de Mazatlán, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Protección Civil, Cruz Roja, y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA). En cuanto al tipo de apoyo, este consistió principalmente en la entrega de despensas, así como en la provisión de albergue y alimentación.

Lo anterior resalta la importancia de mejorar la comunicación sobre los esfuerzos de socorro y garantizar que la población esté informada sobre las ayudas disponibles. El gobierno municipal es la fuente de apoyo más mencionada, lo que subraya su papel central en la respuesta a desastres climáticos a nivel local. La diversidad de respuestas sugiere que el apoyo provino de múltiples fuentes, incluidos diferentes niveles de gobierno y organizaciones como la Cruz Roja y la SEDENA. Esto refleja un esfuerzo conjunto en la gestión de desastres, aunque la percepción de estos esfuerzos parece ser limitada.

En cuanto a las afectaciones sufridas en sus bienes y personas, el 60% de los encuestados manifestó haber sido impactado por eventos climáticos. Las principales afectaciones reportadas fueron inundaciones (41.67%), calor extremo (25%), pérdida de bienes (11.11%), deshidratación (5.56%), interrupciones en el suministro de energía eléctrica (5.56%), y escasez de agua (5.56%).

Los resultados obtenidos subrayan la importancia de involucrar a la ciudadanía y a los distintos actores locales en la elaboración de planes de acción climática. La identificación

de los principales riesgos percibidos por la población y las instituciones permite diseñar estrategias de adaptación y mitigación más efectivas y acordes con las necesidades locales. Asimismo, es fundamental invertir en infraestructura resiliente, promover la educación ambiental y garantizar el acceso a servicios básicos para proteger a los más vulnerables ante los efectos del Cambio Climático.

Al solicitar propuestas para reducir la vulnerabilidad al Cambio Climático, los encuestados manifestaron una amplia gama de ideas, entre las que destacan la educación ambiental, la reforestación, el cuidado del agua y la mejora de la infraestructura urbana. Sin embargo, el 15% de los participantes no considera que sea posible mitigar estos efectos, lo que sugiere la necesidad de implementar políticas públicas más ambiciosas y de involucrar a diversos actores sociales en la búsqueda de soluciones concretas.

Aunque los encuestados proponen acciones individuales como la reforestación y el cuidado del agua, la falta de conocimiento sobre los servicios ecosistémicos sugiere que existe una oportunidad para vincular estas acciones con los procesos naturales que sustentan la vida en Mazatlán. Al comprender cómo los ecosistemas proporcionan beneficios como la regulación del clima, la provisión de agua y la protección costera, la población podrá valorar y participar de manera más activa en su conservación.

Los participantes que indicaron conocer los servicios ecosistémicos ofrecieron una variedad de definiciones, las cuales se presentan de manera detallada en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. ¿Que son los servicios ecosistémicos?, lo que piensan las personas. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

Los servicios ecosistémicos son:		%
1.	Beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas de manera natural o mediante manejo sustentable	1.67
2.	Servicios que prestan los ecosistemas como agua, formación de suelo, regulación del clima, polinización	10.00
3.	Las demás respuestas pueden agruparse como acciones para mejorar los ecosistemas, restauración, compensar daños, remediación en zonas para recarga de acuíferos, Áreas Naturales Protegidas (ANP), etc.	Resto de la muestra

A pesar de que una minoría de encuestados demostró un buen entendimiento del tema, la mayoría no tiene conocimiento sobre los servicios que los ecosistemas pueden proporcionar y su importancia para enfrentar los efectos negativos del Cambio Climático.

Con el objetivo de entender el grado de conocimiento sobre su comprensión de la adaptación al Cambio Climático, se indagó sobre el concepto. Los resultados

muestran una necesidad de mayor divulgación sobre este tema, ya que el 50% de los encuestados no sabe qué es. De entre los que respondieron se seleccionaron las respuestas más alineadas al concepto de adaptación al Cambio Climático mismas que se detallan en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Qué es adaptación al Cambio Climático para los ciudadanos. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

La adaptación del Cambio Climático es:	%
Adaptarse al clima	8.33
Aprender a vivir en situaciones adversas	5
Capacidad de ajustarnos a las condiciones del clima	3.33
Minimizar los aspectos del Cambio Climático en ciudades	
Incrementar la resiliencia al cambio, limitando impactos	1.67
Construir edificaciones e infraestructuras más seguras y sostenibles, reforestar los bosques diversificar los cultivos, investigar soluciones innovadoras	
Limitar impactos, reducir vulnerabilidades, incrementar resiliencia	
Modificar hábitos de vida para proteger el equilibrio ecológico	

Aunque los encuestados no conozcan el concepto de adaptación al Cambio Climático en general, la adaptación al Cambio Climático basada en ecosistemas (AbE) puede ser un concepto más cercano a su realidad, ya que involucra a la naturaleza y los ecosistemas, elementos con los que están familiarizados. Por lo que, preguntar sobre AbE permite evaluar la percepción de los encuestados sobre la importancia de los ecosistemas e identificar vacíos de conocimiento. Se diseñó una pregunta abierta en la que

los encuestados respondieron libremente; de entre las respuestas recibidas se identificó que el 20% proporcionó explicaciones que reflejan un moderado conocimiento del enfoque, pero la gran mayoría (70%) no tiene claro de que se trata este enfoque y un 10% manifestó no entender la pregunta (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Respuestas ciudadanas sobre la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

RESPUESTAS
La AbE aprovecha soluciones que se apoyan en la naturaleza
Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y servicios ecosistémicos
Acciones en los ecosistemas para enfrentar fenómenos naturales causados por el Cambio Climático
Generar acciones que beneficien o disminuyan el riesgo climático como proteger los manglares
Restaurar cuencas a través de servicios ambientales

Al indagar sobre la percepción del papel de los ecosistemas en la mitigación del Cambio Climático, se observó una variedad de respuestas. Si bien el 56% reconoce su importancia, el 38.33% aún no comparte esta visión. Entre quienes sí identificaron beneficios, destacaron servicios como la regulación térmica, la captura de carbono y la protección contra desastres naturales. Sin embargo, el 55% no logró especificar cómo los ecosistemas contribuyen a mitigar el Cambio Climático. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de comunicación y educación ambiental más efectivas, que permitan a la población comprender y valorar los servicios ecosistémicos y su papel en la adaptación al Cambio Climático.

Al consultar a los participantes sobre la relación entre la destrucción de ecosistemas y la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos, un contundente 85% afirmó que dicha destrucción incrementa significativamente el riesgo. Entre las principales razones mencionadas se encuentran la pérdida de protección natural contra eventos climáticos, la disminución de la disponibilidad de agua, el aumento de las temperaturas y los impactos negativos en la biodiversidad. Asimismo, se destacaron efectos como el incremento de fenómenos climáticos extremos, la afectación de servicios públicos esenciales y la degradación de hábitats naturales. La vulnerabilidad de los suelos ante la erosión e inundaciones, producto de la destrucción de ecosistemas, fue también un punto recurrente. Estos hallazgos subrayan la importancia crítica de conservar y restaurar los ecosistemas para mitigar los efectos del Cambio Climático y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Conclusiones sobre la percepción ciudadana del Cambio Climático

Los resultados de la encuesta ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar una estrategia integral para abordar el Cambio Climático en Mazatlán. Si bien existe una conciencia general sobre el problema, se requiere profundizar en el conocimiento sobre los conceptos clave, los impactos locales y las soluciones disponibles. Es fundamental fortalecer la educación ambiental, promover la participación ciudadana y fomentar la adopción de enfoques como la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Una estrategia integral permitirá construir una ciudad más resiliente y sostenible, capaz de hacer frente a los desafíos del Cambio Climático. A continuación, algunas conclusiones específicas:

- Existe una comprensión básica del Cambio Climático, pero se requieren esfuerzos para profundizar en el

conocimiento y abordar las brechas de información.

- La percepción de vulnerabilidad ante el Cambio Climático es alta, especialmente en relación con las inundaciones.
- Se necesita fortalecer la educación ambiental y la comunicación para promover la comprensión de conceptos clave como la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y los servicios ecosistémicos.
- Es fundamental desarrollar una estrategia integral para abordar el Cambio Climático, que incluya la participación ciudadana y la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).

3.2.2. Capacidad institucional

La capacidad institucional es la habilidad de las instancias gubernamentales para mejorar el desempeño de sus funciones, resolver problemas, especificar y lograr objetivos, así como movilizar y/o adaptar sus instituciones con miras a dar respuesta a nuevos problemas públicos, como es el caso del Cambio Climático (Rosas, 2015). La capacidad institucional para la acción climática se ha estudiado desde distintos enfoques, algunos de ellos enfatizan que la fortaleza de las instituciones es fundamental para el logro de los objetivos nacionales del desarrollo frente al Cambio Climático, de ahí la importancia de su estudio (United Nations Development Program [UNDP], 2010).

De acuerdo con Rosas (2015) los factores o atributos que permiten valorar si el Cambio Climático está siendo asumido como un asunto de interés público por parte de un gobierno local son los siguientes:

- Existencia de organizaciones gubernamentales encargadas del problema, con la autoridad para tomar decisiones.
- Asignación suficiente de recursos económicos para el cumplimiento de las decisiones, en cuanto al diseño e implementación de acciones, capacitación del personal, establecimiento de cooperación y coordinación.
- Recursos humanos suficientes y capacitados en todos los aspectos que involucra el Cambio Climático para el cumplimiento de las decisiones, cooperación, coordinación y gestión de recursos a nivel nacional e internacional.

- Marco legal específico del Cambio Climático que establezca responsabilidades, niveles de cooperación, coordinación y autoridad.
- Programas gubernamentales destinados exclusivamente a atender el problema del Cambio Climático.

La evaluación de la capacidad institucional es un proceso complejo y requiere un análisis profundo que incluye aspectos de capacidad administrativa, instrumentos de planeación, mecanismos de transparencia y rendición de cuentas, además de coordinación política e institucional y participación ciudadana. El presente análisis tiene por objeto evaluar la percepción del Cambio Climático entre los colaboradores de diversas instituciones en Mazatlán tomando como base únicamente los ejes principales de la evaluación de la capacidad institucional para el diseño del instrumento de colecta de datos.

Gracias al apoyo de Conselva, Costas y Comunidades, A.C (Conselva), se logró recopilar los puntos de vista de 21 participantes, lo cual proporcionó una valiosa visión inicial sobre el conocimiento y las percepciones de esta problemática en el contexto local, así como identificar oportunidades para fortalecer la resiliencia de la ciudad.

En cuanto a la caracterización de la muestra, las personas que respondieron se distribuyen como sigue: 48 % de sexo femenino y 52% del sexo masculino, el grupo de edad más representativo corresponde a 30-39 años; en cuanto a su escolaridad el grupo más representativo correspondió a universitarios (62%) y posgrado (29%). Del total de la muestra el 19% dijo ser funcionario de alguna de las siguientes instituciones (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Principales instituciones donde laboran las personas que respondieron a la encuesta de capacidad institucional. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

INSTITUCIÓN	%
Municipio de Mazatlán	19.05
Dirección de Ecología y Medio Ambiente de Mazatlán	33.34
Instituto Municipal de Planeación Urbana de Mazatlán (IMPLAN Mazatlán)	33.33
Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán (JUMAPAM)	4.76
Secretaría de Desarrollo Económico Turismo y Pesca de Mazatlán	
Centro de Bienestar y Control Animal (CeBICA)	

Ante la pregunta de si existen políticas públicas de aviso y apoyo a los afectados por eventos relacionados con el clima en la ciudad de Mazatlán, el 28.3% refiere que no existen políticas de aviso y apoyo, mientras que el 71.7% indicó que sí, ofreciendo información adicional. Las principales medidas mencionadas incluyen la acción de Protección Civil, seguida por alertas en medios de comunicación y la designación de albergues temporales como puede verse en el **Cuadro 5**.

POLÍTICA / MECANISMO	%
Protección civil	28.60
Anuncios en televisión, radio y redes sociales	14.30
Refugios temporales	4.80
Difusión en redes y páginas oficiales del Municipio	
Ordenamiento ecológico	
DIF	
Bienestar y desarrollo social	
Asociaciones civiles	

Cuadro 5. Políticas públicas para la prevención y apoyo ante peligros relacionados con el clima. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

Conocer la existencia y efectividad de las políticas públicas diseñadas para alertar y asistir a poblaciones vulnerables ante eventos climáticos extremos es fundamental para garantizar su seguridad y bienestar. Estas políticas actúan brindando a las comunidades herramientas y recursos para prevenir, mitigar y recuperarse de desastres naturales. Evaluar la implementación y alcance de estas políticas permite identificar brechas y áreas de mejora, asegurando que las poblaciones más expuestas reciban la información y el apoyo necesarios para tomar decisiones informadas y proteger sus vidas y bienes. Además, esta información resulta invaluable para diseñar estrategias de adaptación más efectivas y resilientes ante los desafíos del Cambio Climático.

A fin de profundizar en la existencia de planes o programas enfocados en la prevención y respuesta institucional ante eventos de peligro relacionados con el clima, las personas respondieron que si conocen algunos instrumentos (57.1%), destacando el Atlas de Riesgos de Mazatlán, el programa de Cambio Climático, el plan institucional frente a emergencias y desastres, y el plan DN-III. Aunque un porcentaje significativo de los encuestados (42.9%) desconoce la existencia de planes o programas institucionales ante eventos climáticos peligrosos, aquellos que están al tanto mencionaron una variedad de medidas y programas implementados para abordar estos desafíos. Estos resultados sugieren una infraestructura existente para la prevención y respuesta ante eventos climáticos en Mazatlán, aunque también resaltan la necesidad de una mayor difusión y concientización sobre estas iniciativas entre la población.

Al indagar sobre la capacitación del personal en las instituciones de gobierno para enfrentar los efectos negativos de los peligros climáticos, el 66.66% señaló que no cuentan con personal especializado. Solo un tercio de los participantes mencionó tener personal con perfiles como prevención, Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y restauración, enfocados en la respuesta ante estos fenómenos. Es relevante destacar que únicamente una persona indicó que la prevención y la capacidad de respuesta son responsabilidad de todos los miembros de la institución.

A fin de conocer sobre la suficiencia de la infraestructura urbana para responder ante eventos climáticos extremos como inundaciones, deslizamientos de ladera, sequías y olas de calor, el 81% de los encuestados señaló que la ciudad no cuenta con la infraestructura necesaria. A pesar de que un 19% consideró que sí, la mayoría coincidió en que es necesario mejorar los servicios públicos, la capacidad de respuesta ante emergencias y la infraestructura en general para enfrentar de manera efectiva estos desafíos.

Para evaluar el nivel de participación ciudadana en la toma de decisiones sobre desarrollo urbano y planes de respuesta ante eventos climáticos, se consultó a los encuestados. Los resultados muestran que el 57.14% indicó que las organizaciones no participan ni están involucradas en estos procesos. Solo el 38% afirmó que si participan. Al indagar sobre los mecanismos de participación disponibles, se encontraron los siguientes resultados (**Cuadro 6**).

MECANISMO	%
Consejos Municipales	4.76
Consultas públicas	4.76
Consejo Municipal de Desarrollo Sustentable	4.76

Cuadro 6. Mecanismos de participación para la toma de decisión disponibles en el Municipio de Mazatlán. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

Los resultados de la encuesta revelan una brecha significativa entre la percepción de participación ciudadana y la realidad. Si bien una minoría reconoce la participación de la sociedad civil en la toma de decisiones sobre desarrollo urbano y respuesta a eventos climáticos, la mayoría percibe una falta de inclusión efectiva. Esto sugiere la necesidad urgente de implementar mecanismos más robustos para garantizar una participación ciudadana genuina y significativa en estos procesos.

Por otro lado, la prevención permite reducir significativamente las pérdidas humanas y materiales causadas por desastres naturales. Al estar preparados y tomar medidas preventivas, se minimizan los daños a la infraestructura, las viviendas y los medios de subsistencia de las personas. En ese sentido se les preguntó sobre la cultura de la prevención en las instituciones donde laboran, el 47.62% de los encuestados indicó que sus instituciones cuentan con una cultura de prevención, implementando mecanismos como campañas de concientización sobre gestión de residuos, conservación de árboles y preparación ante sequías, así como campañas de comunicación y boletines informativos.

A pesar de que una parte significativa de los encuestados (47.62%) considera que sí existe una cultura de prevención, la mayoría (52.38%) todavía percibe que no hay una cultura de prevención efectiva en sus instituciones, lo que indica una necesidad de mejorar las prácticas y la comunicación en relación con la prevención de peligros relacionados con el clima.

Al indagar sobre la experiencia institucional en la gestión de peligros climáticos, se encontró que el 30% de los encuestados mencionó que las instituciones cuentan con experiencia limitada, principalmente en acciones de respuesta como la implementación de albergues y formación de brigadas de protección civil. Sin embargo, el 70% restante señaló que no poseen el conocimiento necesario, lo que subraya la importancia de invertir en

capacitación especializada para fortalecer las capacidades institucionales en esta área.

En ese sentido, los sistemas de alerta temprana permiten a las autoridades y a los equipos de emergencia prepararse y responder de manera más efectiva ante un desastre, es por ello que se les cuestionó sobre su conocimiento en este tipo de sistemas a lo que el 57.14% respondió que no está al tanto de su existencia en la ciudad, mientras que el 42.86% dijo tener conocimiento del sistema de alerta temprana e indicaron a las áreas de protección civil como la principal fuente de gestión e información sobre estos sistemas. Lo anterior sugiere que la capacidad de respuesta está centralizada en una sola institución y aún hay margen para mejorar la comunicación y asegurar que más personas estén informadas sobre los sistemas de alerta temprana disponibles en la ciudad, en caso de que estos existan.

Por su parte, una reglamentación institucionalizada proporciona un marco legal claro y estable para la conservación y restauración de ecosistemas. Esto puede fomentar tanto la inversión a largo plazo en proyectos de conservación y promueve la participación de diversos actores como los planes de manejo, zonificación y sistemas de monitoreo, lo que permitiría una gestión más efectiva de los ecosistemas.

A fin de conocer sobre la reglamentación enfocada a la conservación y restauración de los ecosistemas en Mazatlán la encuesta abordó el tema y encontró que el 61% de las respuestas refieren que las instituciones sí cuentan con normatividad e indicaron algunos de los reglamentos que consideran se enfocan en el tema:

- Ecología y Medio Ambiente
- Cultura del Agua
- Reglamento de Cambio Climático del Municipio de Mazatlán

- Programa de Ordenamiento Ecológico (en proceso)

Lo anterior sugiere que, aunque existe un marco normativo y programas en marcha, todavía hay espacio para mejorar la difusión y el conocimiento de estos esfuerzos, especialmente entre aquellos que no están seguros de su existencia o que creen que no existen tales programas.

En seguimiento a los aspectos normativos, se les cuestionó sobre cuáles son las instancias que generan información para el desarrollo urbano, el peligro ante desastres y el impacto del Cambio Climático, entre las respuestas destacan el IMPLAN Mazatlán, la Secretaría de Protección Civil, y la Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (SEDATU). Estas respuestas indican una visión enfocada y acertada sobre las responsabilidades institucionales de las dependencias mencionadas, sin embargo, ninguno de los encuestados aborda la coordinación necesaria entre estas instituciones.

Como funcionario público, contar con acceso a información actualizada y precisa sobre prevención y apoyo ante peligros relacionados con el clima es importante porque permite identificar zonas más vulnerables y los tipos de eventos más probables, lo que puede facilitar la planificación de acciones preventivas y de respuesta. Ante esta pregunta, el 76% de los encuestados indica que la información fluye principalmente a través de redes sociales, medios de

comunicación y portales de transparencia, sin embargo, hay una preocupación recurrente sobre la visibilidad y accesibilidad de esta información para toda la población. Algunas personas también refieren que algo de la información es muy técnica, y esto limita el acceso y comprensión, en especial la de las personas más vulnerables.

A fin de solventar esta carencia de información accesible para todos, se les cuestionó si han tenido acceso a capacitación y fortalecimiento de capacidades para enfrentar peligros relacionados con el clima y sus efectos, solo el 14% indicó que sí en las áreas de: Cambio Climático, sismos, y la instancia que refirieron como proveedora de capacitación es al Instituto Nacional del Federalismo (INAFED).

También se les cuestionó acerca de si la ciudad cuenta con instrumentos de planeación como el programa de desarrollo urbano, ordenamiento ecológico, gestión de riesgos etc. Se obtuvieron las siguientes respuestas (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Instrumentos de planeación disponibles en el Municipio de Mazatlán. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del Cambio Climático en Mazatlán.

INSTRUMENTO	%
El programa de desarrollo urbano y centros de población por el IMPLAN https://www.implanmazatlan.mx/	23.8
https://iip.congresosinaloa.gob.mx/docs/reg_mun/012/050.pdf	4.76
Atlas de riesgo	9.72
Programa de desarrollo sustentable	4.76

Aunque muchas personas reconocen la existencia de estos programas, no todos proporcionaron enlaces o detalles específicos, lo que sugiere una variabilidad en el acceso o conocimiento detallado de estos instrumentos.

Sobre los desafíos identificados que tienen las instituciones para enfrentar peligros o riesgos asociados al clima, incluyendo medidas enfocadas a su mitigación o adaptación, los encuestados en su mayoría (76.2%) respondieron con algunos desafíos como:

- Lograr la gestión de los programas rectores.
- Falta de comunicación y de accesibilidad a los programas.
- Infraestructura insuficiente.
- La conciencia y/o educación.
- Falta de financiamiento.
- La falta de información.
- La susceptibilidad de muchas zonas residenciales a inundaciones debido a la falta de infraestructura adecuada.
- Las sequías, las fuertes lluvias e inundaciones, las olas de calor, los incendios extremos y las inundaciones costeras.
- Creación de leyes necesarias y su aplicación para lograr un ordenamiento eficaz.
- Falta de planes y estrategias de acción por parte del gobierno municipal.
- Falta de limpieza de calles y cuerpos de agua.
- Falta de información de soluciones que ya se han emprendido como las 'bio-bardas', que al desconocerse su utilidad se ven continuamente azolvadas por residuos sólidos urbanos.

Los encuestados identificaron una amplia gama de desafíos, desde problemas de infraestructura hasta la falta de conciencia pública y educación sobre los peligros climáticos. Varias respuestas destacaron la insuficiencia de la infraestructura y la necesidad de mantenimiento de las redes sanitarias y pluviales. La falta de planes y estrategias claras por parte del gobierno municipal y la necesidad de

una mejor gestión de los programas rectores son algunos de los desafíos más importantes.

A la pregunta expresa de si conoce de la existencia de programas y acciones de gobierno enfocadas en disminuir la vulnerabilidad ante eventos relacionados con el clima, el 61.92% dijo desconocer este tipo de instrumentos, mientras que las personas que afirman conocerlos (38.08%) amplió su respuesta y destacó la necesidad de modificar los reglamentos y programas adaptados a las verdaderas necesidades actuales.

Entre los programas y acciones que son reconocidos por los encuestados, figuran: el Atlas de Riesgos y el Programa Municipal de Cambio climático. El que la mayoría de los encuestados no conozca sobre programas y acciones de gobierno enfocadas a disminuir la vulnerabilidad ante el Cambio Climático en la ciudad subraya la evidente necesidad de hacerlos más visibles y accesibles para todos, además se requiere fortalecer la coordinación entre diferentes dependencias del gobierno municipal, así como adaptar los canales de difusión sobre reglamentos y programas a las capacidades y necesidades reales de las instituciones y sus funcionarios.

Los encuestados percibieron que los programas actuales son parcialmente eficaces en la reducción de la vulnerabilidad al Cambio Climático. Entre las sugerencias para mejorarlos destacan: fortalecer el cumplimiento de la normatividad, aplicar multas y facilitar el acceso de toda la sociedad a la información. Sin embargo, es positivo destacar que el 52.36% de los encuestados indicó que sus instituciones participan en acciones como reforestaciones y pláticas de concientización, contribuyendo así a disminuir la vulnerabilidad. No obstante, casi la mitad de los encuestados reportó que sus instituciones no participan en programas o acciones relacionadas con el Cambio Climático, lo que evidencia la necesidad de incrementar la participación institucional en este ámbito.

La participación ciudadana es fundamental para fortalecer las acciones institucionales y mejorar la gobernanza en materia de adaptación al Cambio Climático. Al respecto, el 71.44% de los encuestados destacó la importancia de los procesos participativos para abordar los riesgos de desastres en Mazatlán. Entre las sugerencias para mejorar estos procesos se encuentran: fortalecer la organización comunitaria, fomentar iniciativas ciudadanas, incrementar la difusión de información y facilitar la participación de todos los actores involucrados para que sus necesidades sean consideradas.

Al abordar la necesidad de fortalecer la coordinación interinstitucional y la participación ciudadana, el 76.16% de los encuestados propuso diversas acciones. Entre estas destacan: incrementar la capacidad técnica de las instituciones, mejorar la comunicación, promover la gobernanza participativa, acercar a las instituciones a la sociedad para abordar problemas como el Cambio Climático, y fomentar la voluntad política para facilitar la cooperación.

Conclusiones sobre la capacidad institucional

Necesidad de fortalecer la comunicación y difusión:

- Ampliar los canales de comunicación: Es fundamental utilizar una variedad de medios, tanto tradicionales como digitales, para llegar a todos los sectores de la población.
- Simplificar el lenguaje técnico: La información debe ser presentada de manera clara y concisa, evitando términos técnicos que puedan dificultar la comprensión.
- Adaptación a diferentes públicos: Los mensajes deben ser personalizados para cada grupo objetivo, considerando sus intereses y necesidades específicas.

Fomentar la participación ciudadana:

- Empoderamiento comunitario: Es necesario involucrar a la ciudadanía en todas las etapas de los procesos de planificación, implementación y evaluación de los programas.

- Creación de espacios de diálogo: Se deben establecer mecanismos para que la comunidad exprese sus opiniones, preocupaciones y propuestas.
- Reconocimiento de los saberes locales: La experiencia y el conocimiento de las comunidades locales son valiosos y deben ser considerados en la toma de decisiones.

Fortalecer la coordinación interinstitucional:

- Establecer mecanismos de colaboración: Es necesario crear redes de colaboración entre las diferentes instituciones involucradas en la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al Cambio Climático.
- Compartir información y recursos: La información y los recursos deben ser compartidos de manera abierta y transparente entre las instituciones.
- Alinear objetivos y acciones: Las diferentes instituciones deben trabajar de manera coordinada para alcanzar objetivos comunes.

Los encuestados identificaron una amplia gama de desafíos, desde problemas de infraestructura hasta la falta de conciencia pública y educación sobre los peligros climáticos.

Análisis climático

Entender la climatología actual y futura de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa es fundamental para evaluar su vulnerabilidad socioambiental de la ciudad, especialmente considerando los peligros relacionados con el clima como inundaciones, inestabilidad de laderas y erosión, entre otros.

4.1. Climatología Actual

Al analizar los datos meteorológicos históricos, se pueden identificar patrones y tendencias que definen el clima de Mazatlán, como la frecuencia e intensidad de las lluvias, las temperaturas máximas y mínimas, y los eventos extremos como los huracanes. Estos factores son críticos para evaluar los riesgos actuales a los que la ciudad está expuesta. Por ejemplo, una alta frecuencia de lluvias intensas puede aumentar el riesgo de inundaciones, mientras que la erosión puede ser exacerbada por eventos de lluvias torrenciales o sequías prolongadas.

Conocer tanto la climatología actual como la futura permite no solo identificar los peligros a los que Mazatlán está expuesto hoy, sino también prever cómo estos peligros podrían evolucionar. Esto es vital para diseñar estrategias de adaptación al Cambio Climático que protejan a la población y al entorno natural. Por ejemplo, entender la posibilidad de un aumento en la intensidad de las lluvias en el futuro puede llevar a fortalecer infraestructuras de drenaje, mientras que la previsión de una mayor erosión costera podría requerir la implementación de medidas de protección costera.

En ese sentido, se analizaron los datos climáticos disponibles para México y para la ciudad de Mazatlán, encontrando que, entre 1971 y 2020, la temperatura media en México aumentó 0,31°C por década; mientras que el estado de Sinaloa presentó un incremento de la temperatura media de 0,18°C por década (CMCC, 2020). Sinaloa se encuentra bajo la influencia del sistema monzónico mexicano, el cual se extiende desde la llanura costera del Pacífico norte del estado de Sonora hasta el estado de Sinaloa, así como desde la costa hasta las tierras altas de las montañas occidentales de la Sierra Madre. En esta región las mayores precipitaciones ocurren en julio, agosto y septiembre, debido a la formación del sistema monzónico mexicano que tiene un gradiente de presión de oeste a este y cuya intensidad aumenta de norte a sur (Monterroso, A; Gómez, J; Lechuga, n.d.).

Por lo que respecta a la ciudad de Mazatlán, su clima se caracteriza por ser Cálido subhúmedo y Semiseco Cálido, de acuerdo con datos de INEGI (2019) y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Derivado del análisis de las normales climáticas del periodo 1981-2010 se observó que la temperatura media anual osciló entre 25 y 30 °C, mientras que la temperatura máxima osciló entre los 30 y 35°C con una máxima extrema récord para ese periodo de 48,9°C el 29 de abril de 1987. Por otro lado, la temperatura mínima anual osciló entre los 15 y 20 °C con temperaturas mínimas extremas registradas de 1,9°C. También se observó una precipitación promedio anual de 854,2 mm, con un máximo de 243,2 mm en 24 horas en este mismo periodo, debido a lluvias extraordinarias que duraron más de siete horas. La evaporación promedio anual fue del orden de 1573,3 mm.

4.1.1. Metodología

El control de calidad en los datos climáticos de las estaciones meteorológicas es esencial para asegurar la fiabilidad y precisión de la información utilizada en el análisis de la climatología actual de Mazatlán. Los datos climáticos, como la temperatura, precipitación y velocidad del viento son la base para identificar tendencias, evaluar riesgos y modelar escenarios futuros. Además, el control de calidad garantiza la comparabilidad y coherencia de los datos a lo largo del tiempo y entre diferentes estaciones meteorológicas. Esto es particularmente importante en un contexto como el de Mazatlán, donde el clima puede variar significativamente a corto plazo y entre diferentes áreas de la ciudad. La identificación de anomalías o errores en los datos históricos permite una mejor comprensión de la climatología registrada.

Dado que algunas estaciones no cuentan con series de datos completas, el control de calidad de estos datos puede ayudar a que los análisis reflejen de manera precisa las condiciones climáticas reales. En consecuencia, el control de calidad no solo mejora la robustez del análisis de vulnerabilidad socioambiental, sino que también fortalece la capacidad de la ciudad para planificar e implementar estrategias de adaptación efectivas basadas en datos climáticos confiables.

Para realizar el análisis de la climatología actual se seleccionaron los datos de las estaciones meteorológicas pertenecientes al Municipio de Mazatlán; se optó por las más próximas a la ciudad cuyos datos se obtuvieron del

Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en total fueron 13 estaciones meteorológicas las que se consideraron para este estudio. Debido a la densidad de los datos de las series temporales, se analizaron los periodos temporales completos excepto para algunas pruebas comparativas en las que se seleccionaron algunos años coincidentes.

Para abordar el análisis de los datos meteorológicos se siguieron las pautas de la guía de prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial OMM (2018). En primera instancia, los datos de las estaciones meteorológicas se sometieron a control de calidad (QC, por sus siglas en inglés), este se llevó a cabo utilizando el programa Rclimdex¹ (Zhang, X; Yang, F; Santos, J. 2004). También, se aplicó la prueba T de Student para analizar la distribución de las series de datos ya que se desconocía el tamaño de las muestras. Se asumió el criterio de la similitud de medias para aplicar la prueba de *anova* con la finalidad de entender qué tan relacionados están los datos con base en que puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren y establecer un criterio de selección de proximidad de las bases estacionales, de tal manera que se puedan relacionar con datos de estaciones meteorológicas cercanas.

A fin de determinar la variabilidad climática se analizaron los cambios de valores medios, principalmente de temperatura (máxima y mínima) y la precipitación, mediante el uso de índices de valores extremos desarrollado por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (**Cuadro 8**), (ETCCDI, por sus siglas en inglés), (Vázquez-Aguirre, 2010).

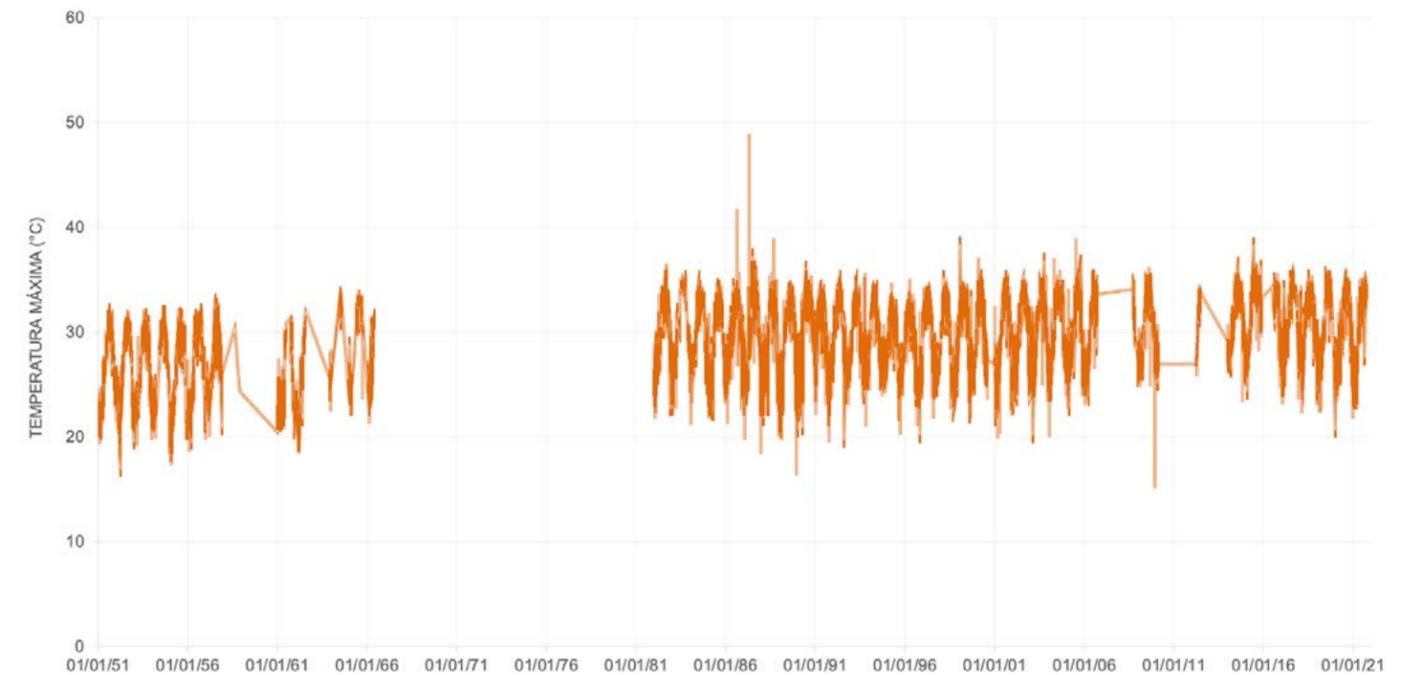
DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE	ÍNDICE
Días secos consecutivos	CDD
Días húmedos consecutivos	CWD
Temperatura máxima externa	TXx
Noches frías	TN10p
Noches cálidas	TN90p
Temperatura mínima más alta	TNx
Días muy húmedos	R95p
Días con lluvia mayor a 20 mm	R20mm
Duración de los periodos cálidos	WSDI

Un control de calidad riguroso garantiza que los datos utilizados en el análisis climático sean precisos y representen de manera fiable las condiciones meteorológicas, este control ayuda a identificar errores comunes en los datos como valores atípicos, datos faltantes, o inconsistencias en la medición.

Los modelos meteorológicos y climáticos dependen de datos precisos y consistentes. Al aplicar un control de calidad, se mejora la fiabilidad de las predicciones y simulaciones basadas en estos datos, lo que es fundamental para la planificación y toma de decisiones en diversas áreas.

En el caso de series temporales de datos meteorológicos es crucial que los datos históricos sean fiables para asegurar que las tendencias y patrones identificados sean auténticos y representen adecuadamente la climatología del lugar.

Para llevar a cabo un control de calidad adecuado de los datos meteorológicos, se revisaron series completas, incluyendo los vacíos de información. En la **Gráfica 3** se presenta a manera de ejemplo la serie de datos de temperatura máxima (*Tmax*) de la estación meteorológica Mazatlán, una de las estaciones con las series de datos más extensas. En este análisis, se observa la onda anual y la distribución de la temperatura máxima en el periodo de 1951 a 2021. Cabe destacar que no se incluyó la década de 1971 a 1980 debido a la falta de registros en ese intervalo de tiempo. A pesar de esta ausencia de datos, el análisis se basa en al menos 30 años de registros, lo que permite una interpretación adecuada de la climatología local.

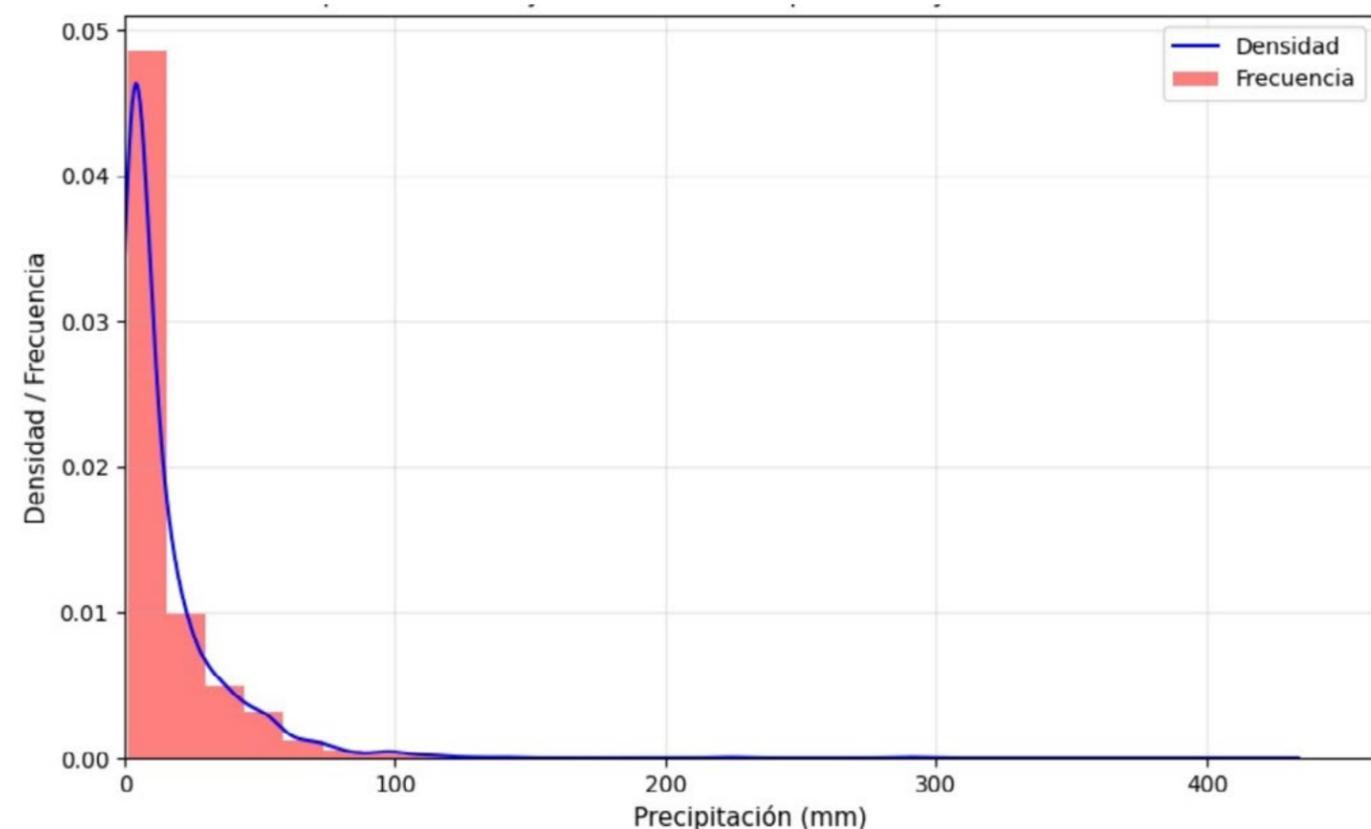


Página anterior: Cuadro 8. Índices básicos de Cambio Climático del ETCCDI. **Fuente:** Vázquez-Aguirre, 2010.
Arriba en esta página: Gráfica 3. Serie de datos temperatura máxima control de calidad en los datos (QC) estación Observatorio Mazatlán Periodo 1951-2021. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

¹ Rclimdex: Software auxiliar en el proceso de control de calidad de las series de datos climáticos, permite identificar los valores de temperatura que exceden un umbral de x desviaciones estándar y genera automáticamente gráficas de las series de temperatura y precipitación de manera que los datos pueden inspeccionarse mediante análisis visual.

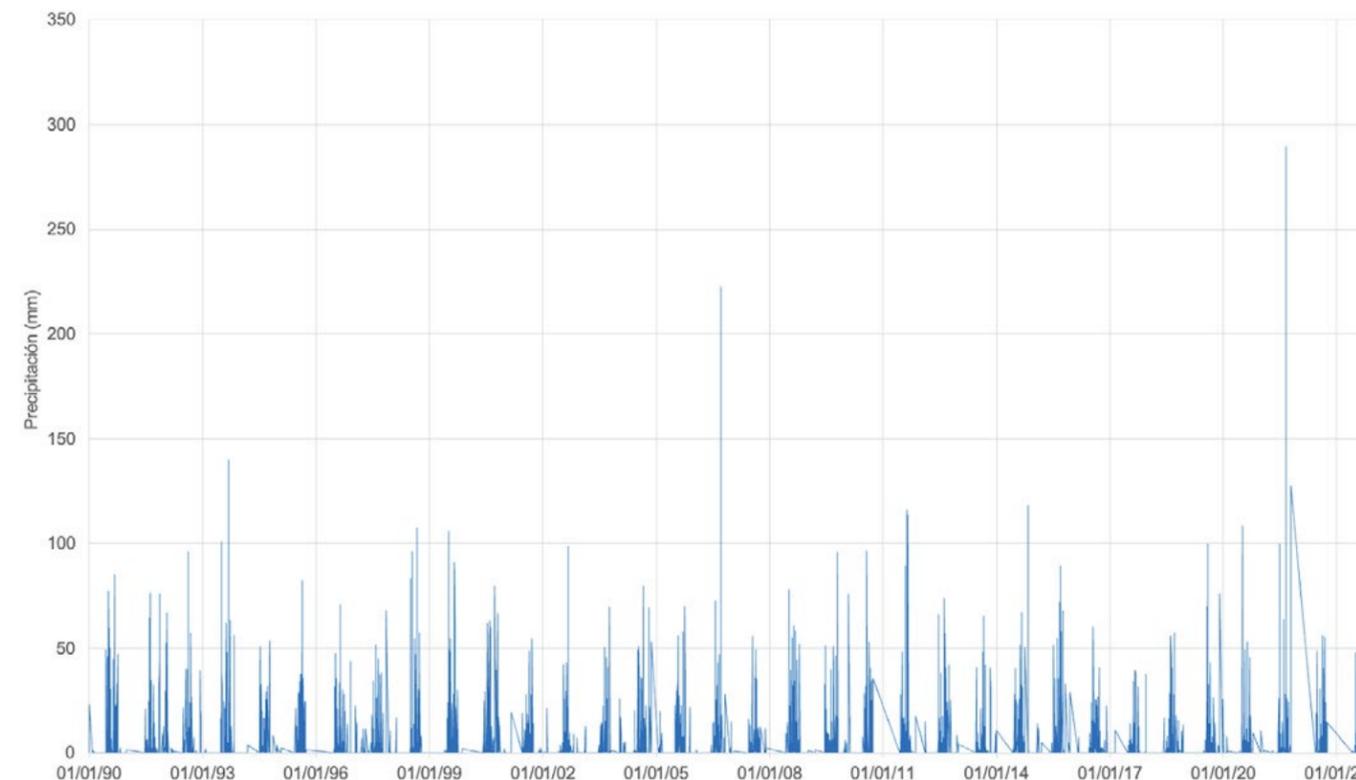
Se analizaron los datos de 13 estaciones meteorológicas, de las cuales cinco superaron el control de calidad. De esta muestra, se preseleccionaron las estaciones más cercanas a la ciudad de Mazatlán (El Quemado, Observatorio Mazatlán y Siqueros), ya que estas capturan de manera efectiva la señal climática y reproducen el patrón de precipitación y temperatura que impacta la ciudad. Además, estas estaciones cuentan con al menos el 80% de los datos diarios, y cumplen con los criterios de coherencia y consistencia (**Gráficas 4 y 5**).

Gráfica 4. Densidad y Frecuencia de precipitación, estación Siqueros, periodo 1990-2023. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional



En la **Gráfica 4** se muestra un histograma en color rojo que representa la densidad de precipitación, en el eje de las ordenadas se indica el porcentaje de días con precipitación superior a 1 mm, mientras que en el eje de las abscisas se detalla la cantidad de precipitación registrada en milímetros. La gráfica revela la ocurrencia de eventos extremos con acumulaciones superiores a 300 mm, y destaca que la mayor concentración de días con precipitación se encuentra en el intervalo de 1 a 25 mm.

Por otro lado, en la **Gráfica 5** se muestra la serie completa de datos de precipitación para la estación Siqueros en el periodo 1990-2023, en ella pueden apreciarse los vacíos de información que se representan como una línea recta próxima al eje de las abscisas.



Gráfica 5. Serie de datos de precipitación, estación Siqueros periodo 1990-2023. **Fuente:** Pares A.C.

Para confirmar la preselección de estaciones meteorológicas, se analizaron los datos de las estaciones: El Quemado, Mazatlán y Siqueros, utilizando la distribución de las temperaturas máximas y mínimas. La señal climática se evaluó en relación con la variable de precipitación a través de la prueba de Análisis de Varianza (ANOVA). En meteorología, la prueba ANOVA se emplea para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos de datos meteorológicos. Este análisis es particularmente útil cuando se comparan múltiples conjuntos de datos, como series temporales de diferentes estaciones meteorológicas, periodos temporales o distintas variables climáticas. Se prefiere esta prueba porque permite manejar múltiples comparaciones simultáneamente, reduciendo el riesgo de cometer errores tipo I (falsos positivos) que podrían ocurrir si se realizaran pruebas t independientes para cada par de grupos. Además, la prueba ANOVA puede identificar interacciones entre factores que afectan las variables meteorológicas.

Para el análisis, se formuló la hipótesis nula (Ho) en la que se asume que las medias de la variable de precipitación son similares en las tres estaciones analizadas (Observatorio Mazatlán, Siqueros y El Quemado). Los resultados del análisis se presentan en el **Cuadro 9**.

Los resultados del análisis de varianza presentados en el **Cuadro 9** confirman la hipótesis nula (Ho), dado que el valor de F crítico es mayor que el F calculado. Esto valida la coherencia de la señal climática entre las tres estaciones en relación con la variable de precipitación.

Origen de las variaciones	Suma de cuadros	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6.729	2.0	3.365	0.061	0.942	3.007
Dentro de los grupos	24896.68	786.0	54.576			
Total	42903.413	788.0				

Cuadro 9. Resultados del Análisis de Varianza. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

NO.	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)
1.	El Quemado	23.5625	-106.4667
2.	Observatorio Mazatlán	23.2167	-106.4106
3.	Siqueros	23.3333	-106.2333

Cuadro 10. Coordenadas de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis de la climatología actual y futura de la ciudad de Mazatlán, Sinaloa. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Una vez verificados los criterios de calidad en los datos, se confirma que las estaciones meteorológicas listadas en el **Cuadro 10** reproducen de manera efectiva la señal climática que impacta la ciudad. Por lo tanto, sus datos son adecuados para el análisis de la climatología local, tanto actual como futura.

4.1.2. Precipitación

A partir del análisis de las normales climatológicas más recientes, se determinó que la precipitación media anual es de 854.2 mm. Además, se identificó que el periodo más seco en la ciudad de Mazatlán abarca los meses de febrero a mayo, mientras que agosto fue el mes con mayor precipitación durante el periodo 1981-2010.

A fin de caracterizar la evolución pluviométrica de la región se utilizaron los datos de las estaciones de referencia (El Quemado, Observatorio Mazatlán y Siqueros), se analizaron por separado en su climatología y en conjunto respecto a los índices climáticos, para el análisis se utilizaron los siguientes índices:

Índice CDD (*Consecutive Dry Days*, o *Días Consecutivos Secos*) es una métrica utilizada en climatología para contabilizar el número máximo de días consecutivos dentro de un periodo dado en los que la precipitación diaria es menor a 1 mm. Este índice es una herramienta útil para identificar y analizar periodos de sequía o escasez de lluvia en una región específica.

De acuerdo con Vazquez Aguirre, 2010,

$$CDD = R_{ij} < 1mm$$

R_{ij} es la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. El índice cuenta el número de días consecutivos donde la precipitación es menor a 1mm en toda la serie de datos analizados.

Este índice permite determinar la duración de las rachas de días secos, lo cual es crucial para evaluar el riesgo de sequías en la región. Al analizar el CDD en series temporales se puede identificar tendencias en el aumento o disminución de la frecuencia y duración de los periodos secos, lo que es fundamental para comprender el impacto del Cambio Climático a nivel local. En el contexto del análisis de vulnerabilidad socioambiental ante el Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, el CDD puede ayudar en la planificación y gestión de recursos hídricos al anticipar periodos prolongados de sequía, permitiendo la toma de decisiones informadas sobre la distribución y uso del agua.

Índice CWD (*Consecutive Wet Days*, o *Días Consecutivos Húmedos*) es un indicador climatológico que mide el número máximo de días consecutivos dentro de un periodo

dado en los que la precipitación diaria es igual o superior a 1 mm. Este índice es fundamental para evaluar la duración y persistencia de periodos húmedos o lluviosos en una región.

De acuerdo con Vázquez-Aguirre, 2010

$$CWD = R_{ij} > 1mm$$

R_{ij} es la cantidad diaria de precipitación en el día i en el periodo j. El índice cuenta el número de días consecutivos donde la precipitación es mayor a 1mm en toda la serie de datos analizados.

En la ciudad de Mazatlán que cuenta con un clima tropical, el índice CWD ayuda a identificar la duración de los episodios de lluvia prolongada, lo que es fundamental para comprender la estacionalidad de las precipitaciones, también puede ayudar en la evaluación del peligro de inundación, ya que al conocer los periodos con un alto CWD, se pueden valorar los riesgos de inundación, especialmente en la zona urbana de Mazatlán donde la infraestructura de drenaje puede ser limitada durante episodios de lluvias continuas.

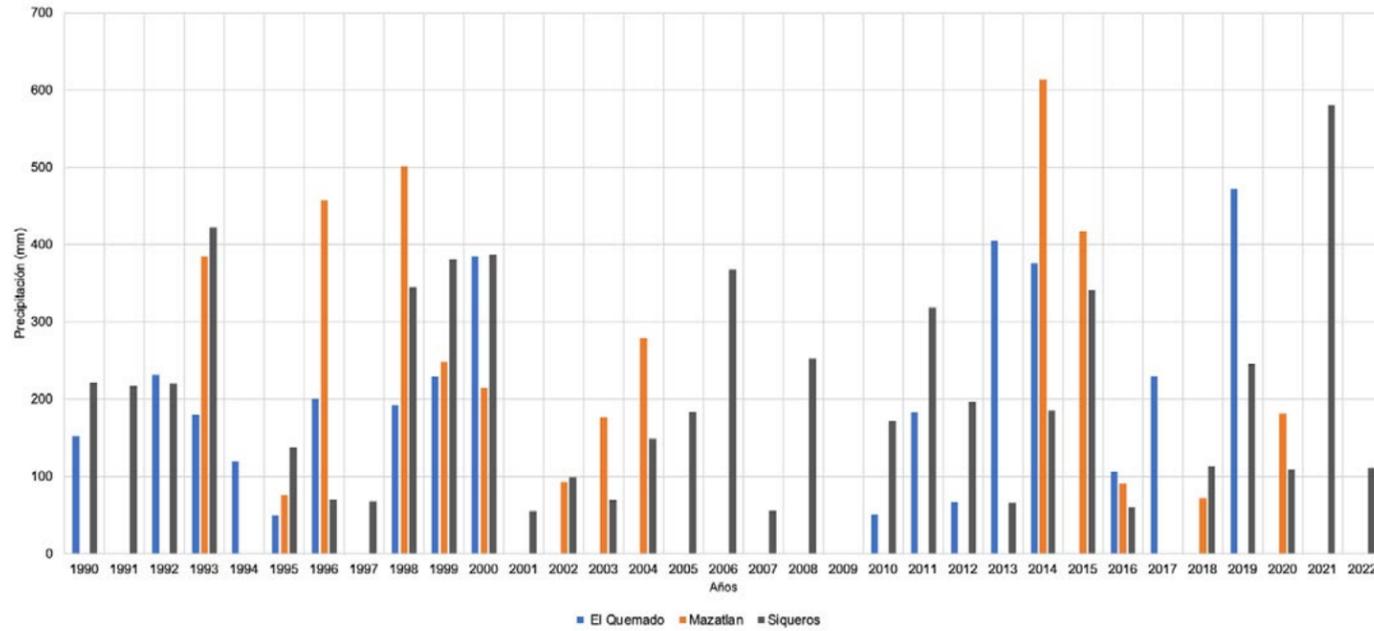
Este índice es también un indicador importante en las actividades productivas, por ejemplo, en la agricultura, permite determinar la necesidad de medidas de gestión del agua, como el drenaje o el riego. Conocer los periodos de lluvia prolongada permite a los agricultores ajustar sus prácticas para minimizar el impacto negativo de un exceso de humedad. Por otra parte, la ciudad puede informar decisiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos, especialmente en la planificación de almacenamientos y distribución de agua, anticipando periodos de recarga hídrica o posibles desbordamientos de cuerpos de agua.

Analizando las series temporales del CWD, se pueden identificar patrones o cambios en la frecuencia y duración de los periodos húmedos, lo cual es crucial para detectar tendencias asociadas al Cambio Climático en la región. A continuación, se muestran los resultados del análisis.

4.1.3. Lluvia extrema (mínima y máxima)

Los resultados del análisis indican que en 2014 se registró una mayor incidencia de huracanes, con eventos de lluvias extremas que alcanzaron hasta 600 mm, siendo este el evento más severo de la década 2011-2021 (Gráfica 6). En 2020, destacan las inundaciones ocurridas en agosto, provocadas por la tormenta tropical Hernán. Asimismo, en el mismo mes, pero de 2021, el huracán Nora generó graves inundaciones en la zona urbana de Mazatlán, con acumulaciones de lluvia que superaron los 500 mm.

Gráfica 6. Precipitación extrema en la ciudad de Mazatlán, Periodo 1990-2022. Fuente: Pares A.C.



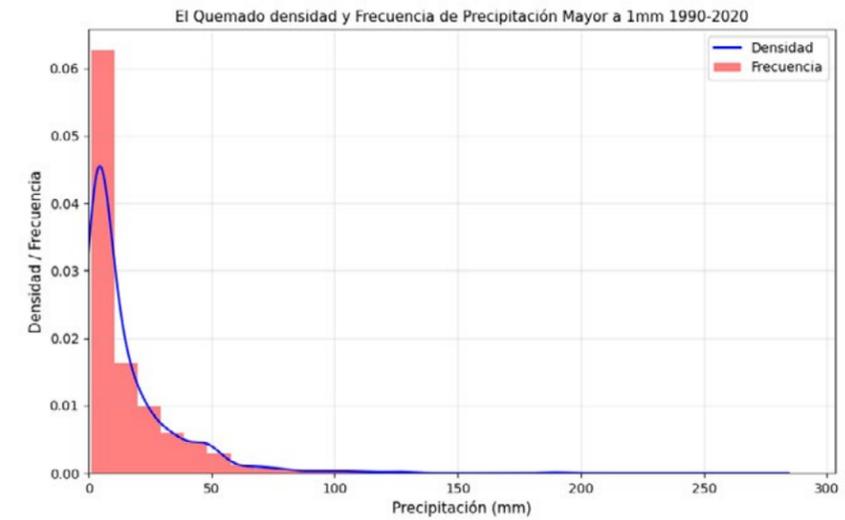
Para determinar los umbrales de precipitación normal y atípica, se llevaron a cabo pruebas de distribución de la densidad de la precipitación, las cuales describen cómo se distribuye la cantidad de precipitación en una zona específica a lo largo del tiempo. Estas pruebas permiten comprender la frecuencia, intensidad y variabilidad de las precipitaciones, así como identificar eventos de baja, media y alta intensidad, lo que es crucial para entender la climatología local y prever eventos extremos.

Desde una perspectiva de riesgo, conocer la distribución de la precipitación es fundamental para calcular la probabilidad de eventos extremos, como lluvias torrenciales o sequías. Además, esta información es clave para el diseño de infraestructuras hidráulicas, ya que permite dimensionar adecuadamente estas estructuras para soportar las condiciones climáticas previstas, incluidos los eventos de alta intensidad. En términos de vulnerabilidad ante el

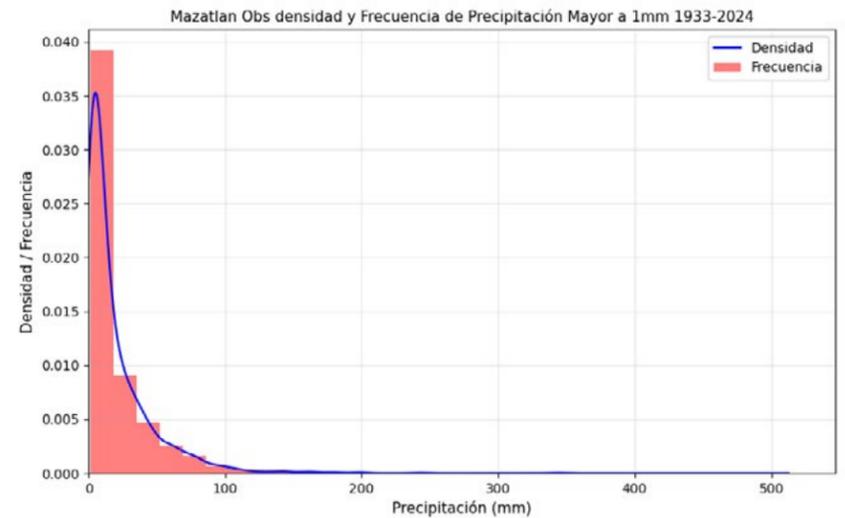
Cambio Climático, estas pruebas son valiosas para detectar cambios en los patrones de precipitación a lo largo del tiempo, lo que puede revelar tendencias relacionadas con el Cambio Climático, como el aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas.

Los resultados del análisis revelan que las precipitaciones normales en la ciudad de Mazatlán se encuentran entre 0 y 25 mm, mientras que valores superiores a este umbral se consideran atípicos (ver Gráficas 7 a, b y c). Además, en estas gráficas se puede observar la ocurrencia de eventos extremos de lluvia, con valores que superan los 500 mm en un día en la estación del Observatorio Mazatlán.

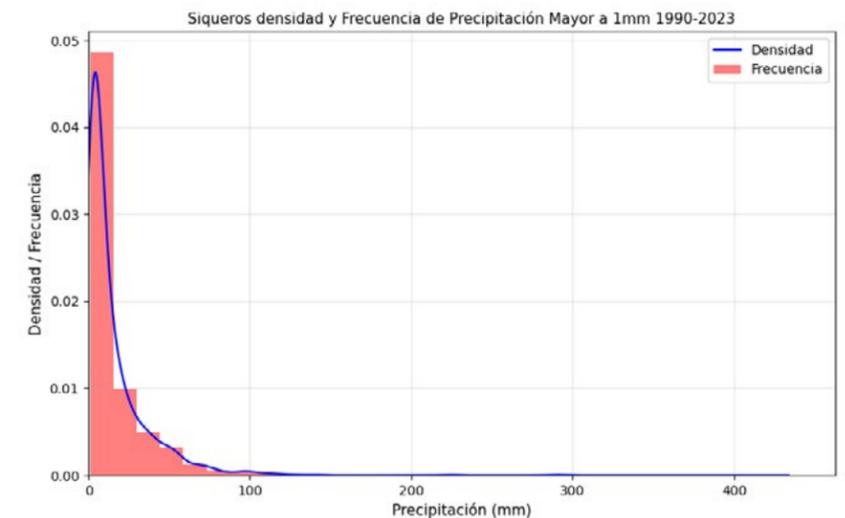
En este análisis se aprecian comportamientos similares en la precipitación por lo que se puede concluir que la señal climática no varía y se confirma como una región climática.



a.



b.

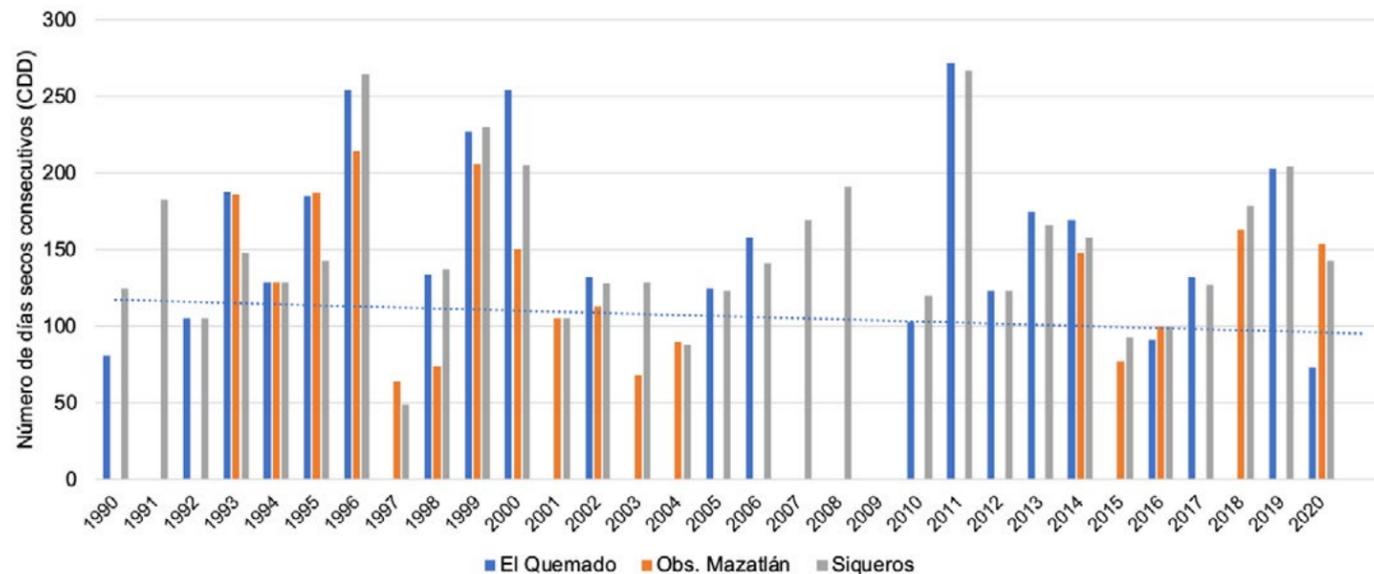


c.

Gráfica 7 a, b y c. Densidad y frecuencia de precipitación estaciones El Quemado (a), Mazatlán (b) y Siqueros (c). Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

4.1.4. Días secos consecutivos

Derivado del análisis del índice CDD en las estaciones de referencia, se encontró que aparentemente existe una tendencia negativa en el número de días secos consecutivos, esto implica que la ciudad de Mazatlán pudiera estar experimentando una disminución en los días secos consecutivos como se aprecia en la **Gráfica 8**.



Gráfica 8. Número de días secos consecutivos para la ciudad de Mazatlán en el periodo 1990-2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

La cantidad de días secos consecutivos está influenciada significativamente por los fenómenos de El Niño y La Niña, que son fases opuestas del ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). Estos fenómenos afectan los patrones de precipitación y, por lo tanto, la duración de los periodos secos y lluviosos en la región.

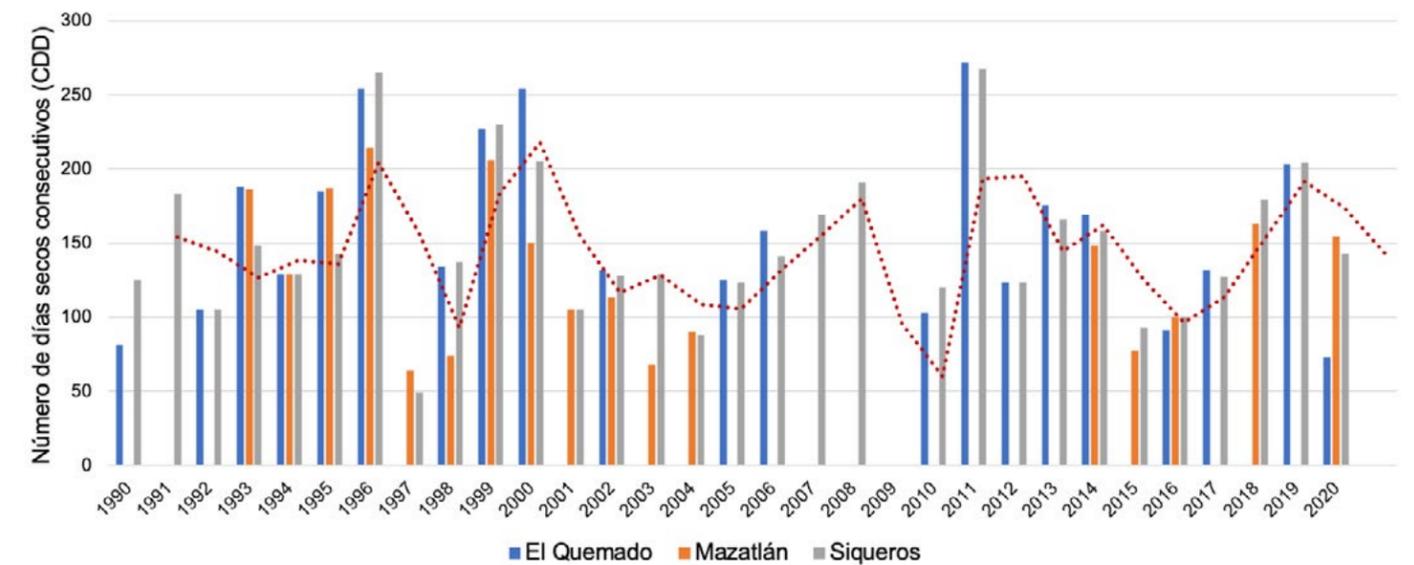
El Niño se asocia con el calentamiento de las aguas superficiales en el Océano Pacífico ecuatorial central y oriental. Mientras que La Niña se caracteriza por el enfriamiento de las aguas superficiales del Pacífico en la misma región. Este fenómeno suele tener un efecto contrario al de El Niño en términos de precipitación. (Magaña V., J. L. Pérez, J.L. Vázquez, E. Carrisoza y J. Pérez, (1999). 2. El Niño y el clima. En: Los impactos de El Niño en México. En Magaña R.V.O. (Ed.). Sep-CONACYT. 229 pp.)

Durante los eventos de La Niña, Mazatlán tiende a experimentar una reducción en la cantidad de días secos consecutivos, con un aumento en las precipitaciones. La Niña favorece la entrada de humedad y la formación de sistemas de baja presión que pueden traer lluvias más

frecuentes a la región, como resultado, los periodos secos tienden a ser más cortos, lo que reduce la probabilidad de sequías prolongadas en la ciudad. Estos patrones climáticos tienen un impacto directo en la vida diaria, la agricultura, el turismo y la planificación urbana en Mazatlán. La comprensión de cómo los fenómenos de El Niño y La Niña afectan la cantidad de días secos consecutivos es estratégica para la gestión de riesgos y la adaptación al Cambio Climático.

Sin embargo, por la ausencia de datos en las estaciones no puede concluirse que la tendencia encontrada sea atribuible al Cambio Climático, por lo que para interpretar patrones subyacentes que no son evidentes a simple vista, se optó por utilizar la media móvil de los datos; mediante esta técnica de análisis estadístico se pudo tener una visión más clara de las tendencias a largo plazo (**Gráfica 9**). Esto puede ser particularmente útil si los datos de CDD muestran variabilidad significativa de un año a otro.

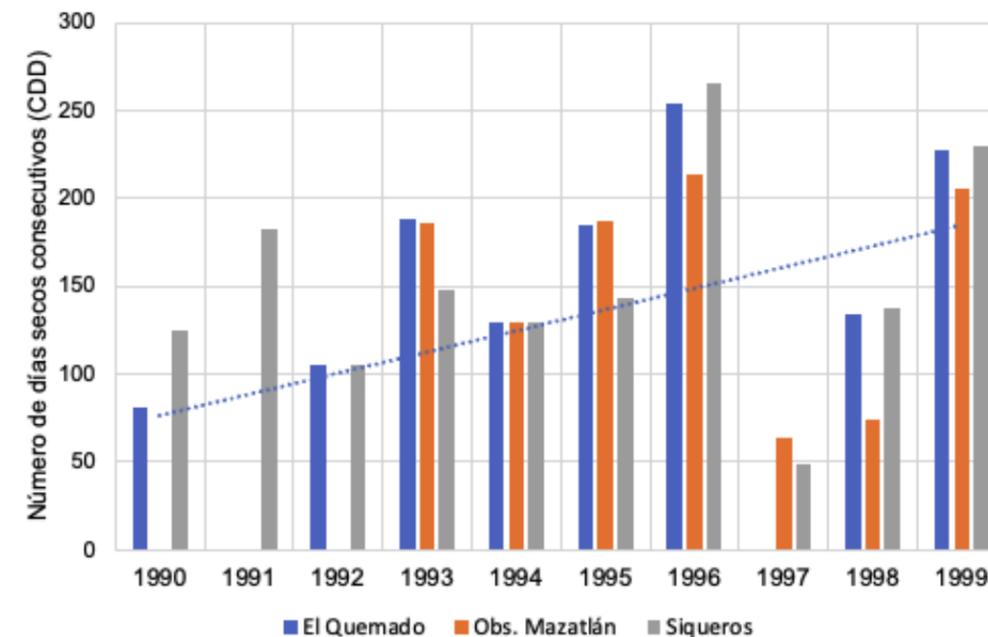
Aunque no haya una tendencia lineal definida, la media móvil puede revelar ciclos o patrones recurrentes



Gráfica 9. Número de días secos consecutivos para la ciudad de Mazatlán en el periodo 1990-2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

dentro del periodo de 30 años. Por ejemplo, puede destacar periodos de tiempo donde los días secos consecutivos tienden a aumentar como es el caso del periodo 1990-1999 que puede verse en la **Gráfica 10**.

La media móvil puede también ayudar a identificar cambios en la variabilidad de días secos consecutivos, por ejemplo, si la variabilidad aumenta o disminuye en ciertos periodos, esto puede indicar cambios en los patrones climáticos que no son evidentes en los datos sin procesar.



Gráfica 10. Número de días secos consecutivos para la ciudad de Mazatlán en el periodo 1990-1999. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

4.1.5. Temperatura Máxima y Mínima

A fin de caracterizar la evolución de la temperatura de la región se utilizaron los datos de las estaciones de referencia (El Quemado, Observatorio Mazatlán y Siqueros), se analizaron por separado en su climatología y en conjunto respecto a los índices climáticos. Para el análisis se utilizaron los siguientes índices:

Índice TXx o Temperatura Máxima Extrema se refiere a la temperatura más alta registrada en un día durante un periodo dado. Si se calcula para un año, TXx sería la temperatura máxima más alta registrada en cualquier día de ese año. De acuerdo con Vazquez Aguirre, 2010 Tnkj es la temperatura máxima diaria en el mes K, periodo J, por lo que la máxima temperatura diaria cada mes es entonces:

$$TXx_{kj} = \max(Tn_{kj})$$

El **índice TXx** se utiliza para identificar y analizar eventos de calor extremo. Un aumento en los valores de TXx puede indicar una mayor frecuencia o intensidad de olas de calor, lo que es relevante para evaluar los riesgos asociados a las altas temperaturas. En estudios de Cambio Climático, el índice TXx se utiliza para detectar tendencias en el comportamiento de las temperaturas extremas a lo largo del tiempo. Un aumento en TXx en una región específica podría sugerir un calentamiento climático, lo que tiene implicaciones para la planificación y adaptación. En cuanto a su utilización en el marco de este estudio, TXx permite identificar los valores extremos de temperatura para apoyar la evaluación de los riesgos climáticos por ejemplo para la salud pública, la agricultura y otros sectores sensibles a las temperaturas extremas. Por ejemplo, valores muy altos de TXx pueden estar relacionados con un mayor riesgo de incendios forestales o golpes de calor.

Este índice también permite comparar la severidad de las temperaturas máximas extremas entre diferentes regiones o periodos de tiempo, facilitando la identificación de áreas más vulnerables al Cambio Climático o periodos con condiciones particularmente extremas. También puede utilizarse para la identificación y priorización de medidas de adaptación frente a condiciones climáticas cambiantes.

Índice TNx o Temperatura Mínima Extrema es un indicador climático que representa la temperatura mínima más alta registrada durante un periodo específico, como un año, una estación o un mes. A diferencia de la temperatura

máxima (que se refiere a las horas más cálidas del día), TNx se refiere a la temperatura más alta registrada durante las horas más frías del día, es decir, las temperaturas mínimas.

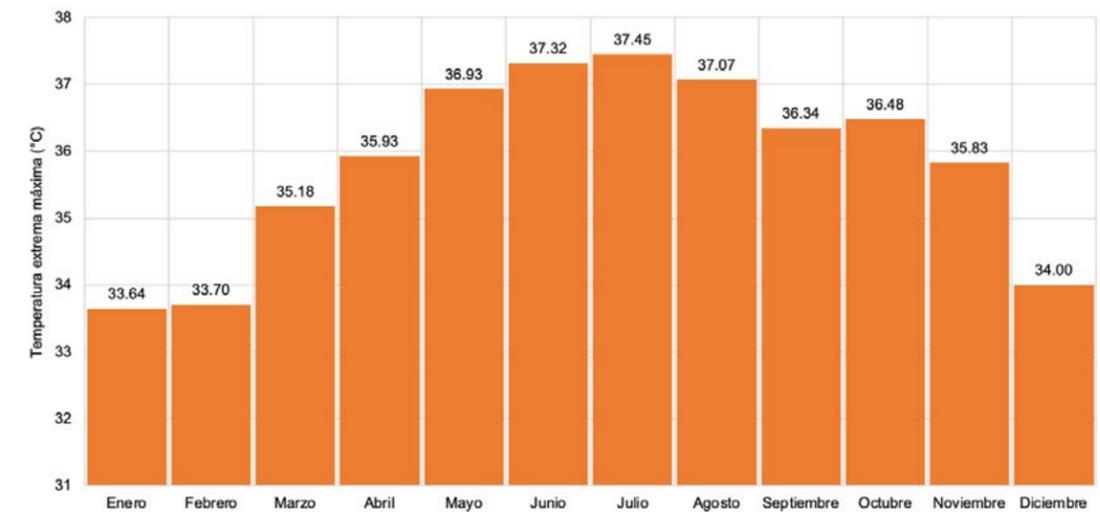
De acuerdo con Vázquez-Aguirre, 2010 Tnkj es la temperatura mínima diaria en el mes k, periodo j, por lo que la máxima temperatura mínima diaria de cada mes en el periodo j sería:

$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj})$$

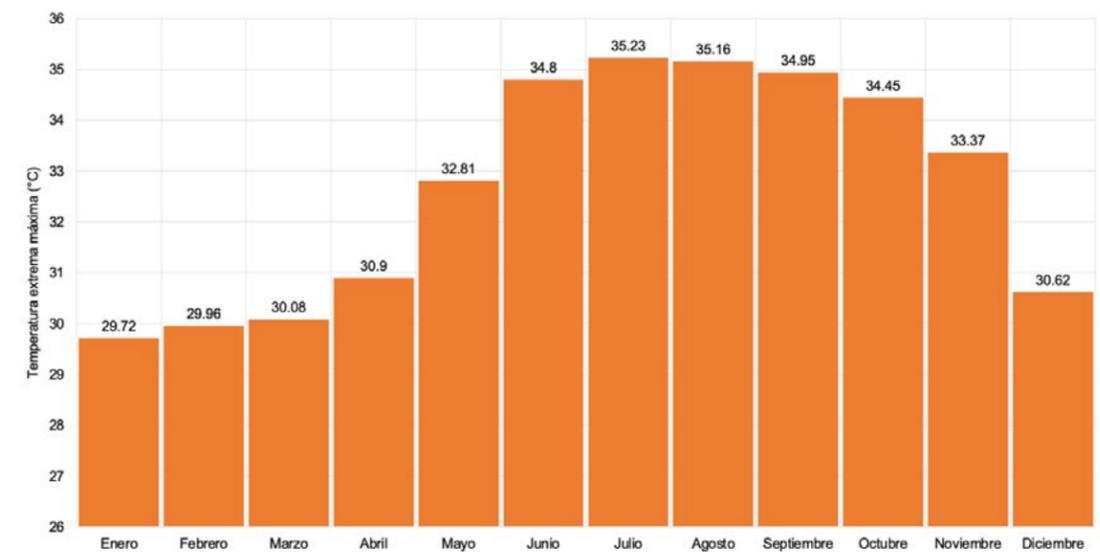
En estudios de Cambio Climático, TNx ayuda a detectar tendencias en las temperaturas mínimas. Un aumento en este índice podría sugerir que las noches están siendo menos frías, lo que es un indicador importante de calentamiento global. El incremento de las temperaturas mínimas reflejadas en un alto TNx, pueden tener implicaciones en la salud pública, especialmente durante olas de calor, ya que impiden que las temperaturas bajen lo suficiente durante la noche, lo que puede causar estrés térmico en la población. Por otra parte, en la agricultura las temperaturas mínimas son determinantes en el crecimiento de los cultivos y un incremento en TNx podría indicar condiciones menos favorables para ciertos cultivos que dependen de temperaturas nocturnas más bajas. Finalmente, este índice puede ayudar a comparar regiones para identificar patrones climáticos y zonas más afectadas por el Cambio Climático.

Los resultados del análisis de TXx en el periodo 1990-2020 para las estaciones de referencia se pueden apreciar en las **Gráficas 11 a, b y c**. Donde se pudo determinar que la estación meteorológica Siqueros registro las temperaturas extremas máximas en el rango de 35.21 a 39.01°C, mientras que las estaciones El Quemado (Gráfica 11a) y Observatorio Mazatlán (Gráfica 11b) se registraron valores de TXx en el entre 33.64 a 37.45°C y 29.72 a 35.23°C; Es pertinente aclarar que el índice TXx analiza la climatología de todo el periodo comparando todos los meses de todos los años para arrojar la media de la temperatura extrema máxima de todos los eneros, todos los febreros y así sucesivamente.

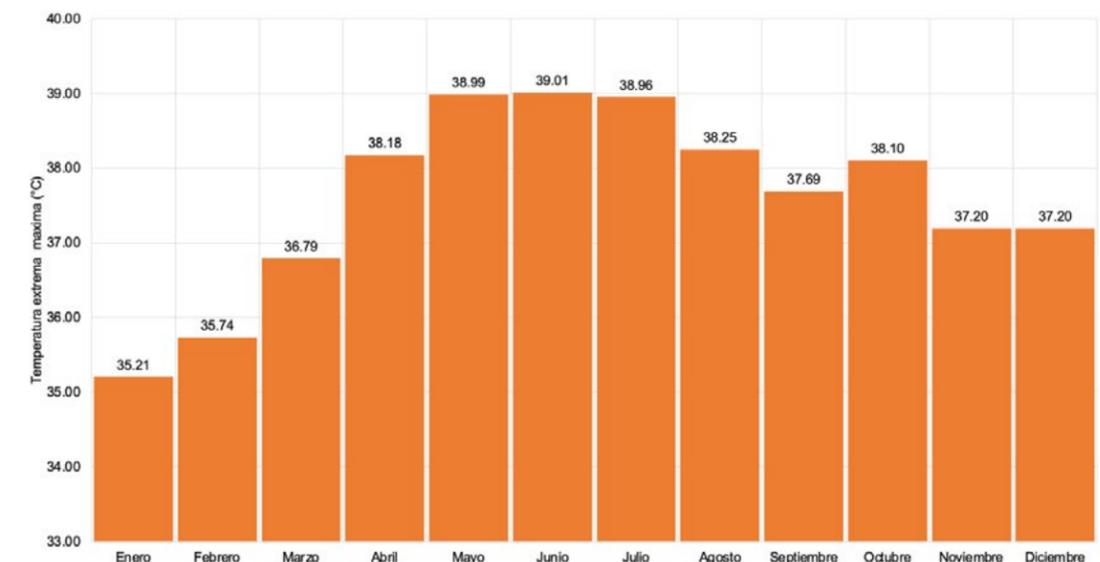
Gráfica 11a | b | c. Temperatura extrema máxima por mes, estaciones meteorológicas El Quemado 9a, Mazatlán 9b y Siqueros 9c, periodo 1990-2020.9. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional



a.



b.

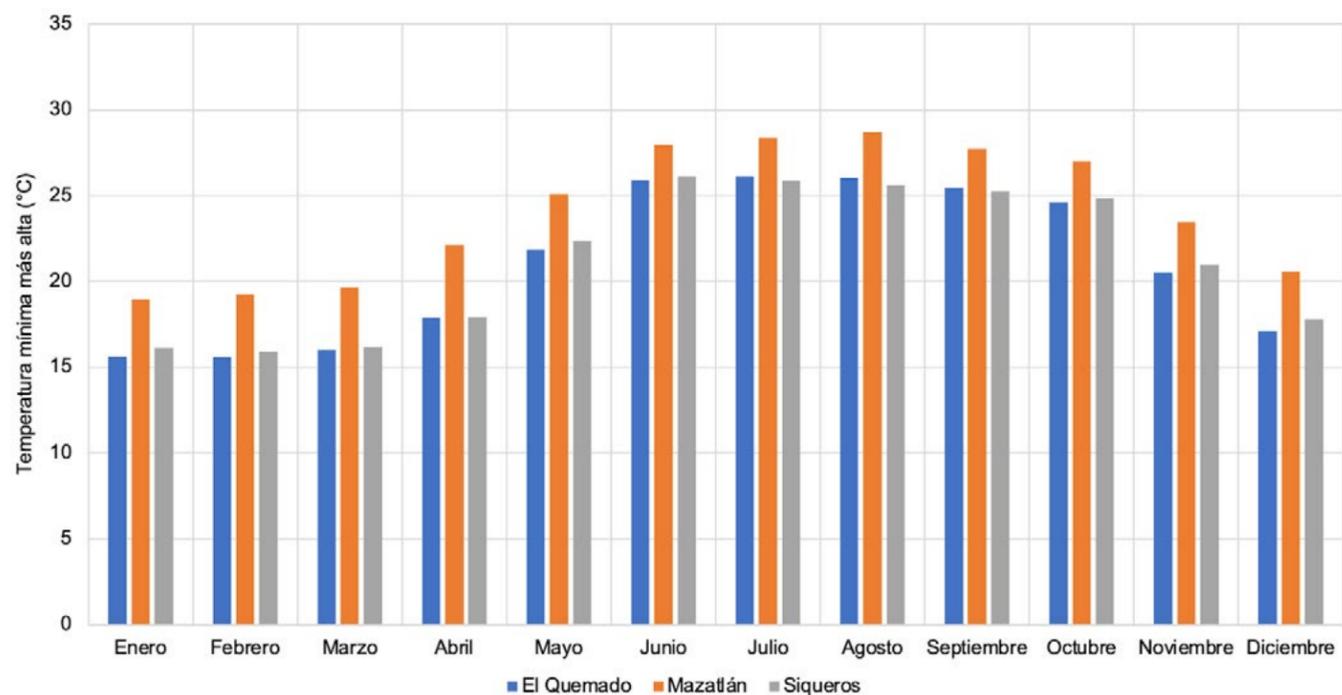
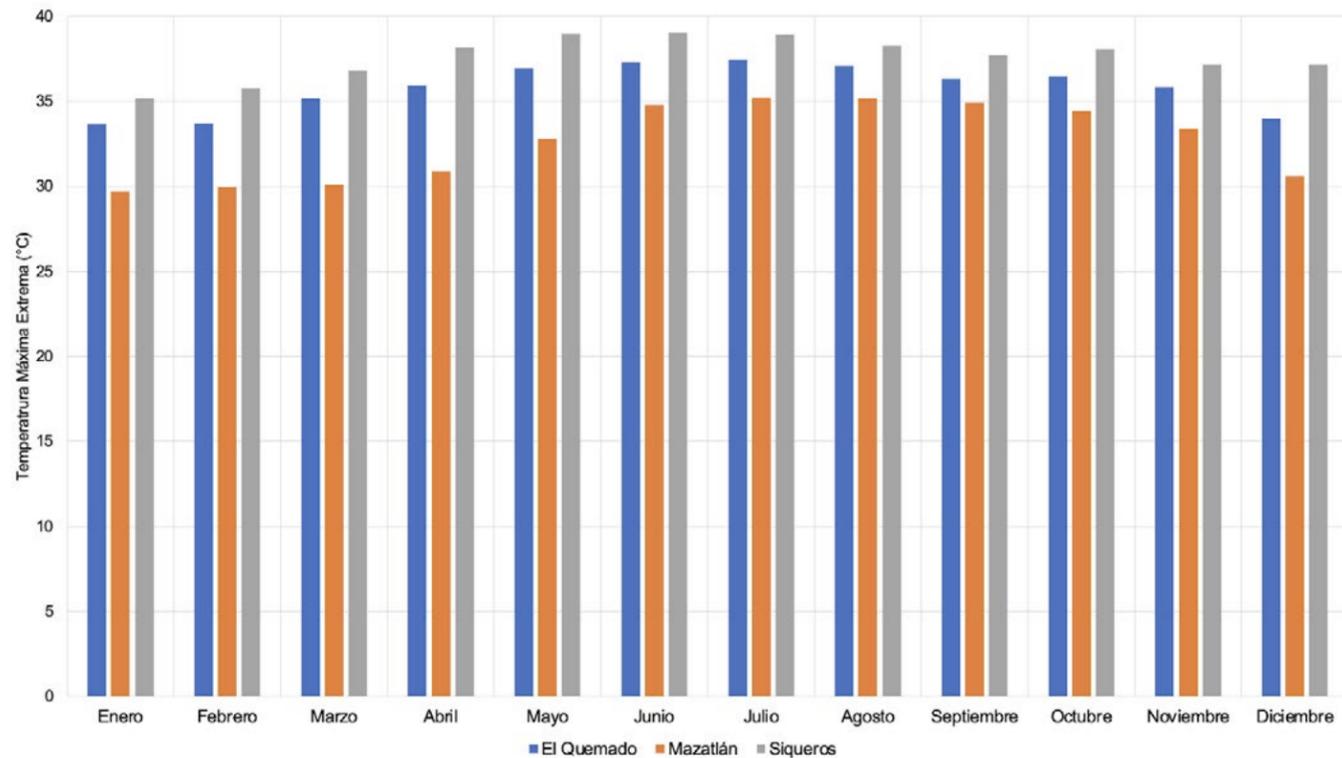


c.

Con objeto de tener una mejor comprensión de todo el periodo se presenta la **Gráfica 12** en donde se puede apreciar el comportamiento de la temperatura extrema máxima a lo largo de todo el periodo. De igual forma se puede apreciar el comportamiento del índice TNx o temperaturas mínimas más altas en el mismo periodo (**Gráfica 13**).

Gráfica 12. Media de la temperatura extrema máxima (TXx) para la ciudad de Mazatlán, periodo 1990-2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Gráfica 13. Temperatura mínima más alta para la ciudad de Mazatlán, periodo 1990-2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional



4.1.6. Olas de calor

Para analizar el fenómeno de ola de calor, se utilizaron los índices TX90p y SU. **Índice TX90p** es un indicador climático que se refiere al porcentaje de días en un periodo determinado (como un año o una temporada) en los cuales la temperatura máxima diaria supera el percentil 90 de la distribución de temperaturas máximas de un periodo de referencia climatológico. Este índice es parte de un conjunto de indicadores utilizados para analizar extremos climáticos y es particularmente útil en estudios de Cambio Climático.

TX90p mide el porcentaje de días en los que la temperatura máxima diaria supera el valor del percentil 90 de las temperaturas máximas durante un periodo de referencia, que generalmente es de 30 años (para este estudio, 1990-2020). Un valor alto de TX90p indica un aumento en la frecuencia de días excepcionalmente calurosos en comparación con el periodo de referencia, sugiriendo una tendencia hacia un clima más cálido.

Este índice es fundamental para evaluar la frecuencia de eventos de calor extremo. Un aumento en este índice indica que los días con temperaturas máximas inusualmente altas están ocurriendo con mayor frecuencia, lo que puede tener importantes implicaciones para la salud pública, la agricultura y otros sectores vulnerables al calor, también es un indicador clave en estudios de Cambio Climático ya que refleja los cambios en la distribución de las temperaturas máximas diarias. En ese contexto un valor alto de TX90p sugiere un cambio hacia condiciones más cálidas, lo que es consistente con las proyecciones de calentamiento global.

El aumento de TX90p puede estar asociado a impactos en la salud humana como aumento en la mortalidad y morbilidad relacionadas con el calor, pero también tiene implicaciones en la agricultura y otros sectores importantes de la economía como el turismo y el uso de energía, también puede afectar ecosistemas provocando estrés térmico a la flora y la fauna.

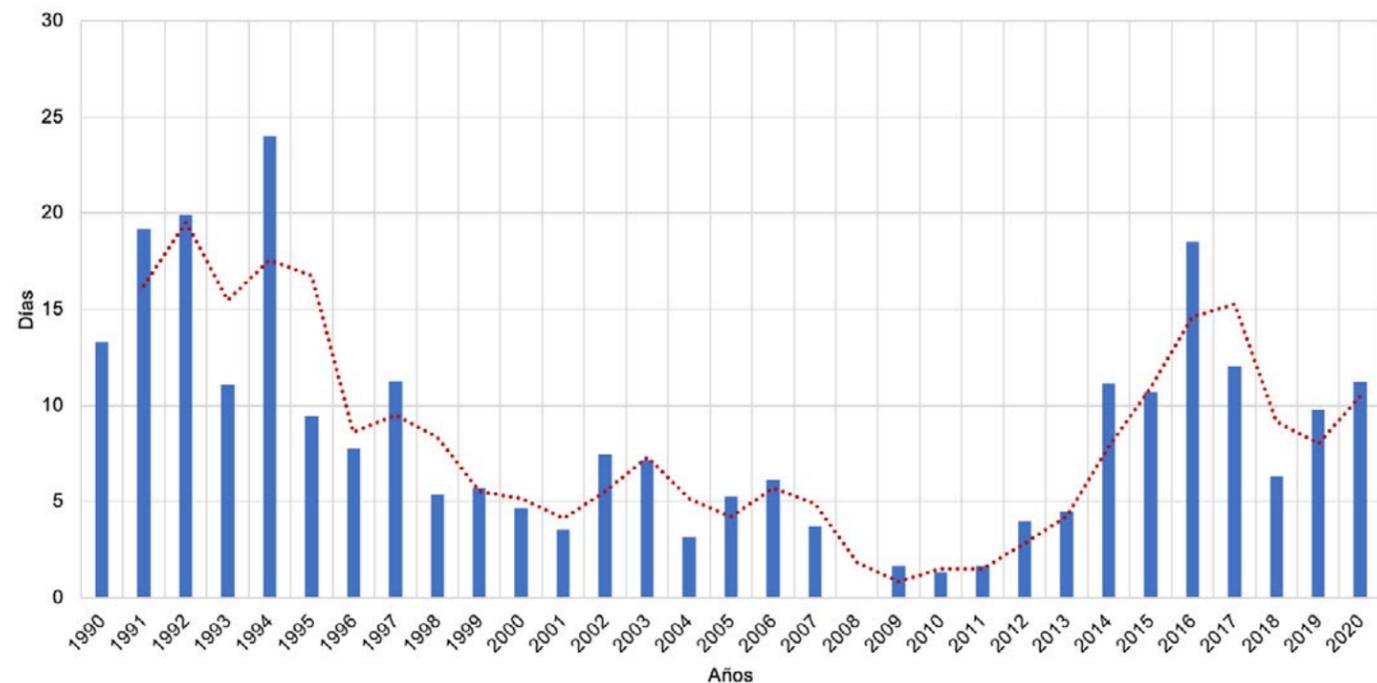
Por su parte el **índice SU** (o "Summer Days" en inglés) es un indicador climático que mide el número de días en un periodo determinado en los que la temperatura máxima diaria supera un umbral específico, comúnmente 25°C (Organización Meteorológica Mundial, 2018). Este índice es utilizado para evaluar la frecuencia de días cálidos o veraniegos en una región determinada y es útil para estudios de Cambio Climático, así como para la planificación en sectores sensibles a la temperatura.

En estudios de Cambio Climático, el **índice SU** permite detectar tendencias a largo plazo en la frecuencia de días cálidos. Un incremento en este índice a lo largo del tiempo puede ser una señal de calentamiento global, especialmente en regiones donde los veranos son tradicionalmente más frescos. Un mayor número de días cálidos puede tener implicaciones en la salud pública, como el aumento en los casos de golpes de calor y la demanda de servicios médicos. También afecta el bienestar, especialmente en áreas sin acceso a refrigeración adecuada.

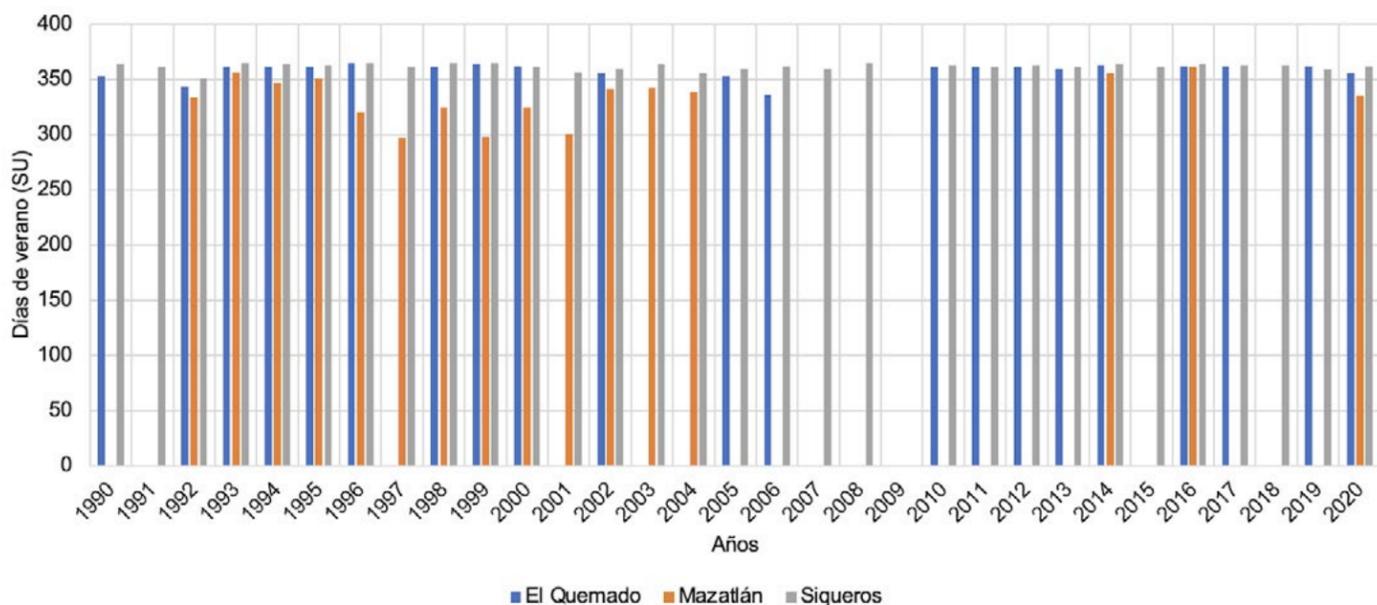
SU también es relevante para la planificación urbana y la gestión energética, ya que un aumento en los días cálidos puede incrementar la demanda de energía para refrigeración y afectar la infraestructura urbana, como el asfalto y los sistemas de transporte. La agricultura y los ecosistemas también pueden verse afectados ya que un mayor número de días SU puede influir en los ciclos de crecimiento de los cultivos, aumentando la necesidad de riego y afectando la productividad agrícola y los ecosistemas naturales alterando su funcionamiento y el de las especies que dependen de temperaturas más frescas.

Derivado del análisis de estos índices, se determinó que la cantidad de días consecutivos con temperaturas por arriba del percentil 90, no presenta una tendencia clara de aumento. En la **Gráfica 14** se puede apreciar la media móvil del análisis que indica un patrón de oscilación por lo que este efecto no se puede atribuir al calentamiento global.

A fin de tener una mejor comprensión del fenómeno de olas de calor, se analizaron los datos por medio del índice SU encontrando que los días de verano estimados para las estaciones de referencia en el periodo 1990-2020 oscilan entre 250 y 340 -casi todo el año- (Gráfica 15). Esta situación implica que la distribución de esta variable u oscilación de temperatura entre las temperaturas máxima y mínima es muy corta; es decir que en la ciudad se presentan más días cálidos que se consideran como de verano y que la temperatura nocturna no baja tanto como para permitir el confort térmico adecuado. Esta situación pone de manifiesto que se deben priorizar soluciones para mejorar el confort térmico que ayuden a las personas y ecosistemas a adaptarse a esa variabilidad en los patrones de temperatura.



Gráfica 14. Media de los días con temperatura máxima que supera el percentil 90 (TX90p), periodo 1990 - 2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional



Gráfica 15. Días de verano (SU) para la ciudad de Mazatlán en el periodo 1990-2020. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

4.1.6. La climatología local de Mazatlán

Tras un análisis exhaustivo de la climatología en la ciudad de Mazatlán, se concluye que el rango de precipitaciones típicas se encuentra entre 0 y 25 mm, con valores superiores generalmente asociados a eventos hidrometeorológicos extremos, como tormentas y huracanes. La ciudad ha experimentado ciclos significativos de sequías prolongadas, como en 1996, 1999 y 2011, donde se registraron más de 250 días secos consecutivos. Además, se observó un aumento en la cantidad de días secos consecutivos durante la década de 1990 a 1999.

En términos de temperatura, se evidencia un incremento en la temperatura extrema máxima a lo largo de todo el periodo analizado, coincidiendo con un aumento en las temperaturas mínimas más altas. Adicionalmente, se verificó que el número de días de verano, definidos como aquellos en los que la temperatura supera los 25°C, oscila entre 250 y 340 días al año, abarcando casi todo el año.

La combinación de un mayor número de días cálidos, sequías prolongadas y noches más cálidas tiene implicaciones significativas en el confort térmico de la población, el consumo de energía, la salud pública y las actividades productivas, como la agricultura.

La adaptación al Cambio Climático en un contexto urbano y de cuenca, como el de Mazatlán, es crucial para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, especialmente el suministro de agua. La planificación debe considerar tanto la mitigación de los impactos del calor extremo como la gestión eficiente del agua en respuesta a sequías más frecuentes y prolongadas, así como a las lluvias intensas en cortos periodos.

Es fundamental fortalecer las infraestructuras urbanas y las políticas públicas para hacer frente a los efectos del Cambio Climático. Esto incluye, entre otros, el diseño de sistemas de captación y almacenamiento de agua que puedan soportar variaciones extremas en las precipitaciones, promover una gestión moderna y adecuada de los sistemas de riego agrícola, así como el desarrollo de estrategias para reducir el consumo energético y proteger la salud pública en un entorno de temperaturas crecientes.

Por lo que, es importante que se tomen medidas para ayudar a las personas, a los ecosistemas y a la ciudad a adaptarse a estos efectos del clima y disminuir su vulnerabilidad, promoviendo ciudades y entornos rurales más resilientes.

4.2. Escenarios de Cambio Climático

El Cambio Climático, un fenómeno global de profundas implicaciones, exige una comprensión sólida de los posibles futuros que nos aguardan. La construcción de escenarios climáticos como herramientas indispensables para la evaluación de riesgos y la toma de decisiones, nos permite vislumbrar un abanico de posibilidades y anticipar los impactos del calentamiento global. Al modelar el clima futuro bajo diferentes condiciones, podemos evaluar la vulnerabilidad de sistemas naturales y sociales, y diseñar estrategias de adaptación más efectivas.

En este capítulo nos centramos en analizar dos escenarios socioeconómicos compartidos (SSP) que ofrecen una visión contrastante del futuro: el SSP2 (mitad del camino) y el SSP5 (catastrófico). Estos escenarios, combinados con proyecciones de concentración representativa (RCP 4.5 y 8.5.), nos permitirán evaluar una amplia gama de posibles impactos del Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán.

El escenario SSP2-4.5 representa un camino intermedio, donde se combinan elementos de desarrollo y sostenibilidad; a pesar de los esfuerzos de mitigación, se proyecta un aumento moderado de las temperaturas globales. Por otro lado, el SSP5-8.5 representa un futuro donde se prioriza el crecimiento económico a corto plazo y se retrasan las acciones climáticas, lo que conlleva un aumento significativo de las temperaturas globales y eventos climáticos extremos. Al evaluar estos dos extremos, podemos obtener una visión más completa de los posibles impactos del Cambio Climático y comprender mejor la incertidumbre asociada a estos futuros. El escenario SSP2-4.5 nos permite evaluar los impactos bajo un escenario de mitigación moderada, mientras que el SSP5-8.5 nos muestra los riesgos de un futuro con altas emisiones de gases de efecto invernadero.

Para evaluar la vulnerabilidad futura de la ciudad de Mazatlán se emplearon modelos climáticos de última generación que reproducen de manera realista la climatología observada. Estos modelos nos permitirán proyectar variables climáticas clave, como temperatura, precipitación y eventos extremos, a mediano plazo (2030-2050) y a largo plazo (2070 y 2100).

Los escenarios climáticos que se presentan en este estudio son herramientas valiosas para evaluar la vulnerabilidad de la ciudad de Mazatlán ante los posibles impactos del Cambio Climático y para informar la toma de decisiones en materia de adaptación. Sin embargo, es importante

reconocer que la incertidumbre asociada a las proyecciones climáticas aumenta a medida que se extiende el horizonte temporal. Los modelos climáticos utilizados en este estudio, aunque son de última generación, están sujetos a limitaciones inherentes y no pueden capturar todas las complejidades del sistema climático.

Es fundamental destacar que los escenarios climáticos presentados no son predicciones exactas del futuro, sino representaciones plausibles de diferentes posibles trayectorias climáticas. La variabilidad natural del clima, así como la incertidumbre en las proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyen a la incertidumbre general de los resultados.

En consecuencia, los resultados de este estudio deben interpretarse con cautela y no deben utilizarse como una base única para la toma de decisiones. Se recomienda complementar este análisis con expertos, otros estudios y fuentes de información, así como considerar un enfoque de gestión de riesgos que permita adaptarse a un rango de posibles futuros.

4.2.1. Modelos climáticos

La comprensión del sistema climático es un problema de gran interés, los adelantos en la comprensión de las interacciones entre la atmósfera, los océanos, la biosfera, la criósfera y la superficie terrestre han avanzado en estos últimos años. Por ello, el desarrollo de modelos climáticos surge debido a la intención de formular proyecciones plausibles y oportunas de los impactos antropogénicos sobre el clima que desencadenan las emisiones de gases de efecto invernadero y los aerosoles (IPCC, 1997).

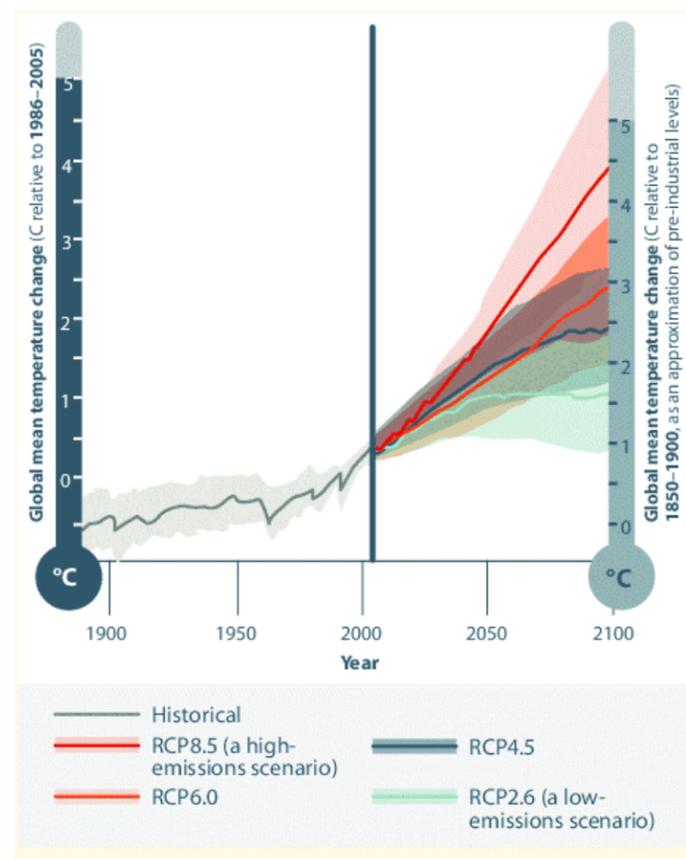
Los modelos climáticos se consideran herramientas esenciales para comprender el clima actual y futuro, de tal manera que es factible evaluar posibles impactos y diseñar estrategias ante el Cambio Climático. La justificación del uso de modelos que simulan el clima de acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se basa en la simulación de procesos naturales, las proyecciones futuras, evaluación de impactos, establecimiento de políticas, validación y verificación bajo escenarios diversos, de conformidad con el cuarto informe sobre Cambio Climático del IPCC (2007)

Figura 2. Temperatura media global en escenarios de Cambio Climático. Fuente: Tomado de Ansuategi et al. 2015

Escenarios de emisiones

Los principales factores que afectan las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) son el tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática. Por su parte, las trayectorias de concentración representativas (RCP) utilizadas para hacer proyecciones basadas en estos factores, describen cuatro trayectorias diferentes para las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero, los contaminantes atmosféricos y el uso del suelo en el siglo XXI. De acuerdo con el sexto informe (AR6 por sus siglas en inglés) del IPCC (2021), serían un escenario de mitigación estricta (RCP2,6), dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5).

En todos los escenarios de emisiones evaluados por el IPCC, las proyecciones señalan que la temperatura en superficie continuará aumentando a lo largo del siglo XXI; es muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia e intensidad, y que los episodios de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en muchas regiones (IPCC, 2021).



De Modelos Climáticos a Modelos Climáticos Regionales

Una de las mayores motivaciones para el desarrollo de los Modelos Climáticos Regionales (MCRs) ha sido la necesidad de producir información climática de alta resolución a escala regional para la evaluación del impacto del Cambio Climático. Si bien los Modelos Climáticos Globales (MCGs) son la herramienta más utilizada para predecir la evolución del clima futuro en respuesta al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, la resolución espacial de los mismos es aún muy gruesa -de cientos de kilómetros-, lo que limita su capacidad para la representación de procesos de escala regional forzados por inhomogeneidades de la superficie, responsables de modular la circulación de gran escala que determina las características del clima regional.

Los MCGs son modelos numéricos capaces de evaluar los efectos de los elementos climáticos externos producidos a escala global que fuerzan el clima como la concentración de gases de efecto invernadero, o la irradiancia solar, etc. Estos modelos se han convertido desde 2007 en una de las herramientas utilizadas para mejorar la comprensión del clima (IPCC, 2007). El principal problema que presentan los MCGs es la incertidumbre a la que están sujetos, al margen de la incertidumbre de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero en proyecciones futuras y el efecto de estos gases y los aerosoles en la dinámica del sistema (Van Vuuren et al., 2011).

La incertidumbre en las proyecciones del clima se debe a diferentes fuentes, la primera es la asociada a la variabilidad interna de los modelos climáticos, la cual representa la incertidumbre intrínseca asociada a los modelos climáticos y puede capturarse a partir de diferentes realizaciones del clima simulado asociadas a diversas condiciones iniciales. En segundo lugar, las imperfecciones en los modelos climáticos, ya que éstos no son perfectos y estas imperfecciones introducen otra fuente de incertidumbre en la representación del clima regional (Deque et al. 2007). En tercer lugar, la incertidumbre de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero que representa una fuente de incertidumbre que no puede reducirse pero que es importante cuantificar, y está asociada a la incertidumbre en el forzamiento radiativo futuro y por lo tanto a la respuesta del clima a dicho forzamiento (Hawkins and Sutton, 2009, 2011).

Los MCGs típicamente tienen una resolución horizontal de unos 150 a 300 km² (Vera et al. 2006) y entre 18 a 56 niveles verticales (que van desde la superficie hasta 0.1 hPa), actualmente se han generado para el último reporte

del IPCC: La base de la ciencia física (IPCC, 2021), MCGs de mayor resolución del orden de 25 km e inclusive de 11 km para los modelos globales de alta resolución (HighRes por sus siglas en inglés). Esta resolución es suficiente para resolver fenómenos a escala planetaria o sinóptica pero claramente no es adecuada para estudiar fenómenos a escala regional o local. Además, muchos fenómenos climáticos tienen una dependencia significativa de la orografía por lo que regiones con gradientes altitudinales abruptos, como sucede en una parte importante del territorio mexicano, podrían estar inadecuadamente representadas por los MCGs. Estas debilidades llevaron de manera natural al desarrollo de los denominados Modelos Climáticos Regionales (MCRs), los cuales operan en un dominio mucho menor que los MCGs y a una resolución mucho mayor, típicamente entre 10 y 50 km de resolución horizontal.

A pesar de los avances en la representación de los sistemas y procesos involucrados en el sistema climático, los modelos, sean MCGs o MCRs, deben ser evaluados a fin de establecer que tan bien representan los datos observados. Con la finalidad de mejorar los modelos se han hecho estudios sobre la evaluación del clima actual y análisis de las proyecciones de Cambio Climático para Norte América con modelos globales acoplados usados en el cuarto y sexto informe de Evaluación del Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC-AR4, IPCC-AR6).

La dinámica del sistema climático se rige por siete principios físicos, por mencionar algunos tenemos a la conservación de:

- La masa de aire
- La masa de agua
- La energía
- El impulso del aire en tres direcciones
- La ley de los gases ideales aplicada al aire

Los modelos climáticos representan estos principios con ecuaciones que describen a diferentes variables como la temperatura del aire, presión, densidad, contenido de vapor de agua y magnitud del viento en tres direcciones, por ejemplo. Resolviendo las ecuaciones, los modelos climáticos pueden simular todas estas variables en tres dimensiones y en el tiempo. Por otra parte, existen variables que afectan el clima de la Tierra y son difíciles de modelar directamente, un ejemplo de esto son las

nubes, una nube es mucho más pequeña que la unidad más pequeña de distancia en un modelo climático típico, por lo que el modelo no puede “ver” nubes individuales, pero en conjunto tienen grandes efectos sobre la temperatura de la Tierra (Climate Models | MIT Climate Portal, s. f.).

Para analizar estos factores, los modelos climáticos utilizan “parametrizaciones” o ecuaciones simplificadas que pretenden emular el comportamiento de las condiciones reales con cierta incertidumbre. La lluvia, la nieve y la evaporación son otros procesos físicos que deben “parametrizarse” en los modelos climáticos. Estas son características importantes del clima de la Tierra, por lo que lograr las parametrizaciones correctas es una parte muy importante del diseño de un buen modelo climático (Climate Models | MIT Climate Portal, s. f.).

Modelos climáticos regionales

Existe diversidad de estudios como el Proyecto internacional CORDEX (Giorgi *et al.*, 2009) que ha realizado una serie de simulaciones coordinadas con MCRs para distintas regiones, entre ellas Norte América (en la que se incluye una parte de México) con el objetivo de disponer de un ensamble de proyecciones futuras del clima regional. Es importante destacar que la mayoría de los estudios enfocados a la caracterización de la señal de Cambio Climático en México se han concentrado en caracterizar el cambio proyectado en las condiciones del clima medio. A través de estos estudios se ha demostrado que el uso de MCRs mejora la representación del clima regional, en comparación con los Modelos Globales (Solman *et al.*, 2007; Giorgi *et al.*, 2004; Fernández, 2010). Sin embargo, las proyecciones regionales de Cambio Climático también poseen una serie de incertidumbres que es importante cuantificar (Alexandru *et al.*, 2007; de Elia *et al.* 2007; Solman and Pessacg, 2010).

Para este análisis, los modelos climáticos regionales tomados del proyecto CORDEX para Norteamérica, se simularon con las trayectorias de concentración de emisiones representativas CMIP5 y CMIP6 4.5. y 8.5.

Evaluación de los modelos climáticos históricos

Para evaluar el desempeño de Modelos Climáticos Globales o de Modelos Climáticos Regionales, es crucial identificar y priorizar el uso de bases observacionales reticuladas como la base de *Climate Research Unit* (CRU).

El uso de estas bases observacionales reticuladas es fundamental ya que permite la validación y calibración de los modelos, al comparar las predicciones del modelo con datos reales observados es posible ajustar el modelo y lograr mejorar su precisión.

Las bases de datos reticuladas (*grid-based*) ofrecen información detallada sobre variaciones climáticas en diferentes escalas espaciales, esto permite identificar y cuantificar tendencias climáticas a largo plazo, como el calentamiento global y sus impactos regionales, y la validación continua de los modelos con datos reales permite mejorar sus capacidades de predicción. También comparar con datos observacionales puede ayudar a detectar errores o sesgos en los modelos, lo que es esencial para la mejora continua de su precisión; las bases observacionales son imprescindibles para asegurar que los modelos climáticos sean efectivos, precisos y útiles para la comprensión y la gestión del Cambio Climático.

La base de datos CRU es una base desarrollada por la Universidad de East Anglia en el Reino Unido, esta base posee registros de temperatura, precipitación y otros datos meteorológicos de estaciones meteorológicas de todo el mundo. Estos datos se han recopilado, homogeneizado y corregido posibles errores para contar con un registro global completo del clima instrumental desde mediados del siglo XIX. Esta base de datos es ampliamente utilizada por científicos de todo el mundo para estudiar el Cambio Climático, sus impactos y para evaluar modelos climáticos. La base de datos CRU es una de las principales fuentes de información sobre el clima pasado y se ha utilizado en numerosos informes de evaluación del IPCC (T.M. Melvin, K.R. Briff, 2013).

Modelos regionales utilizados

Las simulaciones de los modelos regionales utilizados se obtuvieron a partir de la matriz de simulaciones disponibles por el *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), uno de los centros responsables de las simulaciones de la iniciativa CORDEX en el dominio NA-44. Estos modelos se seleccionaron de acuerdo con la escala temporal, escala espacial y la complejidad de los procesos de cada MCR, así como la disponibilidad de acceso a las simulaciones y proyecciones. Es importante mencionar que las variables no siempre están disponibles para todos los modelos, por lo que este estudio tomo como base la matriz de simulaciones de la iniciativa CORDEX (**Cuadro 11**).

	RegCM4	WRF	CRCM5-OUR	CRCM5-UQAM	CanRCM4	RCA4	HIRHAM5		
ERA-Int	50Km 25Km	50Km* 25Km*	0.22°	0.44° 0.22° 0.11°	0.44° 0.22°	0.44°	0.44°	RCP	ECS(°C)
HadGEM2-ES	50Km 25Km	50Km* 25Km*						8.5	4.6
CanESM2				0.44°	0.44° 0.22°	0.44°		4.5	3.7
			0.22°	0.44° 0.22°	0.44° 0.22°	0.44°		8.5	
GEMatm-Can+			0.22°	0.44° 0.22°				8.5	~3.7+
MPI-ESM-LR				0.44°				4.5	3.6
	50Km* 25Km*	50Km 25Km	0.22°	0.44° 0.22°				8.5	
MPI-ESM-MR				0.44° 0.22°				8.5	3.4
GEMatm-MPI+				0.44° 0.22°				8.5	~3.4+
EC-EARTH±						0.44°		2.6	~3.3
						0.44°	0.44°	4.5	
						0.44°	0.44°	8.5	
CNRM-CM5			0.22°					4.5	~3.3
			0.22°					8.5	
GFDL-ESM2M	50Km	50Km*	0.22°					8.5	2.4
	25Km	25Km*	0.22°						
Institution	Iowa State *NCAR	U. Arizona *NCAR	Ouranos	UQAM	CCCma	SMHI	DMI		
Modeler	R. Arritt *M. Bukowsky	H-I Chang *M. Bukowsky	S. Biner	K. Winger	J. Scinocca	G. Nikulin	O. Christensen		
Access	PoC	PoC	PoC	PoC	CCCma	ESGF	ESGF		

Cuadro 11. Matriz de simulación CORDEX. Fuente: Tomado de CORDEX, 2024

En el **Cuadro 11**, se puede apreciar en la columna de la izquierda los Modelos Climáticos Globales que fueron las condiciones de frontera y proporcionaron los datos con los que se alimentaron las simulaciones de los Modelos Climáticos Regionales. En el centro se observa la resolución de punto de retícula a la cual se simuló el modelo regional (Km) y por último en la penúltima columna de la derecha se puede observar bajo que Trayectorias de Concentración Representativas (RCP por sus siglas en inglés) fue generada la simulación y proyección del Modelo Climático Regional. En color negro se aprecian los resultados para un RCP 4.5 y en color rojo los resultados para un RCP 8.5, los datos en verde se refieren a modelos que están en proceso, pero no validados por las instituciones participantes.

Para este estudio se seleccionaron los modelos con base en los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 con objeto de contar con un panorama de las concentraciones de emisiones contaminantes en un escenario intermedio (4.5) que presenta emisiones de CO₂ que rondan los niveles actuales antes de disminuir a mediados de siglo sin llegar a cero emisiones netas para 2100. Se considera además que los factores socioeconómicos siguen las tendencias históricas con un progreso gradual hacia la sostenibilidad y un desarrollo desigual, las temperaturas probablemente aumentarán 2.7°C a final de siglo.

Y, por otro lado, el SSP5-8.5 es el escenario más pesimista, según lo descrito por el IPCC, implica una duplicación de las emisiones actuales de CO₂ para 2050. El rápido crecimiento económico estará impulsado por combustibles fósiles y estilos de vida que consumen mucha energía. El IPCC proyecta que en este escenario la temperatura global promedio aumentará 4,4 °C para 2100. En ambos casos se optó por una retícula de 25 km, es decir 0.22° para lograr una mejor resolución, y con base en estas consideraciones se seleccionaron los siguientes modelos.

Cuadro 12. Modelos utilizados para el análisis. **Fuente:** Pares A.C. con datos de CORDEX dominio NA-44 (los 3 son ensambles del 8.5) y para el 4.5, solo esta disponible el modelo ec.earth

MCG /MCR	RCA4	WRF	RCP
EC-EARTH	●		4.5
EC-EARTH	●		8.5
MPI-ESM-LR		●	8.5

La selección de modelos climáticos regionales se basó en la evaluación de modelos provenientes de la iniciativa CORDEX en la región de Norte América; cabe mencionar que estas simulaciones se han empleado en estudios de sensibilidad y procesos climáticos en la región, en especial los resultados de las simulaciones coinciden con las predicciones del modelo RCA4 mismo que se seleccionó para este análisis.

De acuerdo con Cavazos *et al.* (2020), el desempeño de los modelos climáticos regionales que se han analizado mostró sesgos negativos en temperatura y positivos en precipitación, especialmente en áreas montañosas, y aunque

reprodujeron tendencias observadas, presentaron limitaciones en la simulación de patrones de precipitación en el área del monzón norteamericano que tiene influencia en este análisis. En ese sentido, en la misma región durante el periodo 1980-2010 se observó una tendencia de temperatura del orden de 0.34°C por década, tendencia que es estadísticamente significativa ($p \leq 0.001$) y se caracteriza por un calentamiento continuo, donde cada década ha sido más cálida que la anterior. En la evaluación se utilizó la base de datos CRU debido a la alta calidad de los datos mensuales de las variables de temperatura y precipitación basados en aproximadamente 4,000 estaciones meteorológicas a nivel mundial. Esta base ofrece además una resolución de 0.5° x

0.5° (50 km), lo que permite una evaluación precisa de las métricas climáticas en el análisis de los modelos climáticos regionales.

Descripción de los modelos climáticos regionales utilizados.

The Rossby Centre Regional Climate Model (RCA4), este modelo es parte de la familia de modelos de clima regional y se ha desarrollado por el Centro de Investigaciones Atmosféricas de Suecia (SMHI). El modelo RCA4 tiene una resolución espacial más alta en comparación con los modelos de circulación general, lo que permite simular con mayor detalle el clima en áreas más pequeñas; utiliza datos de modelos de circulación general como condiciones iniciales y de frontera, lo que le permite calcular cómo se dispersan y modifican esas condiciones a nivel regional. El modelo es utilizado principalmente para simular cambios en la precipitación y la temperatura, así como para evaluar eventos climáticos extremos (Swedish National Knowledge Centre For Climate Change Adaptation | SMHI, s. f.).

Los resultados del modelo RCA4 son útiles para la planificación de medidas de adaptación al Cambio Climático y para la elaboración de políticas ambientales y de sostenibilidad, y es una herramienta importante en la evaluación del Cambio Climático y sus impactos a nivel regional, por lo que se utiliza en diversas investigaciones y estudios de política pública alrededor del mundo (Swedish National Knowledge Centre For Climate Change Adaptation | SMHI, s. f.).

Para este experimento sobre el dominio NA-44, se utilizó la simulación provista por el modelo global ICHEC-EC_EARTH y para dos trayectorias de concentración representativas RCP4.5 y RCP8.5 para el periodo 2006 a 2100, disponible [aquí](#).

Weather Research and Forecasting (WRF), este modelo es un sistema de predicción numérica del tiempo de meso escala de última generación diseñado tanto para investigación atmosférica como para aplicaciones de pronóstico operativo, desarrollado de manera colaborativa por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), Centros Nacionales de Predicción Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), entre otras agencias de las fuerzas armadas de Estados Unidos (Weather Research & Forecasting Model (WRF) | Mesoscale & Microscale Meteorology, s. f.). Disponible en: <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>.

Este modelo es altamente flexible ya que permite la simulación en diferentes escalas espaciales, desde pocos kilómetros hasta cientos de kilómetros, esto lo hace adecuado para estudios climáticos, además incluye una variedad de opciones para parametrizar procesos físicos, como la microfísica de nubes (modelos de microfísica, intercambios de fase), turbulencia (modelos de turbulencia, comunicación entre capas), radiación (espectros de radiación, interacción de la radiación con las nubes), interacción suelo-atmósfera (parámetros del suelo, evapotranspiración), forzamiento físico, entre otros. Estas consideraciones físicas son fundamentales para garantizar que el modelo WRF produzca simulaciones realistas y útiles para la investigación, lo que permite simular de manera más precisa las condiciones climáticas, así como utilizar una amplia gama de datos observacionales y de satélites para la inicialización del modelo y mejorar la precisión de las simulaciones (Weather Research & Forecasting Model (WRF) | Mesoscale & Microscale Meteorology, s. f.).

Resultados

Análisis histórico comparado

Para evaluar los modelos climáticos regionales se utilizó la base reticulada (CRU) de la Universidad de East Anglia. Se analizó la correlación espacial, temporal y la variación entre el modelo en la simulación histórica respecto a lo observado en CRU, en ambos casos se obtuvieron coeficientes próximos a la unidad. Estos resultados son muy positivos porque entre otras cosas pueden interpretarse como:

- **Alta concordancia entre el modelo y la realidad:** Indica que el modelo climático regional está capturando de manera muy precisa los patrones espaciales y temporales de las variables climáticas que se están analizando. Es decir, el modelo está representando de forma realista dónde y cuándo ocurren los fenómenos climáticos (lluvias, sequías, olas de calor, etc.).
- **Fiabilidad en la simulación de procesos climáticos:** Sugiere que los procesos físicos que gobiernan el clima en la región están siendo representados de manera adecuada por el modelo. Esto incluye procesos como la circulación atmosférica, la interacción océano-atmósfera y los procesos de superficie.

- **Mayor confianza en las proyecciones futuras:** Un modelo que simula bien el pasado tiene una mayor probabilidad de proyectar de manera confiable los cambios climáticos futuros. Esto es crucial para tomar decisiones informadas sobre adaptación y mitigación del Cambio Climático.
- **Validez para estudios de impacto:** Un modelo con alta capacidad predictiva puede ser utilizado para evaluar los impactos del Cambio Climático en diversos sectores, como la agricultura, la energía y los recursos hídricos, entre otros.

Para evaluar la relación espacial entre los modelos y la base observacional se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, debido a la continuidad de los datos y para obtener una medición espacial de su correspondencia entre los valores de las medias mensuales para las variables de precipitación (*Pr*), temperatura máxima (*Tmax*) y temperatura mínima (*Tmin*). Por otro lado, la variación temporal se evaluó a través de la desviación estándar (*STD*). También se evaluó el ajuste de las medias mensuales de los modelos respecto al conjunto de datos observados a través del error cuadrático (*R2*).

En los resultados obtenidos (**Cuadro 13**) se encontró una mejor correlación espacial para (*Tmax* y *Tmin*) con valores próximos a la unidad, mientras que la correlación de la variable precipitación (*Pr*) es cercana a 0.5 lo cual indica una relación moderada entre los valores, lo cual puede ser indicio de una variabilidad espacial de la precipitación, lo que significa que no llueve de manera uniforme en la región. Por otra parte, en el análisis de correlación temporal (*STD*), se observa que la desviación estándar está en el rango de 2.6 a 3.2 para *Tmax* y *Pr*, mientras que para *Tmin* está entre 3.5 y 4.2 en términos climáticos esto puede indicar que los valores de estas normales fluctúan a lo largo del tiempo y que puede haber una mayor probabilidad de eventos extremos. Por otra parte, desde el punto de vista de este análisis se puede observar que hay un ajuste moderado de los modelos al simular *Tmax* y *Tmin* con valores de *R2* próximos a la unidad, mientras que en el caso de *Pr* el modelo GFDL se ajusta de mejor forma a los valores reales con un *R2* próximo a cero.

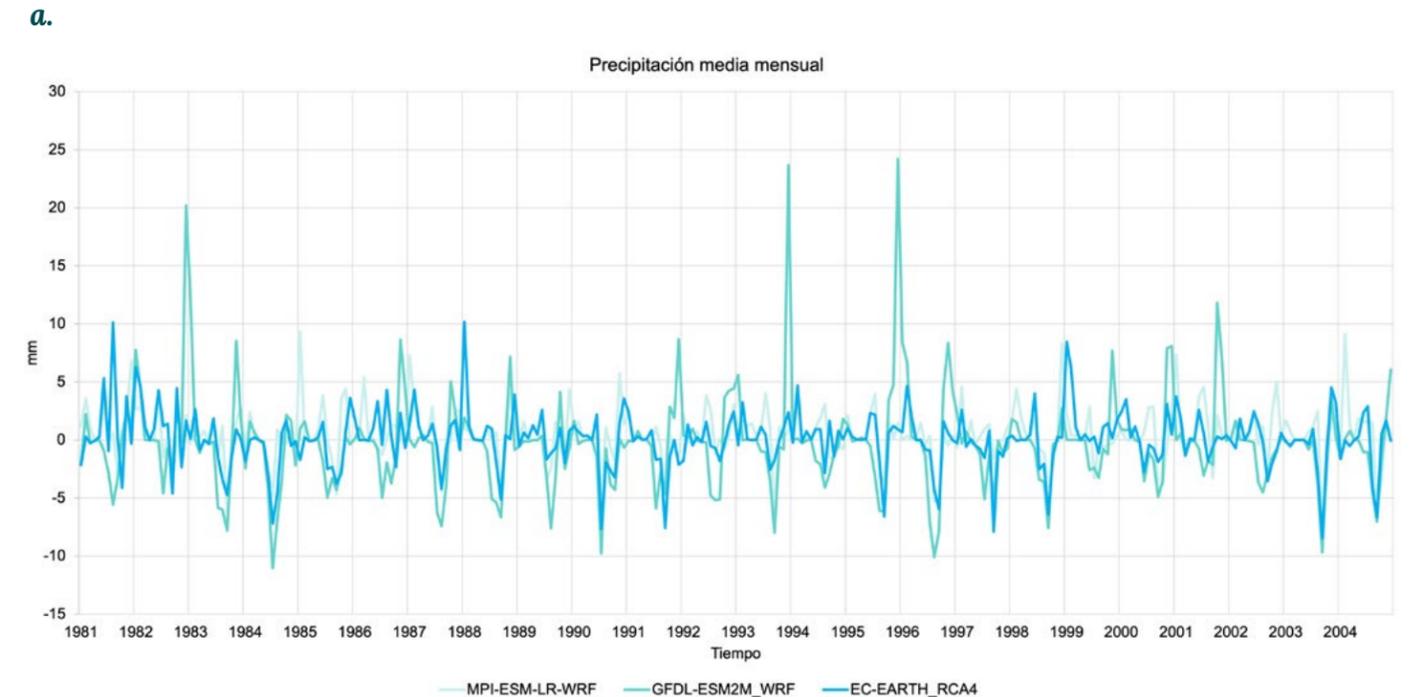
Cuadro 13. Desempeño de los modelos climáticos respecto a la base observacional de referencia a través de los coeficientes de correlación espacial, temporal y variabilidad. **Fuente:** Pares A.C.

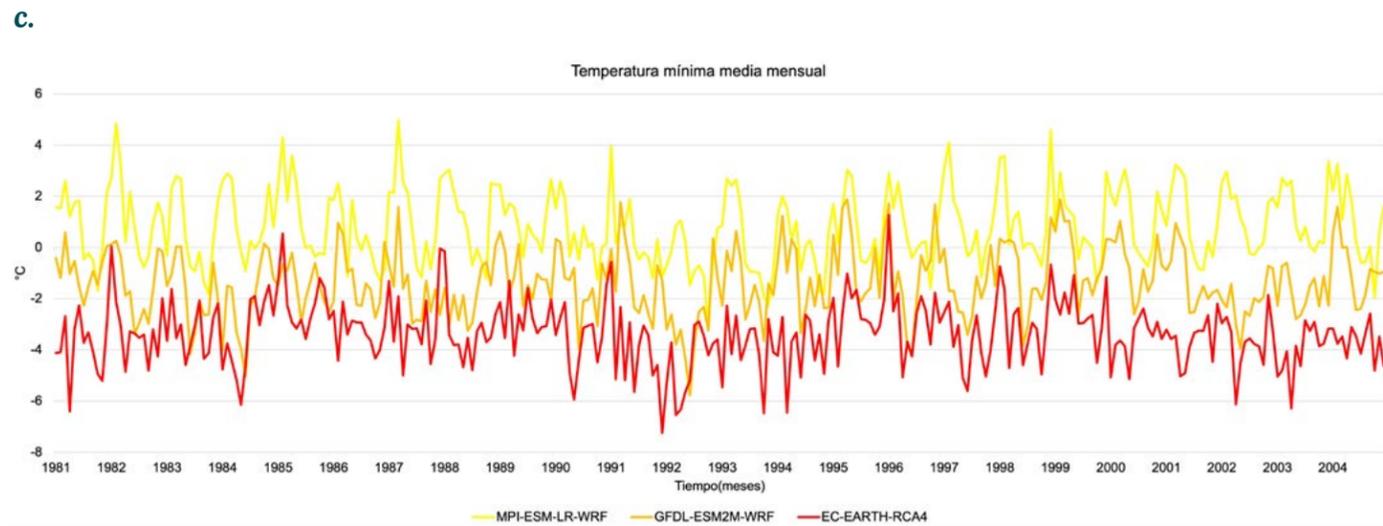
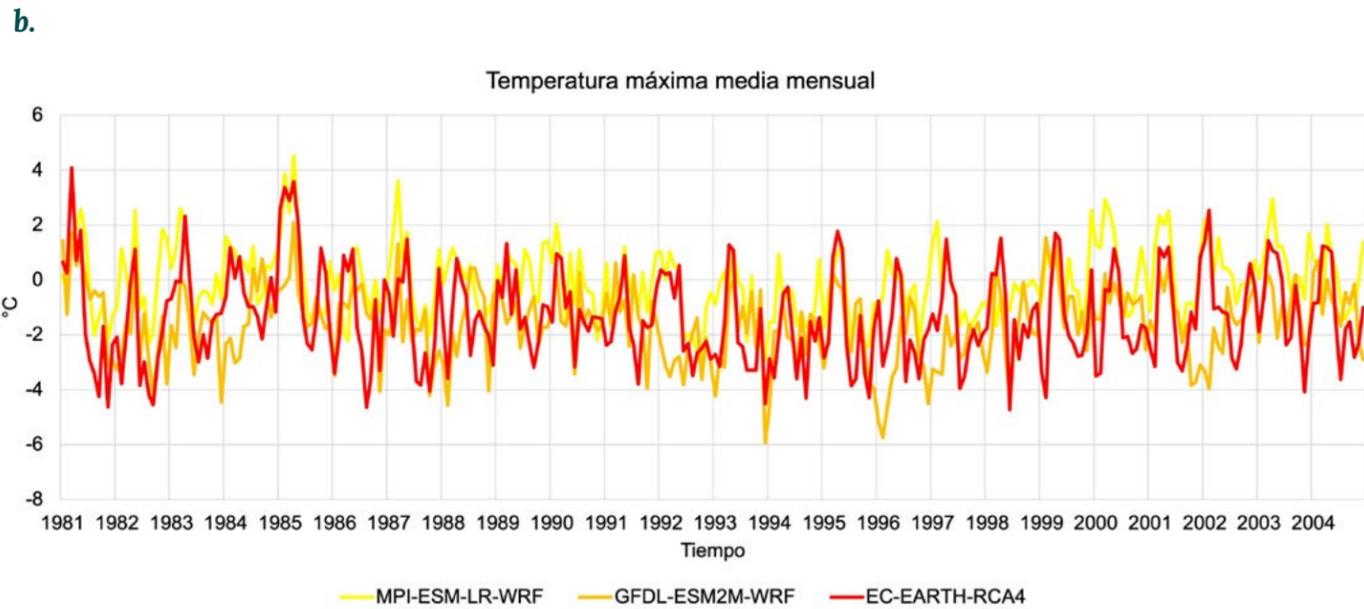
Temperatura máxima			
Relación	MPI VS CRU	GFDL VS CRU	EC-EARTH VS CRU
Entre grupos	0.894	0.901	0.815
Espacial	2.963	3.125	2.844
R2	0.800	0.813	0.664
Temperatura mínima			
Entre grupos	0.946	0.944	0.947
Espacial	3.496	3.692	4.219
R2	0.896	0.891	0.897
Precipitación			
Entre grupos	0.640	0.086	0.586
Espacial	2.772	3.072	2.654
R2	0.409	0.007	0.343

En términos generales, la representación de los modelos (simulación histórica), capta la variabilidad climática de los valores medios observados en el periodo 1981-2004, aunque presenta un ligero sesgo respecto a la precipitación (*Pr*), tal y como se observa en la **Gráfica 16**, el modelo GFDL-ESM2M-WRF arroja una ligera sobreestimación de la precipitación respecto de la media mensual; también se observó que se subestima la Temperatura mínima (*Tmin*) respecto a los datos observados, y en el caso de la Temperatura máxima (*Tmax*) se encuentran sesgos positivos mínimos respecto a los valores observados.

Por su parte el modelo MPI-ESM-LR-WRF es la simulación que más se aproxima a CRU; en terminos generales esto se explica porque el ensamble de modelos que se integran para realizar proyecciones futuras busca un balance entre los modelos que sobreestiman y los modelos que subestiman las variables en cada región.

Gráfica 16. Sesgos entre los modelos climáticos analizados y los valores medios en el periodo 1981-2004: a) *Pr*, b) *Tmax* y c) *Tmin*. **Fuente:** Pares A.C





Los modelos climáticos regionales, a pesar de su sofisticación, inherentemente presentan sesgos en la simulación de variables como la temperatura máxima, mínima y la precipitación. Estos desvíos sistemáticos entre los resultados del modelo y las observaciones reales son atribuibles a múltiples factores. Entre ellos destacan las incertidumbres inherentes a las ecuaciones que gobiernan los procesos climáticos, la calidad y cantidad de los datos de entrada, la simplificación de procesos a pequeña escala mediante parametrizaciones y las limitaciones en la representación de la variabilidad natural del clima.

Es fundamental reconocer que las proyecciones climáticas obtenidas a partir de estos modelos conllevan un grado de incertidumbre y que la presencia de estos sesgos no invalida la utilidad de los modelos climáticos, pero sí subraya la importancia de una evaluación crítica de sus resultados.

Downscaling

Con base en las simulaciones de los modelos seleccionados se obtuvo un archivo tipo ráster reticulado con resolución de 25x25km (**Figura 3**). Para mejorar su representación espacial en una escala local se optó por realizar un “Downscaling” estadístico multivariado, basado en modelos de aprendizaje automático, por medio de la herramienta “machispline” en el programa R v.4.1.2. Este método de ajuste por superficies o variable predictoras (como el efecto topográfico) permite proyectar de forma precisa la información disponible en una baja resolución sobre una escala regional, a partir de variables predictoras en alta resolución.

Machispline es un paquete de R diseñado específicamente para realizar *downscaling* estadístico. Esta técnica nos permite aumentar la resolución espacial de datos climáticos, es decir, pasar de datos climáticos a gran escala (como los proporcionados por modelos climáticos regionales) a datos climáticos a una escala mucho más detallada (como a nivel local).

La herramienta requiere de un tratamiento de los datos climáticos de baja resolución provenientes del modelo climático regional, que ofrecen información sobre variables climáticas como la temperatura y precipitación, pero a una escala espacial gruesa. Posteriormente, se toman en cuenta las variables predictoras de alta resolución que en este caso son variables que influyen en el clima como la elevación, la distancia a la costa, el uso de suelo, entre otras. Estas variables suelen estar disponibles a una resolución espacial mucho más detallada.

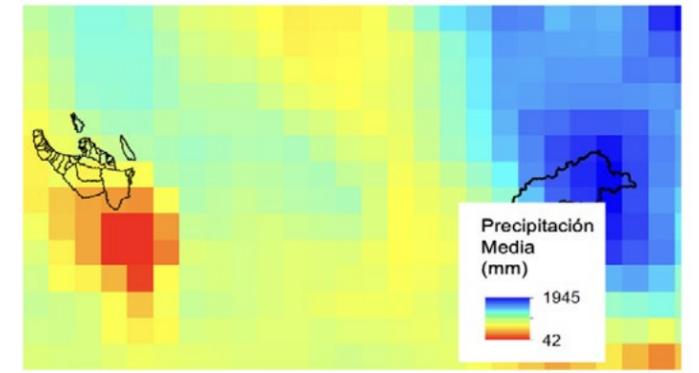


Figura 3. Precipitación media con resolución espacial de 25x25km. Fuente: Pares A.C

Machispline utiliza modelos estadísticos como *Splines* de placa delgada (*thin-plate*) para relacionar los datos climáticos de baja resolución con las variables predictoras de alta resolución, e incorpora técnicas de aprendizaje automático para mejorar la precisión y robustez de los modelos. Una vez entrenado el modelo, se pueden obtener los valores de las variables climáticas a una escala espacial mucho más fina (*Downscaling*), utilizando las variables predictoras de alta resolución como entrada. Para validar el modelo se compara la precisión de los datos (resultado del *Downscaling*) con los datos climáticos observados en lugares donde existan registros y se cuantifica la incertidumbre asociada a los datos resultado del *Downscaling* para tener una medida de la confianza de estos.

En el caso de la precipitación se utilizaron el Índice Topográfico de Humedad (TWI), el DEM, la dirección de flujo, la pendiente y la climatología de precipitación acumulada, mientras que para la temperatura se utilizó el DEM y la climatología de temperatura, en ambos casos para el periodo 1910-2010; se analizaron por medio de los algoritmos: *boosted regression trees* (BRT), *neural networks* (NN); *generalized additive model* (GAM), *support vector machine* (SVM) y *multivariate adaptive regression splines* (MARS) del *machispline*. Con ello se obtuvieron los mapas de precipitación y temperatura con una resolución espacial de 30 metros. (**Figura 4**).

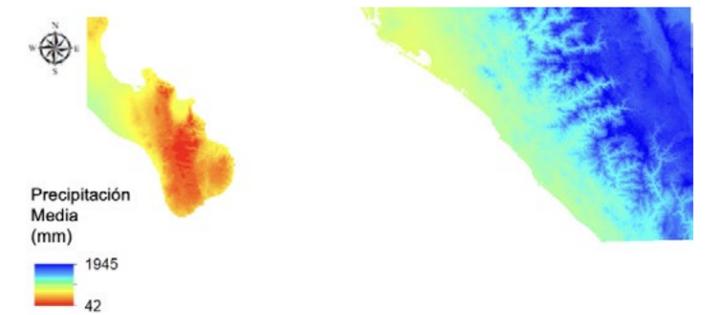


Figura 4. Precipitación media con resolución espacial de 30m. Fuente: Pares A.C.

Escenarios de Cambio Climático

Después de lo descrito anteriormente, se realizaron las simulaciones de escenarios de Cambio Climático. De acuerdo con las recomendaciones del sexto informe sobre Cambio Climático del IPCC (2021) se optó por simular los horizontes temporales 2030, 2050, 2070 y 2100; esta variedad de horizontes ofrece una perspectiva completa y detallada de los posibles impactos del Cambio Climático, permitiendo una mejor comprensión de los riesgos a corto, mediano y largo plazo.

El horizonte de corto plazo (2030) permite evaluar las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que se puedan implementar en el corto plazo y su efectividad en la preparación ante eventos climáticos extremos; por su parte el mediano plazo (2050) ofrece una visión de cómo podrían cambiar los sistemas naturales y sociales si se mantienen las tendencias actuales o si se implementan políticas más ambiciosas de adaptación que, por ejemplo, logren la integración de la infraestructura verde y las SbN en la planeación para el desarrollo de las ciudades. Y los escenarios de largo plazo (2070, 2100) permiten evaluar los impactos del cambio climático a largo plazo y los riesgos asociados a diferentes escenarios de emisiones.

Algunos de los beneficios de incluir estos horizontes temporales es que ayudan a comprender la evolución del Cambio Climático a lo largo del tiempo y los puntos de inflexión clave, además permiten a los tomadores de decisión desarrollar estrategias de adaptación a largo pla-

zo, facilitan la comparación de diferentes escenarios de emisiones y sus implicaciones en el futuro y, finalmente, permiten comunicar de manera clara los riesgos y oportunidades asociados al Cambio Climático. Sin embargo, es importante reconocer que las proyecciones climáticas están sujetas a incertidumbres y a medida que se extiende el horizonte temporal estas se magnifican.

Escenarios de Cambio Climático SSP2 RCP4.5 y SSP5-RCP8.5.

A continuación, se incluyen los resultados de las proyecciones a corto plazo (2030) mediano plazo (2050) y largo plazo (2070 y 2100), de la precipitación.

Como se puede apreciar en el **Cuadro 14**, en el escenario SSP2-RCP4.5 en el corto plazo (2030) se podrían presentar anomalías en la precipitación de alrededor de entre -2.6 y 10mm, si el clima se mueve en el rango de las anomalías positivas podría ser una oportunidad ya que teóricamente podría llover más en la región; por otro lado en el mediano plazo (2050) la situación podría tornarse compleja ya que se aprecian anomalías negativas del orden de -17.9mm mientras que en el largo plazo (2070 y 2100) se aprecia variabilidad en los resultados.

En el escenario SSP5-RCP8.5 los resultados muestran que en el corto plazo (2030) se podrían presentar anomalías positivas del orden de entre 3.5 y 20.6mm; en el mediano plazo (2050) se detectaron anomalías positivas del orden

Escenario	Horizonte temporal	Anomalía de precipitación (mm)
SSP2-RCP4.5	2030	-2.6 a 10.0
	2050	-17.9 a -2.0
	2070	2.6 a 10.5
	2100	-3.27 a -1.5
SSP5-RCP8.5	2030	3.5. a 20.6
	2050	0.3 a 5.0
	2070	-21.8 a -5.0
	2100	-15.5 a -8.0

Cuadro 14. Anomalías en la precipitación media anual en escenarios SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5. Fuente: Pares A.C.

de 0.3 y 5.0mm, mientras que en el largo plazo se confirma una tendencia negativa con anomalías del orden de -21.8 y -15.5mm en 2070 y 2100, respectivamente.

Implicaciones a Corto Plazo (2030):

Ambos escenarios sugieren un aumento en la variabilidad de las precipitaciones, lo que se traduce en una mayor frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones. Por otro lado, algunas regiones podrían experimentar sequías más intensas, especialmente en el escenario RCP8.5.

Implicaciones a Mediano Plazo (2050):

Ambos escenarios apuntan a una tendencia general hacia condiciones más secas, especialmente en el escenario RCP8.5. Las sequías podrían ser más prolongadas e intensas, con impactos significativos en la agricultura, la disponibilidad de agua y el funcionamiento de los ecosistemas, lo que destaca la importancia de implementar medidas de adaptación para hacer frente a la escasez de agua y ante posibles eventos extremos.

Implicaciones a Largo Plazo (2070 y 2100):

Los patrones de precipitación podrían cambiar de manera significativa, con consecuencias a largo plazo para los ecosistemas y la sociedad; el riesgo de eventos extremos podría ser mayor, lo que requerirá de inversiones significativas en infraestructura y sistemas de alerta temprana. La gestión del agua se volverá cada vez más compleja debido a una mayor variabilidad y disminución de la disponibilidad en algunas regiones.

En términos generales los resultados encontrados en el escenario SSP2-RCP4.5. indican que se podría esperar un cambio en la climatología, los impactos podrían ser menos severos en comparación con el escenario SSP5-RCP8.5, sin embargo, es importante destacar que incluso en este escenario, los posibles cambios en los patrones de precipitación podrían tener consecuencias importantes tanto a nivel de cuenca como en la ciudad de Mazatlán.

Por su parte, el escenario SSP5-RCP8.5 representa un futuro más desafiante, con cambios climáticos más pronunciados y riesgos mayores. Las sequías podrían ser más intensas y prolongadas, lo que requerirá de medidas de adaptación más ambiciosas.

Consideraciones específicas para la cuenca del río Presidio y la ciudad de Mazatlán

Las proyecciones de disminución de las precipitaciones, especialmente en escenarios de altas emisiones, representan una grave amenaza para la recarga de los acuíferos que alimentan al río Presidio. Esto podría agravar la situación actual de sobreexplotación y generar una disminución significativa en el caudal del río. A corto y mediano plazo, se espera una mayor competencia por el agua entre los diferentes usuarios (especialmente la agricultura y el consumo humano), lo que podría desencadenar conflictos y tensiones sociales. A largo plazo, la degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos y la pérdida de biodiversidad serían consecuencias inevitables si no se toman medidas urgentes para restaurar y proteger los recursos hídricos de la cuenca.

Para la ciudad de Mazatlán: Los cambios en los patrones de precipitación tendrán un impacto directo en la disponibilidad de agua para la ciudad. A corto plazo, se pueden esperar periodos de sequía más frecuentes e intensos, lo que podría limitar el suministro de agua potable y afectar actividades económicas como el turismo. A mediano y largo plazo, la escasez de agua podría convertirse en un problema crónico, requiriendo inversiones significativas en infraestructura de almacenamiento y tratamiento de agua, así como la implementación de medidas de eficiencia hídrica. Además, un posible aumento del nivel del mar asociado al Cambio Climático podría agravar los problemas de inundación en zonas costeras bajas y poner en riesgo infraestructura crítica.

Como se puede apreciar en los resultados consignados en el **Cuadro 15**, en el escenario SSP2-RCP4.5 a corto plazo (2030) se podrían presentar anomalías positivas en la temperatura de alrededor de 0.67 a 0.95°C, en el mediano plazo (2050) la situación podría tornarse aún más adversa ya que se aprecian anomalías positivas de entre 1.60 a 1.80°C, mientras que en el largo plazo el patrón ascendente continúa y presenta anomalías de entre 1.24 a 1.90°C y 1.90 a 2.50°C en 2070 y 2100, respectivamente.

Por otro lado, en el escenario SSP5-RCP8.5 en el corto plazo (2030) se podrían presentar anomalías del orden de 0.28 a 0.90°C, en el mediano plazo (2050) se detectaron anomalías positivas del orden de 1.4 a 2.12°C mientras que en el largo plazo se confirma una tendencia positiva con anomalías del orden 3.14 a 3.60°C en 2050 y de 4.90 a 5.20°C en 2100.

Escenario	Horizonte temporal	Anomalía de temperatura media (°C)
SSP2-RCP4.5	2030	0.67 a 0.95
	2050	1.60 a 1.80
	2070	1.24 a 1.90
	2100	1.90 a 2.50
SSP5-RCP8.5	2030	0.28 a 0.90
	2050	1.40 a 2.12
	2070	3.14 a 3.60
	2100	4.90 a 5.20

Cuadro 15. Anomalía en la temperatura media anual en escenarios SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5. **Fuente:** Pares A.C

Los resultados muestran un panorama claro del posible aumento en la temperatura media bajo los escenarios analizados. El SSP5-RCP8.5 con mayores emisiones arroja un calentamiento significativamente mayor en comparación con el SSP2-RCP4.5 especialmente a finales de siglo. Los rangos de las anomalías de temperatura que se encontraron cuentan con la incertidumbre inherente a las proyecciones climáticas debido a la complejidad del sistema climático y a las propias limitaciones de los modelos, por lo que deberán tomarse como una referencia y analizarse con cuidado.

Implicaciones del incremento de la temperatura

Para la cuenca del río Presidio, el incremento en las temperaturas tendrá consecuencias directas en el ciclo hidrológico. Un aumento en la evapotranspiración reducirá significativamente el caudal del río, afectando la disponibilidad de agua para diferentes usos. Esto podría generar conflictos por el acceso al agua entre los sectores agrícola, urbano y ambiental. Además, las altas temperaturas podrían intensificar los procesos de erosión y degradación de los suelos, disminuyendo la capacidad de la cuenca para retener agua y regular flujos, además de los impactos en la fertilidad del suelo y la consecuente sobrevivencia de los sistemas agrícolas actuales. A largo plazo, se espera una disminución en la biodiversidad y una mayor vulnerabilidad a sequías prolongadas.

En el caso de la ciudad de Mazatlán, las altas temperaturas aumentarán la demanda de agua potable, lo que podría generar escasez durante las temporadas de estiaje, además se podría favorecer la proliferación de vectores de enfermedades como mosquitos transmisores del dengue y el zika, así como un incremento en las olas de calor. Por su parte, la actividad turística, un pilar de la economía local, caracterizada por elevados índices en el consumo de agua per cápita se verá afectada por estos cambios, requiriendo inversiones significativas para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

Índices climáticos futuros

A fin de tener una mejor comprensión de los impactos del Cambio Climático a nivel urbano se calcularon los índices climáticos: cantidad de días húmedos (CWD), cantidad de días secos (CDD), precipitación extrema (Pr90p), días calurosos (Tx90p) y noches cálidas (Tn90p) para los escenarios de referencia SSP2-RCP4.5 y SSP5-RCP8.5 en los horizontes 2030, 2050, 2070 y 2100, encontrando los resultados que pueden verse en el **Cuadro 16**.

Tanto en el escenario SSP2-RCP4.5 como en el SSP5-RCP8.5 se observa un aumento en el número de días con temperaturas máximas y mínimas (Tx90p y Tn90p), especialmente hacia finales de siglo. Esto indica un posible calentamiento generalizado y una intensificación de las olas de calor.

En cuanto a la precipitación, los resultados sugieren una mayor variabilidad. Aunque el número total de eventos de precipitación extrema (Pr90p) no muestra una tendencia clara, la combinación de más días cálidos y eventos de precipitación extremos podían aumentar el peligro de inundación y sequías. Por su parte el número de días secos parece disminuir de 2030 a 2070 e incrementarse a finales de siglo en ambos escenarios.

Cuadro 16. Mapa de calor de los índices climáticos en escenarios de Cambio Climático. **Fuente:** Pares A.C

	RCP 4.5				RCP 8.5			
	2030	3050	2070	2100	2030	2050	2070	
CWD (días)	111.5	112.49	113.55	108.37	122.67	120.96	112.75	106.49
CDD (días)	308.49	307.51	306.45	311.63	297.33	299.04	307.25	313.51
Pr90p (eventos)	43.71	43.26	46.41	42.25	43.71	43.26	46.41	42.25
Tx90p (días)	48.74	65.98	75.8	79.17	55.05	78.81	108.75	131.05
Tx90P (noches)	48.71	60.00	66.06	67.68	51.57	66.66	82.86	98.04

El análisis del mapa de calor (**Cuadro 16**) indica una tendencia clara de aumento de la temperatura en ambos escenarios, lo cual es coherente con las proyecciones climáticas actuales. No obstante, los patrones de precipitación resultan más complejos y difíciles de interpretar. La variabilidad observada, incluso con resultados contraintuitivos en algunas simulaciones, sugiere que la respuesta de la precipitación al Cambio Climático es más compleja y menos lineal que la de la temperatura. Esta incertidumbre podría estar relacionada con las limitaciones de los modelos climáticos actuales en representar los procesos atmosféricos que controlan la precipitación a escala regional.

El aumento proyectado en las temperaturas máximas y mínimas, junto con cambios en los patrones de precipitación, tendrá consecuencias significativas para la región. Un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como olas de calor, sequías e inundaciones pondrá a prueba la infraestructura urbana y los ecosistemas locales. La disminución de la disponibilidad de agua dulce, combinada con un aumento en la demanda,

generará tensiones en los sectores agrícola, turístico y urbano. Además, el aumento del nivel del mar representa una amenaza para las zonas costeras bajas y las actividades económicas asociadas, como la pesca y el turismo.

Los sectores económicos de Mazatlán son altamente vulnerables a estos cambios. La actividad turística, que es el motor económico de la ciudad, se verá afectada por la disminución de la calidad de las playas, la erosión costera y la intensificación de eventos climáticos extremos como huracanes y tormentas tropicales. La agricultura, especialmente la de temporal, sufrirá las consecuencias de la sequía y la salinización de los suelos. La pesca también se verá impactada por cambios en la distribución de las especies marinas y la acidificación de los océanos.

Es fundamental que Mazatlán implemente estrategias de adaptación y mitigación para hacer frente a estos desafíos y garantizar su desarrollo sostenible a largo plazo.

Para la cuenca del río Presidio, el incremento en las temperaturas tendrá consecuencias directas en el ciclo hidrológico. Un aumento en la evapotranspiración reducirá significativamente el caudal del río, afectando la disponibilidad de agua para diferentes usos.

Fotografía: *Canva*



Análisis de vulnerabilidad

El presente estudio para evaluar la vulnerabilidad socioambiental de la ciudad de Mazatlán es sinérgico con las declaraciones de la Agenda Urbana 2017, así como de la Agenda 2030, dado que apunta a construir resiliencia y reducir la vulnerabilidad climática mediante enfoques de adaptación al Cambio Climático como el basado en Ecosistemas (AbE) y las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). A fin de lograr acuerdos que orienten la toma de decisiones actuales y futuras, este estudio se basa en procesos participativos para la toma de decisiones en los que se espera puedan participar los gobiernos nacional, subnacional y local, además de la academia, el sector privado, Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) y los ciudadanos.

5.1. Marco conceptual

En este análisis se utiliza el criterio del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) que define la vulnerabilidad ante el Cambio Climático como “el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del Cambio Climático”, incluyendo además la variabilidad y los fenómenos extremos. La evaluación de la vulnerabilidad debe tratar de responder a preguntas fundamentales como: ¿quién o qué es vulnerable?; ¿a qué se es vulnerable?; su grado de vulnerabilidad; las causas que lo hacen vulnerable y ¿cómo se puede disminuir dicha vulnerabilidad?

La evaluación de la vulnerabilidad actual se considera la línea base para comparar los resultados que se obtendrán de

la modelación de escenarios futuros de Cambio Climático e identificar como se modifica la vulnerabilidad, además de evaluar el impacto en las ciudades, los sectores de interés de sus habitantes, los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que prestan mediante una perspectiva de cuenca, para identificar y priorizar medidas de adaptación al Cambio Climático que apoyen a enfrentar, en particular, el estrés hídrico que ya sufren en la actualidad estas ciudades.

5.2. Región de estudio en el contexto de cuenca

El análisis se abordará con un enfoque de cuenca que permita la apropiada toma de decisiones y el escalamiento de las medidas que apunten a dar solución a la problemática relacionada con el clima en un contexto más amplio, así como a otros instrumentos de planeación municipales, estatales y federales (Planes y programas de desarrollo urbano, ordenamiento ecológico del territorio, de adaptación al Cambio Climático, entre otros).

El estudio se divide en dos escalas distintas, la primera a nivel de la cuenca del río Presidio, que abastece de agua a la ciudad de Mazatlán y la segunda a nivel de la zona urbana y las tres subcuencas que la rodean y que atraviesan la ciudad desembocando al mar a través de los esteros –de norte a sur– La Escopama, El Sábalo, Urías-El Infiernillo. Cabe destacar que el área seleccionada a nivel ciudad considera el polígono denominado centro de población proporcionado por el IMPLAN Mazatlán (**Figura 21**).

Evaluación de la Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

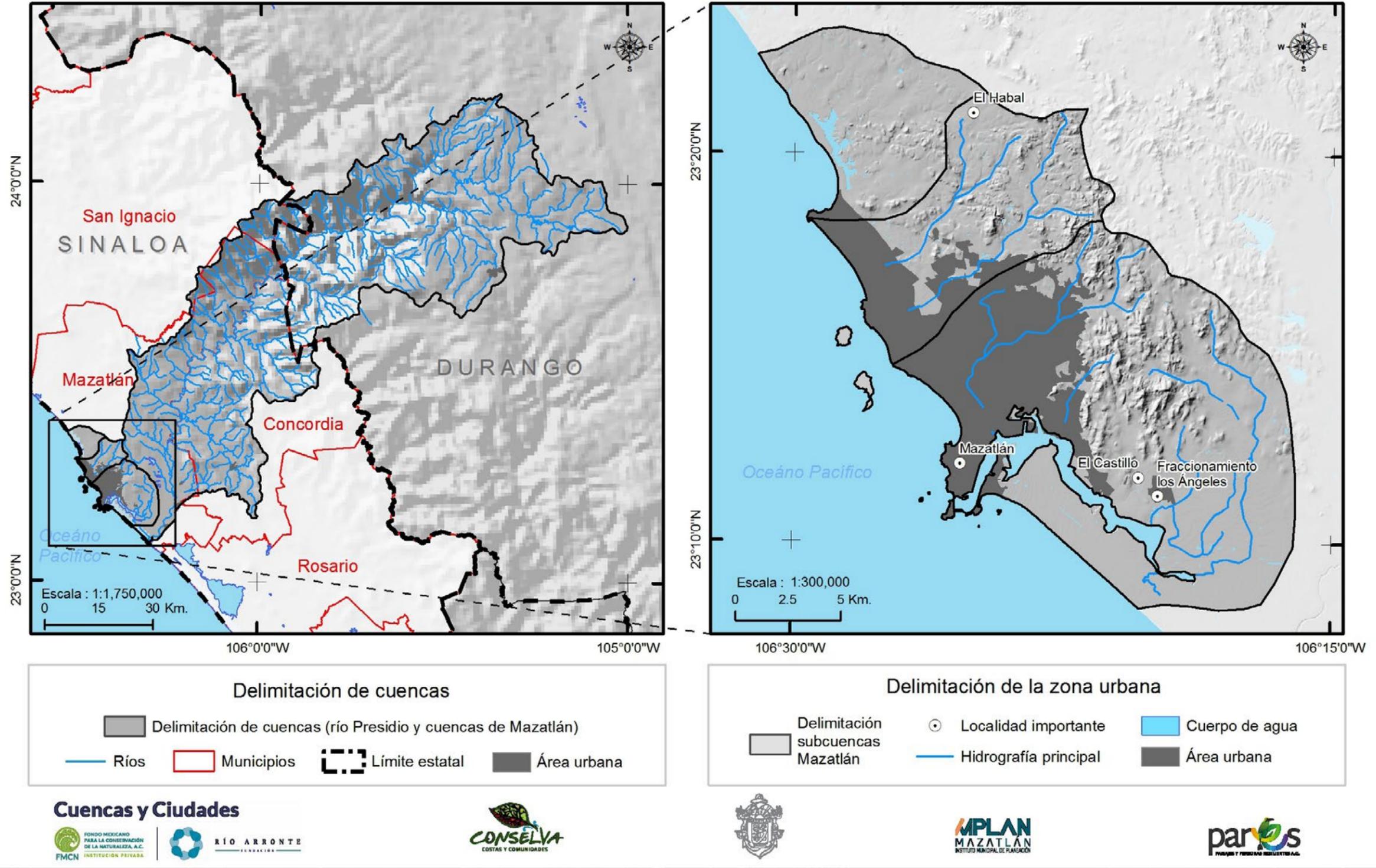


Figura 21 Área de estudio en el contexto de cuenca y zona urbana. Fuente: Pares A.C..

5.3. Recopilación y análisis de la información de contexto

Para conocer la situación actual de Mazatlán en el contexto del análisis de vulnerabilidad socioambiental, se ha recopilado información de múltiples fuentes, incluyendo bibliografía científica, hemerografía local y nacional, así como datos obtenidos de actores clave del proyecto Cuencas y Ciudades. Este enfoque multidimensional busca no solo validar la percepción que tanto los ciudadanos como las instituciones locales tienen sobre los impactos climáticos, sino también contrastar dichas percepciones con información técnica relevante. Es fundamental confirmar estas percepciones con datos sólidos, ya que esto permite profundizar en el conocimiento de los peligros y sus impactos, además de generar un marco referencial que identifique las zonas históricamente afectadas por eventos climáticos extremos, como huracanes e inundaciones.

La integración de un sistema de información geográfica (SIG) para modelar peligros y exposición permite una representación visual clara de las áreas en riesgo, facilitando la comprensión para los tomadores de decisiones y la población en general. Esta modelación geográfica proporciona una herramienta crítica para visualizar cómo los fenómenos climáticos interactúan con el paisaje urbano, las cuencas hidrográficas y las comunidades locales, lo que mejora significativamente la planificación de acciones preventivas y adaptativas. La importancia de este análisis radica en su capacidad para generar una base de datos sólida que, al estar respaldada por la percepción comunitaria y la modelación geoespacial, fortalece la toma de decisiones y fomenta la resiliencia frente a los impactos del Cambio Climático en Mazatlán.

El propósito central de trabajar estos componentes es el de iniciar una exploración del comportamiento de variables que potencialmente puedan ser incorporadas en la construcción del índice de sensibilidad socioeconómica a nivel de AGEB urbanas y rurales, así como de la vulnerabilidad sectorial y desde luego, nos permite también tener una imagen aproximada del municipio. Cuando se llegue a la construcción del índice de sensibilidad y la vulnerabilidad de los sectores se seleccionarán entre todas estas variables las que aporten la información necesaria para el análisis.

A continuación, una síntesis de la información obtenida, fundamentalmente a nivel municipal, la cual brinda el contexto para los análisis antes descritos.

La ciudad de Mazatlán se localiza en la porción suroccidental del Estado de Sinaloa con una altitud que oscila entre los 0 y los 150 m.s.n.m. colinda al norte y este con el Municipio de San Ignacio, así como con el Estado de Durango y el Municipio de Concordia, al sur con los Municipios de Concordia, Rosario y el Océano Pacífico, al oeste con el Océano Pacífico y el Municipio de San Ignacio (CONAGUA, 2015).

Por su ubicación frente al Océano Pacífico, la ciudad de Mazatlán está expuesta a los impactos de fenómenos hidrometeorológicos (como ciclones y huracanes), los que provocan intensas precipitaciones e inundaciones en gran parte de la ciudad. Estas inundaciones se deben a que –a excepción de unas cuantas elevaciones naturales– en promedio la ciudad se encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar” (Vences, Macedo L; Manríquez García, 2022) además de que se han modificado drásticamente los esteros en su ruta de salida hacia el mar.

El crecimiento de la mancha urbana y los desarrollos turísticos asociados a la zona costera no han estado orientados por un plan de desarrollo territorial que considere el funcionamiento del sistema hidrológico (lagunas, microcuencas, esteros y canales pluviales) ni los posibles impactos del Cambio Climático en la ciudad y su entorno rural (**Figura 22**).

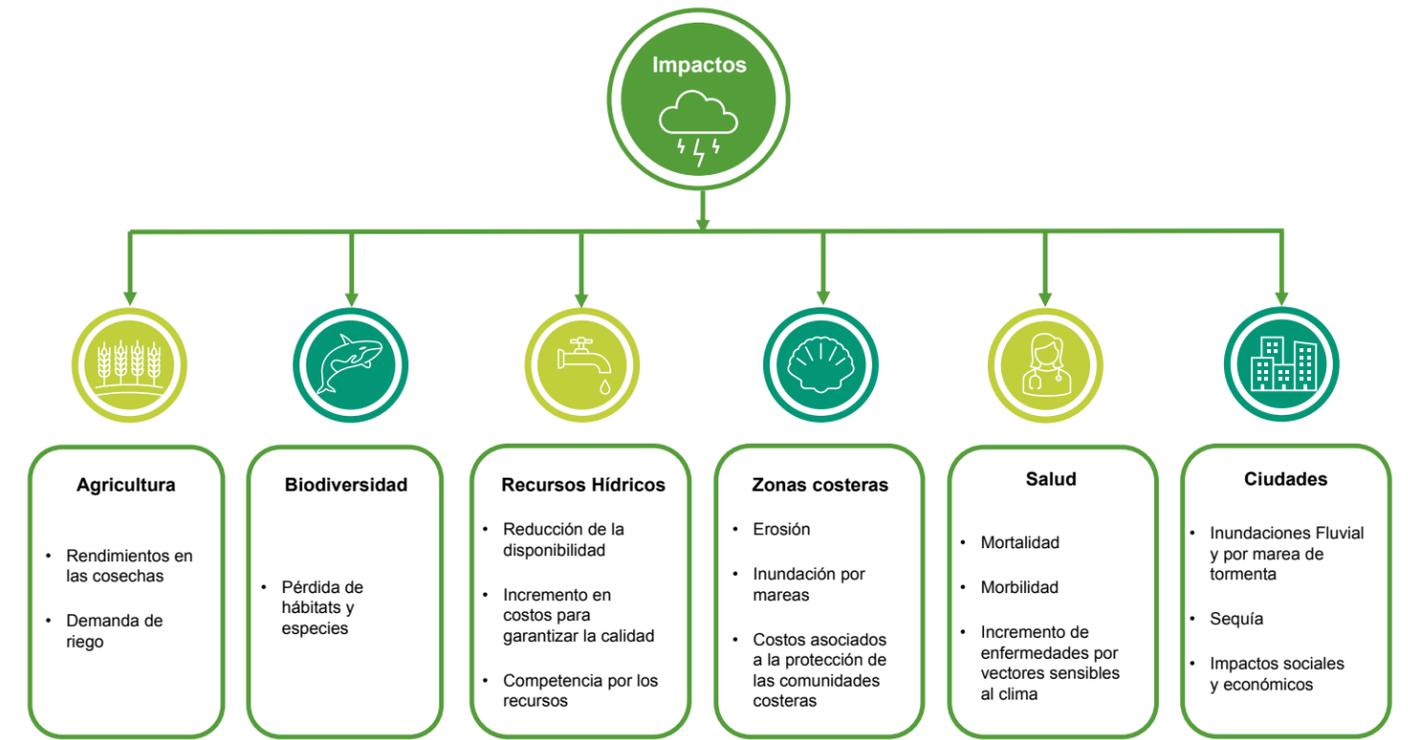


Figura 22. Impactos del Cambio Climático. **Fuente:** Pares A.C. con información del análisis de información disponible para Mazatlán.

El crecimiento de la mancha urbana y los desarrollos turísticos asociados a la zona costera no han estado orientados por un plan de desarrollo territorial que considere el funcionamiento del sistema hidrológico (lagunas, microcuencas, esteros y canales pluviales) ni los posibles impactos del Cambio Climático en la ciudad y su entorno rural.

5.3.1. Características relevantes del medio físico y biológico

A partir de la información disponible en diversos estudios previos a nivel municipal y local, se sintetizan algunas de las características más importantes del sistema físico-biológico que se consideran para la modelación, las cuales serán ampliadas y detalladas al identificar y evaluar los principales peligros ante el Cambio Climático y el grado de exposición (Cuadro 17)

Cuadro 17. Características relevantes del medio físico y biológico. **Fuente:** Pares A.C. con datos de IMPLAN 2020; SECTUR, 2014; Beraud, et. al, 2009, INEGI, 2021.

Componente	Aspectos relevantes
Relieve	En promedio la ciudad se encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo que propicia que durante el verano se registren inundaciones en numerosos espacios. En su porción central la ciudad está rodeada por pequeñas serranías no mayores a los 210 msnm.
Hábitats costeros urbanos	<p>Mazatlán ha estado rodeado de ecosistemas acuáticos en donde los esteros, lagunas y la bahía ejercieron una importante influencia en las actividades productivas de sus habitantes. En los esteros, la existencia de manglares ha sido considerada un obstáculo para el desarrollo urbano por los inversionistas y las autoridades municipales, estatales y federales.</p> <p>En la zona suroeste de la ciudad se observan llanuras de inundación y pantanos alineados paralelos a la costa, mientras que en el sureste las topoformas están conformadas por una meseta aluvial, así como zona de esteros, las cuales no presentan desarrollo de lomeríos importantes. Entre los principales esteros, lagos y lagunas resaltan los esteros de la Escopama, Yugo, Infiernillo y Estero de Urías, así como la laguna del Camarón.</p> <p>Las playas de Mazatlán se encuentran parcialmente protegidas por las islas Pájaros, Venados y Lobos, solo en el sur se presenta una costa abierta.</p>
Suelos	Predominan los regosoles éutricos de diferentes texturas, caracterizados por su bajo contenido en nutrientes y materia orgánica, por lo que la fertilidad es baja y son susceptibles a la erosión.
Hidrología	<p>El río Presidio que recibe numerosos afluentes en su recorrido, es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua a través de la presa Picachos. Existen otros embalses menores que junto con el río Quelite forman parte de los recursos hidrológicos del municipio.</p> <p>En la zona urbana destaca el arroyo Jabalines por las recurrentes afectaciones a la ciudad.</p>
Acuífero Mazatlán	<p>De acuerdo con Zapién (2022), el acuífero del río Presidio en Mazatlán se encuentra sobreexplotado, pues la extracción de agua para uso agrícola y humano ha sido mayor a la capacidad de recarga natural del subsuelo, que se genera por la infiltración de las lluvias y escurrimientos, según información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023).</p> <p>El riesgo de sobreexplotación de las aguas subterráneas ya se había advertido desde 1962, cuando se decretó una veda por tiempo indefinido que limitó la extracción de agua del subsuelo en la porción costera que corresponde a Mazatlán. A partir de ese año la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Mazatlán (JUMAPAM) dejó de extraer agua del acuífero para surtir la ciudad y en su lugar empezó a utilizar agua de la presa Picachos, para entonces el acuífero ya presentaba signos de abatimiento.</p> <p>En 2016 la CONAGUA publicó resultados de estudios técnicos en los que se advertía una reducción en el agua superficial del río a causa de sequías severas, lo que a su vez aumentó la demanda de aguas subterráneas para consumo humano, uso agrícola y otras actividades productivas.</p>

Componente	Aspectos relevantes																												
Acuífero Mazatlán	También se anticipó la sobreexplotación del manto freático con consecuencias negativas para la población y el medio ambiente. En 2020 la misma dependencia actualizó el estudio e indicó que no existe volumen de agua disponible para otorgar nuevas concesiones, por el contrario, el acuífero tiene un déficit de 1,465.744 hm ³ anuales, mismos que se extraen a costa del almacenamiento no renovable del acuífero, finalmente en 2024 la misma dependencia incrementó el déficit en 2, 210.82 hm ³ anuales. A pesar de que este estudio no profundiza en el análisis de las aguas subterráneas, es fundamental conocer la situación del acuífero y considerar acciones de adaptación al Cambio Climático que apoyen la recuperación de este.																												
Condiciones climáticas	<p>Predominan el cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (59.29%) y el semiseco muy cálido y cálido (27.22%).</p> <p>La temperatura máxima histórica registrada es de 48.9°C (29 de abril de 1987). La temperatura mínima registrada es de 1.9°C (01 de marzo de 1997).</p> <p>La precipitación acumulada anual se estima en 859.50 mm.</p> <p>La precipitación máxima histórica acumulada en 24 horas (17 de octubre de 2006) con 189.5.0 mm, mientras que la precipitación máxima histórica acumulada en una hora se registró el 23 de agosto de 1996. La lámina media de evaporación anual es de 289.10 mm, siendo el mes de septiembre cuando se presenta la máxima evaporación mensual promedio. La evapotranspiración en la zona urbana de Mazatlán es de alrededor de 700 mm por año, aunque la fuente de esta información no precisa si se consideró o no el efecto de las áreas impermeables en las zonas urbanas, se contrastó con el análisis de Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz, (2021) en el que se indica que la evapotranspiración en esa zona oscila entre 1001 y 1200mm al año aunque tampoco precisa si se incluyen o no las superficies impermeables.</p>																												
Vegetación y usos del suelo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Uso del Suelo</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>asentamientos urbanos</td> <td>36.49%</td> </tr> <tr> <td>agricultura temporal anual</td> <td>29.11%</td> </tr> <tr> <td>selva baja espinosa caducifolia secundaria</td> <td>7.60%</td> </tr> <tr> <td>pastizal cultivado</td> <td>6.85%</td> </tr> <tr> <td>selva baja caducifolia</td> <td>5.91%</td> </tr> <tr> <td>selva baja caducifolia secundaria arbustiva</td> <td>4.56%</td> </tr> <tr> <td>agricultura temporal permanente</td> <td>3.80%</td> </tr> <tr> <td>cuerpos de agua</td> <td>2.47%</td> </tr> <tr> <td>agricultura de humedad anual</td> <td>2.03%</td> </tr> <tr> <td>agricultura temporal anual y permanente</td> <td>0.77%</td> </tr> <tr> <td>pastizales inducidos</td> <td>0.18%</td> </tr> <tr> <td>manglar</td> <td>0.14%</td> </tr> <tr> <td>suelos desnudos</td> <td>0.10%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Gráfica 17. Vegetación y usos del suelo (% en el territorio). Fuente: Pares A.C. con datos de la serie 7 INEGI, 2021.</p>	Uso del Suelo	Porcentaje	asentamientos urbanos	36.49%	agricultura temporal anual	29.11%	selva baja espinosa caducifolia secundaria	7.60%	pastizal cultivado	6.85%	selva baja caducifolia	5.91%	selva baja caducifolia secundaria arbustiva	4.56%	agricultura temporal permanente	3.80%	cuerpos de agua	2.47%	agricultura de humedad anual	2.03%	agricultura temporal anual y permanente	0.77%	pastizales inducidos	0.18%	manglar	0.14%	suelos desnudos	0.10%
Uso del Suelo	Porcentaje																												
asentamientos urbanos	36.49%																												
agricultura temporal anual	29.11%																												
selva baja espinosa caducifolia secundaria	7.60%																												
pastizal cultivado	6.85%																												
selva baja caducifolia	5.91%																												
selva baja caducifolia secundaria arbustiva	4.56%																												
agricultura temporal permanente	3.80%																												
cuerpos de agua	2.47%																												
agricultura de humedad anual	2.03%																												
agricultura temporal anual y permanente	0.77%																												
pastizales inducidos	0.18%																												
manglar	0.14%																												
suelos desnudos	0.10%																												
Áreas naturales protegidas	<ul style="list-style-type: none"> Islas del Golfo de California Sitio Ramsar Laguna Huizache-Caimanero Sitio Ramsar Playa Tortuguera el Verde Camacho 																												
Batimetría	El puerto de Mazatlán cuenta con una plataforma continental amplia, de aproximadamente 25 km. Al norte de Mazatlán, frente a Punta Piaxtla, la plataforma continental tiene amplitud de 32 km.																												

5.3.2. Principales fenómenos hidrometeorológicos que han afectado a Mazatlán

La incidencia directa de la trayectoria de los huracanes que azotan al Pacífico mexicano es un fenómeno que no es extraño visualizar en el espacio territorial de la ciudad de Mazatlán, ya que, a esta ubicación se contabilizan al menos 9 impactos directos de huracanes, siendo Olivia en 1975 el que presentó mayores efectos destructivos.

Mazatlán está expuesto a los embates producidos por fenómenos naturales como son los ciclones y las precipitaciones pluviales extraordinarias que traen consigo inundaciones en gran parte de la ciudad, mismas que se

encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar, aunado a las deficiencias en los drenajes fluviales, a la invasión de los cauces de los arroyos, y de acuerdo con IMPLAN Mazatlán (2024), muy especialmente a la falta de obras hidráulicas para el control de las crecientes que se originan en los arroyos que cruzan la ciudad (**Cuadro 18**).

En este estudio se analizaron a detalle los impactos climáticos que más han afectado a la ciudad de Mazatlán y su entorno rural. En el **Cuadro 19** se presenta un resumen de los eventos climáticos extremos recientes y sus consecuencias en la ciudad de Mazatlán.

Cuadro 18. Algunos de los principales eventos hidrometeorológicos y su impacto en Mazatlán. Fuente: Pares A.C. con información de las fuentes referidas.

Huracán y Tormenta Tropical (T.t.)	Fecha	Daños	Ubicación	Fuente de información
Naomi	9-14 sep, 1968.	Huracán categoría 1. Vientos sostenidos de 140km/h, interrupción de comunicaciones e Inundaciones y daños por ≥ \$ 16 millones (1968 USD)	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. Durango Texas 	https://es.wikibrief.org/wiki/Hurricane_Naomi
Olivia	24 -25 oct, 1975.	Categoría 3. Los vientos registrados en la ciudad de Mazatlán fueron de 222km/h. Afectación de 7,000 viviendas en Mazatlán y 14 pueblos cercanos. 10,000 viviendas afectadas con diferentes niveles de daños. Pérdidas por mas de 100 millones de pesos. Mazatlán se declaró zona de desastre.	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	Servicio Meteorológico Nacional (SMN) https://es.scribd.com/document/452682988/Hurricane-Olivia
Roslyn	16-22 oct, 1986.	El 19 de octubre alcanzó vientos máximos de 145 mph (233 km/h), produjo algunas inundaciones. Se evacuaron más de 2000 personas en áreas costeras vulnerables.	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Roslyn_(1986)
Lidia	8-14 sep, 1993.	Antes de tocar territorio sinaloense este huracán alcanzó categoría 2 y llegó a categoría 4. Presentó vientos sostenidos de hasta 240km/h. Mazatlán quedó incomunicada por tierra y sin agua. Provocó daños por mas de \$ 8 millones.	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	SMN https://es.wikibrief.org/wiki/Hurricane_Lidia_%281993%29
Kenna	22-26 oct, 2002.	Este fenómeno alcanzó categoría 5, con vientos sostenidos de 270 km/h	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	SMN

Huracán y Tormenta Tropical (T.t.)	Fecha	Daños	Ubicación	Fuente de información
Nora	1-9 oct, 2003.	El ciclón se debilitó rápidamente al llegar a tierra al norte de Mazatlán con vientos sostenidos de 120km/h. No hubo ningún daño significativo. Entre el 8 y 9 de octubre a 20 km al Sur-Sureste de la población Cruz de Elota, Sinaloa se encontraba con vientos máximos sostenidos de 45km/h y rachas de 65km/h	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	SMN
John	31 ago, 2006.	Autoridades de Protección Civil emitieron una alerta en los Municipios de Concordia, Elota, Escuinapa, El Rosario y Mazatlán por la trayectoria que mantuvo John. Con vientos máximos sostenidos de 205 km/h y ráfagas de 250, causó olas de más de cuatro metros de altura.	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	SMN El Universal https://reliefweb.int/report/mexico/el-hurac%C3%A1n-john-perdi%C3%B3-fuerza-y-caus%C3%B3-pocos
Lane	21 sep, 2006.	En este huracán se registraron vientos sostenidos de 205km/h. El fenómeno provocó daños en 91 poblados, 150 mil damnificados, más de 10,000 personas desalojadas de inundaciones por desbordamiento de 16 ríos. Destruyó los puentes Las Flores en la carretera México 15 y el ubicado en el kilómetro 95 de la Maxipista Culiacán Mazatlán, fueron destruidos por las fuertes corrientes de agua. 8 mil habitantes de 68 comunidades del estado de Sinaloa se encontraban incomunicados debido a las inundaciones ocasionadas por este huracán. Se repórtaron daños severos en 2 mil 732 kilómetros de 213 caminos vecinales, de los cuales 570 kilómetros pertenecen a Mazatlán, y el resto a los Municipios de Concordia, Cosalá, Culiacán, Escuinapa y Elota. Los daños en Sinaloa causados por el huracán Lane superan 55 millones de dólares sólo en la agricultura, pesca, acuicultura y otras actividades productivas.	<ul style="list-style-type: none"> Concordia Elota Escuinapa El Rosario Mazatlán 	El Universal https://www.jornada.com.mx/2006/09/20/index.php?section=estados&article=045n2est
Jimena	31 ago, 2009.	Los puertos de Mazatlán y Topolobampo fueron cerrados a la navegación ante los primeros oleajes, lluvias y vientos provocados por el huracán Jimena que aumentó su capacidad de destrucción a categoría 5 en la escala Saffir-Simpson. Produjo daños por US\$ 59,8 millones.	<ul style="list-style-type: none"> Mzatlán Topolobampo 	El Universal https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Jimena_(2009)

Huracán y Tormenta Tropical (T.t.)	Fecha	Daños	Ubicación	Fuente de información
Rick	23 oct, 2009	Los puertos de Mazatlán y Teacapan, en Escuinapa, Sinaloa, fueron cerrados a la navegación menor por el paso de Rick que alcanzó categoría 5, con vientos de hasta 315 km/h. En Mazatlán produjo daños en la red de agua potable y de electrificación, por lo que un 60 por ciento de las colonias estuvieron sin servicio del líquido y otro 40 por ciento sin energía eléctrica. Rick causó más de \$10 millones (2021 USD) en daños	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Teacapan Escuinapa 	<p>La Jornada</p> <p>https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Rick_(2021)</p>
T.T. Javier	2016.	Cierre de playas. Inundaciones en Av. Camarón Sábalo, Insurgentes, Internacional y Primavera	<ul style="list-style-type: none"> Mazatlán, Sinaloa. 	https://www.milenio.com/estados/tormenta-tropical-javier-cierran-playas-sinaloa-puertos-bcs
Willa	20-24 oct, 2018.	Inundaciones en todo el estado de Sinaloa. Dejó 13.000 evacuados y severos daños materiales		https://elpais.com/internacional/2018/10/23/actualidad/1540304377_617181.htm

5.3.3. Infraestructura de protección contra inundaciones

El Municipio de Mazatlán cuenta con una serie de obras de infraestructura para protección ante eventuales inundaciones y para abastecimiento de agua a diversos usos. Destacan:

- **Presa de almacenamiento Picachos.** sus principales funciones son para riego (22,500 hectáreas), suministro de agua a la ciudad de Mazatlán (3.0 m³/s), y control de avenidas. La capacidad de la presa es de 437.9 Mm³. Se le asignó al Distrito de Riego (DR11) un total de 327.7 Mm³. A los Municipios de Mazatlán 94.6 Mm³/año y Concordia 2.6 Mm³ y un 12.9 Mm³ a caudal ecológico.
- **Presa derivadora Siqueros.** Su principal propósito es la derivación de las aguas del río Presidio a los canales principales para el riego en el sistema Baluarte Presidio (22,300 hectáreas).
- **Presa de almacenamiento Los Horcones (conocida como Escamilla).** Se ubica sobre el Arroyo Los Horcones, su propósito es aprovechar los escurrimientos del arroyo Los Horcones y almacenar un volumen total de 14 hm³, a efecto de regar una superficie de 1,049 hectáreas. A un gasto de 5.63 m³/s.

5.3.4. Características relevantes del medio socioeconómico

En el componente social el estudio aborda la distribución de la población en las localidades, su dinámica histórica considerando los movimientos migratorios, y sus componentes étnicos. Se tratan aspectos de las viviendas como la disposición de servicios públicos, de bienes muebles y tecnologías de información y comunicación. Se describen asimismo la asistencia y el nivel de escolaridad de la población, y la cobertura de servicios de salud para la población en general y para aquellos que padecen alguna discapacidad o limitación en su salud. Todo ello se basa particularmente en el censo de población y vivienda 2020 de INEGI.

El propósito central de trabajar estos componentes es el de iniciar una exploración del comportamiento de variables que potencialmente puedan ser incorporadas en la construcción del índice de sensibilidad socioeconómica a nivel de áreas geoestadísticas representativas (AGEB) urbanas y rurales, desde luego, nos permite también tener una imagen aproximada del municipio. Los componentes del medio social y económico que se describen a continuación (**Cuadro 20**) son los que se utilizarán en la construcción del indicador de sensibilidad socioeconómica.

IMPACTOS Y CONSECUENCIAS

Marea de tormenta, elevación del nivel del mar, inundación fluvial y refracción de oleaje

- Inundaciones, daños a la población, a la infraestructura, a la economía y al medio ambiente
- Erosión costera, pérdida de playas y daños a la infraestructura costera
- Inundación de zonas bajas (turísticas y habitacionales urbanas), carreteras y accesos
- Afectaciones en las vías férreas y puentes, así como en la navegación marítima y aérea
- Contaminación de suelos y acuíferos
- Destrucción de barreras naturales (manglares)
- Pérdida y contaminación de humedales
- Aumento en la abundancia de especies exóticas e invasoras
- Afectación a los asentamientos humanos próximos o en cauces fluviales
- Exceso de residuos arrastrados por el oleaje, ríos y la marea de tormenta.

Vientos extremos

- Derribo de espectaculares, daños a construcciones en techos y cristales
- Derribo de árboles y arbustos
- Afectaciones a las redes: eléctrica, telefónica e internet
- Derrumbes en vías de comunicación

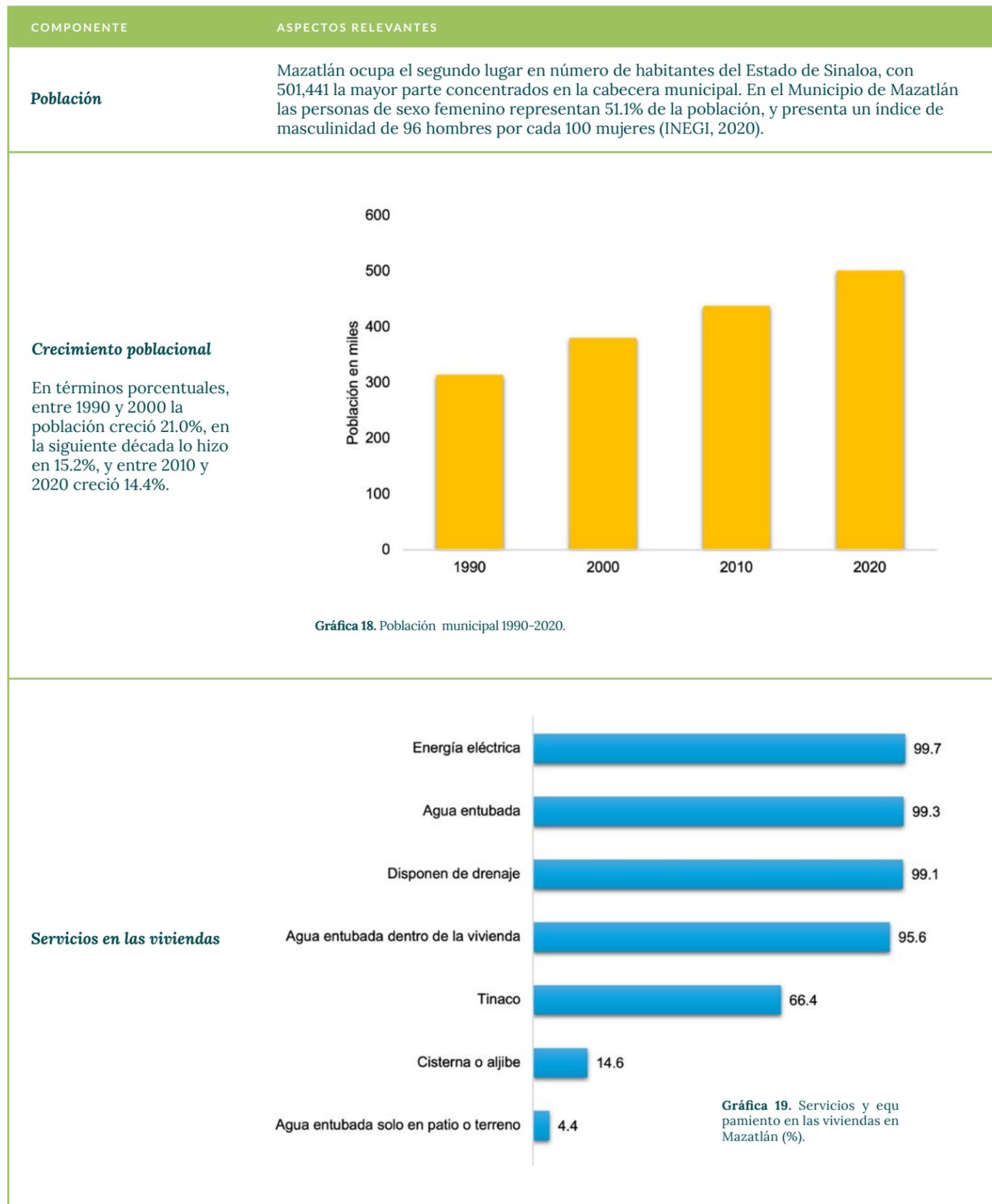
Sequía

- Pérdida de cosechas
- Competencia por el agua (consumo humano vs actividades económicas)
- Disminución en la disponibilidad de agua dulce
- Intrusión salina que también se ve exacerbada por la sobreexplotación del acuífero
- Incendios forestales

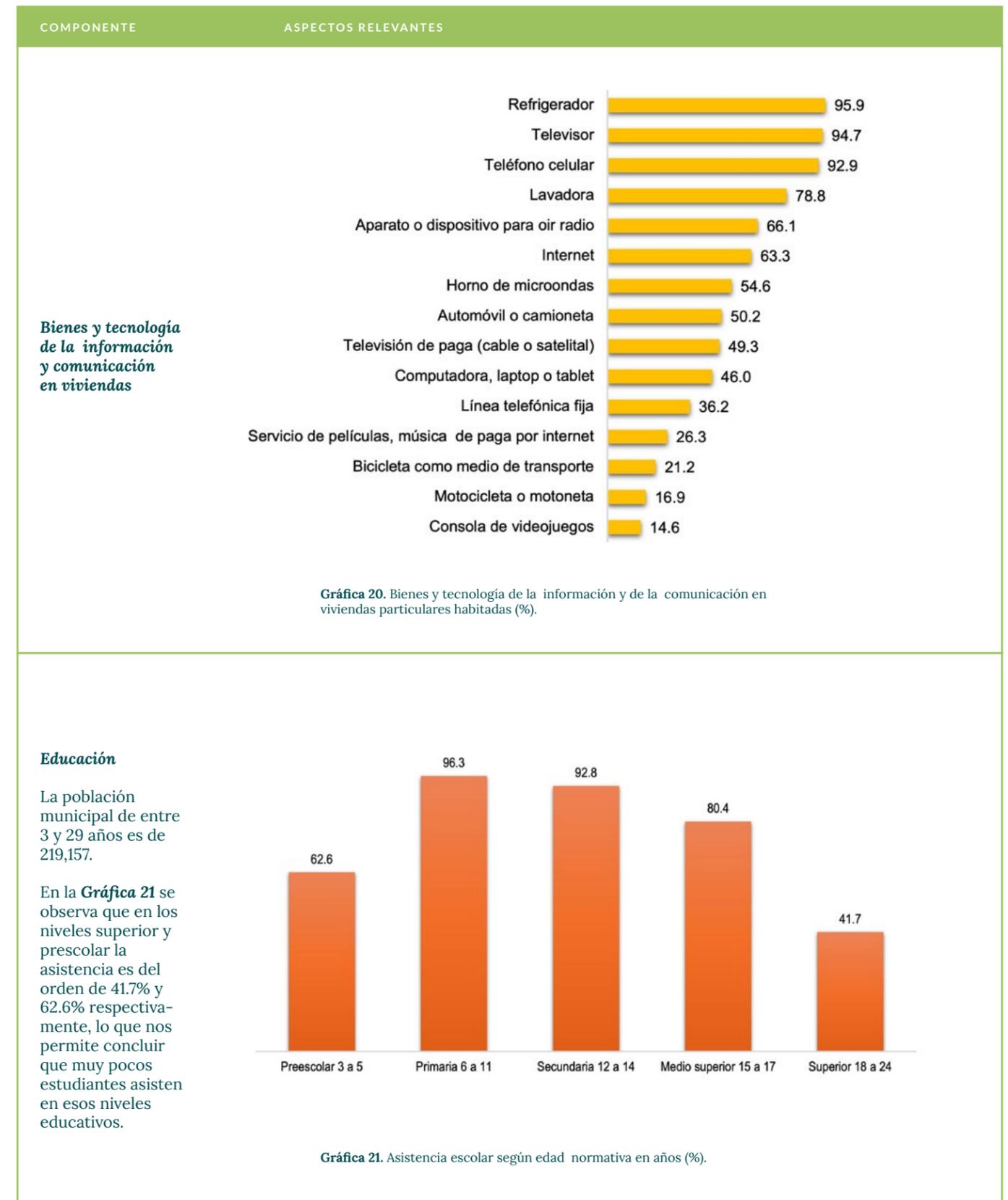
Aumento de la temperatura

- Incremento en las olas de calor
- Isla de calor urbana
- Incremento en las enfermedades transmitidas por vectores (dengue, sika, chikunguña, paludismo, colera, etc.)

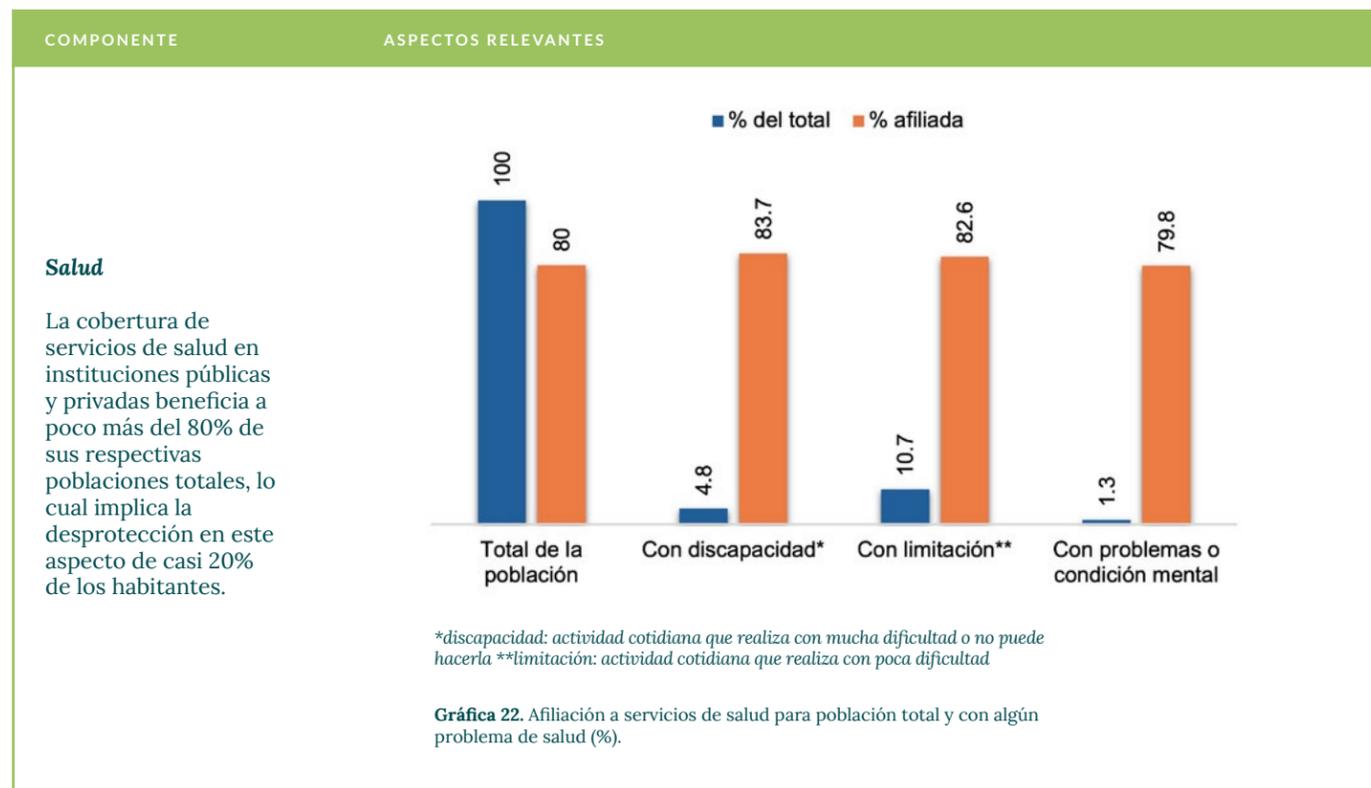
Cuadro 19. Posibles impactos y consecuencias debidas a eventos climáticos extremos en la ciudad de Mazatlán. **Fuente:** Pares A.C. con datos de SECTUR (2014) e IMPLAN (2020)



Cuadro 20. Características relevantes del medio socioeconómico.
Fuente: Pares A.C. con datos de SECTUR (2014) e IMPLAN (2020)



Gráfica 21. Asistencia escolar según edad normativa en años (%).



5.3.5. Actividades productivas

Desde el punto de vista económico, con base en el censo agropecuario 2022 de INEGI, el trabajo hace un recorrido por las actividades agropecuarias señalando algunas de sus características básicas: superficies sembradas y cultivadas e importancia de los diferentes tipos de cultivos; un enfoque similar se aplica con las existencias ganaderas.

Del censo económico 2019 y 2004 de INEGI se obtuvo la información para tratar los sectores productivos secundario y terciario de los cuales se analizan variables como las unidades económicas, personal ocupado, y valor agregado censal bruto como variable proxy al PIB municipal, en una comparación 2004-2019. Se optó por hacer una comparativa de 15 años porque en este periodo de tiempo se puede apreciar un cambio significativo y consolidado para alcanzar a ver la permanencia del cambio. Por la

vocación turística de Mazatlán, finalmente se realiza un análisis específico del sector, lo cual permite identificar la relevancia de las actividades características y conexas de esta actividad.

5.3.6. Agropecuarias

De acuerdo con el Censo agropecuario (INEGI, 2022), el Municipio de Mazatlán cuenta con una superficie rural de 240 mil hectáreas, distribuidas en el territorio municipal como sigue: 120 mil hectáreas (50%) con uso o vocación agropecuaria, 30 mil (12%) con aprovechamiento forestal y 90 mil (37%) son superficie sin uso o vocación agropecuaria y sin aprovechamiento forestal (**Cuadro 21**); los aspectos más relevantes de estas actividades se destacan en el **Cuadro 22**.

De acuerdo con el Censo agropecuario (INEGI, 2022), el Municipio de Mazatlán cuenta con una superficie rural de 240 mil hectáreas.

Uso de suelo	Unidades de Producción (UP) agropecuarias*	Superficie (ha)
Agrícola	Cultivos anuales	2,759
	Cultivos perennes	763
	No sembrada	324
	Total de hectáreas con uso agrícola	53,457

Cuadro 21. Uso del suelo unidades de producción agropecuarias activas y superficie según uso de suelo para el Municipio de Mazatlán. **Fuente:** Pares A.C. con datos de INEGI Censo Agropecuario 2022.

Uso de suelo	Unidades de Producción (UP) agropecuarias*	Superficie (ha)
Pastos naturales, agostadero o enmontada	990	29,640
Bosque o selva	23	296**
Otros usos (Habitacional, corrales, etc.)	594	1,710
Superficie agropecuaria total		85,103

*La suma de las UP puede ser mayor al total debido a que hay unidades que declararon más de un tipo de uso del suelo
 **No incluye la superficie de las Unidades de Producción Forestal.

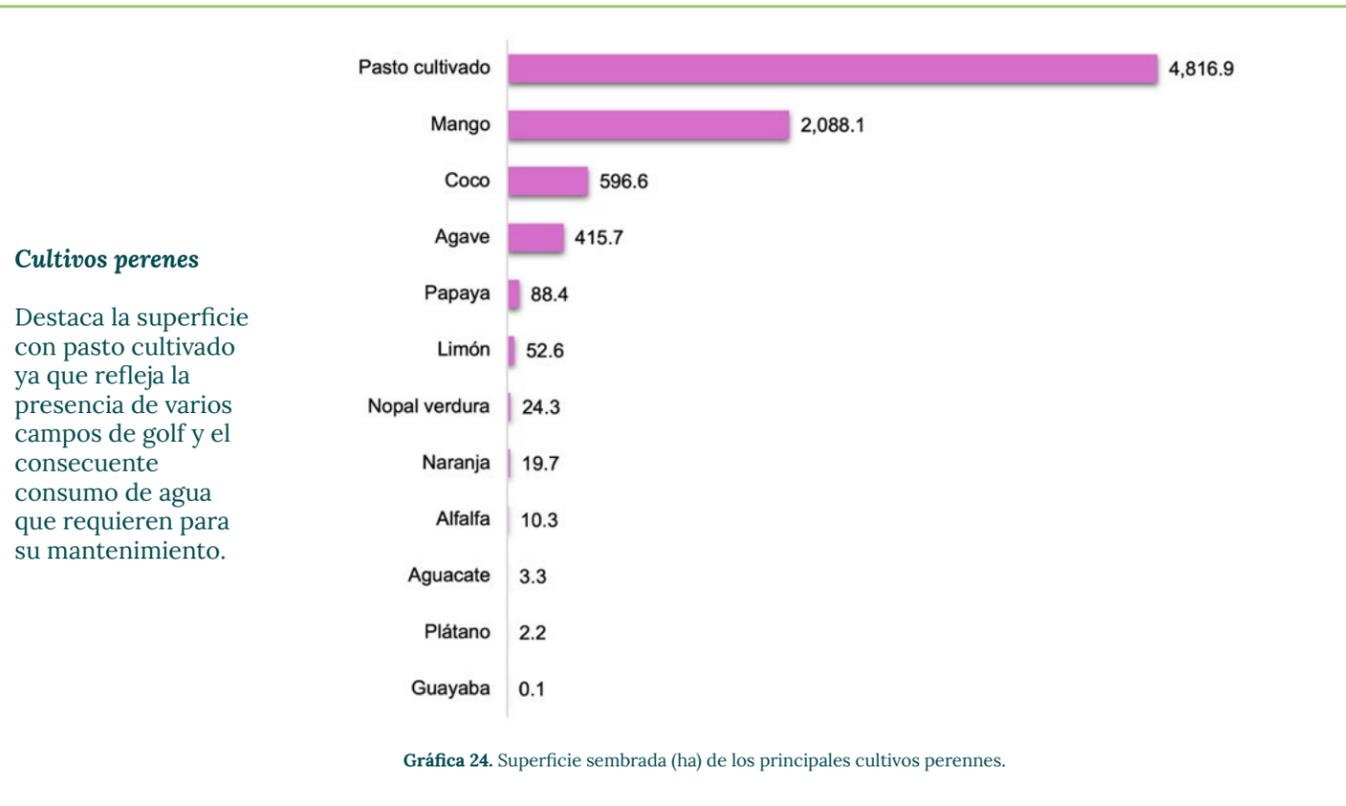
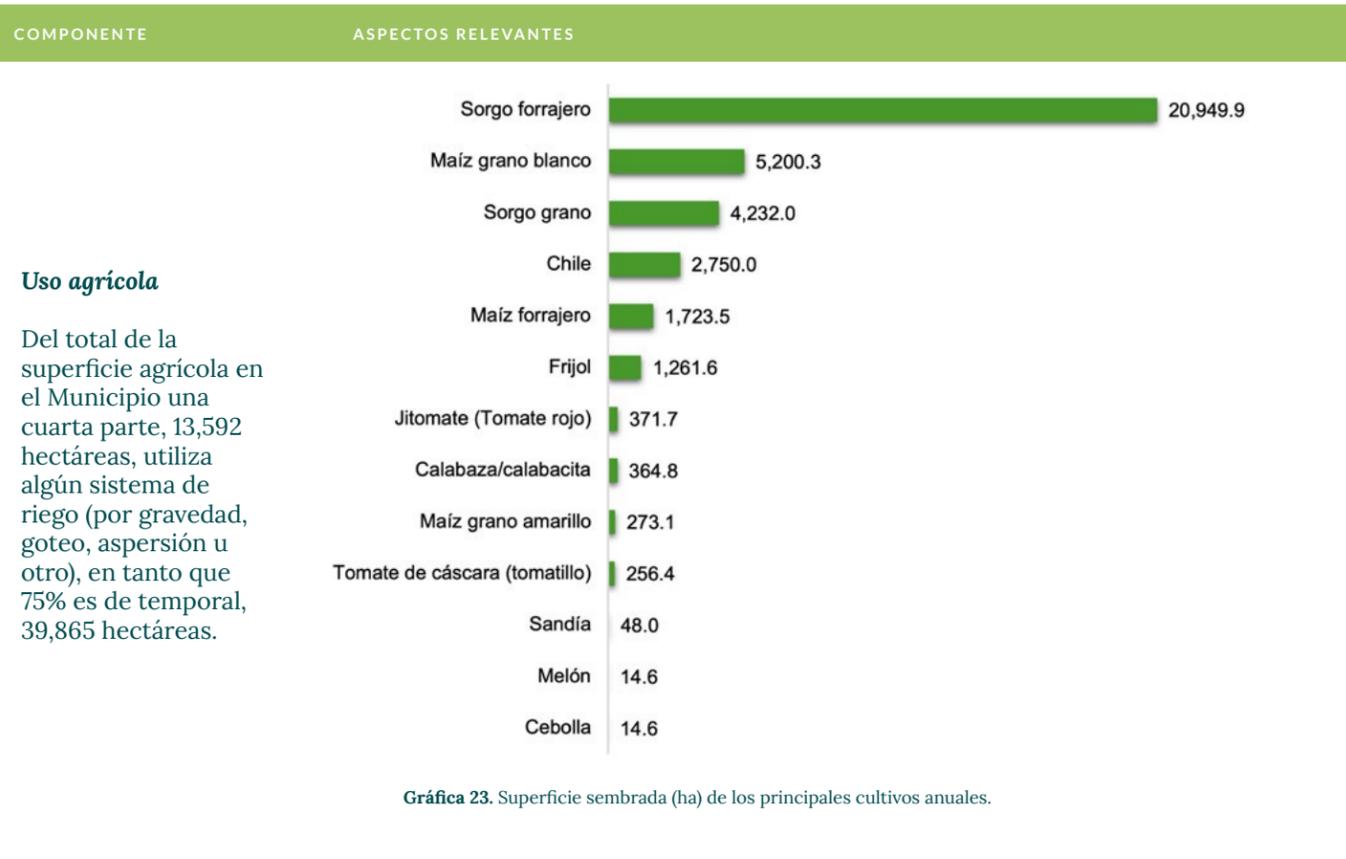
Cuadro 22. Aspectos relevantes del sector agropecuario. **Fuente:** Pares A.C. con datos de INEGI, 2022.

5.3.7. Sectores productivos secundario y terciario

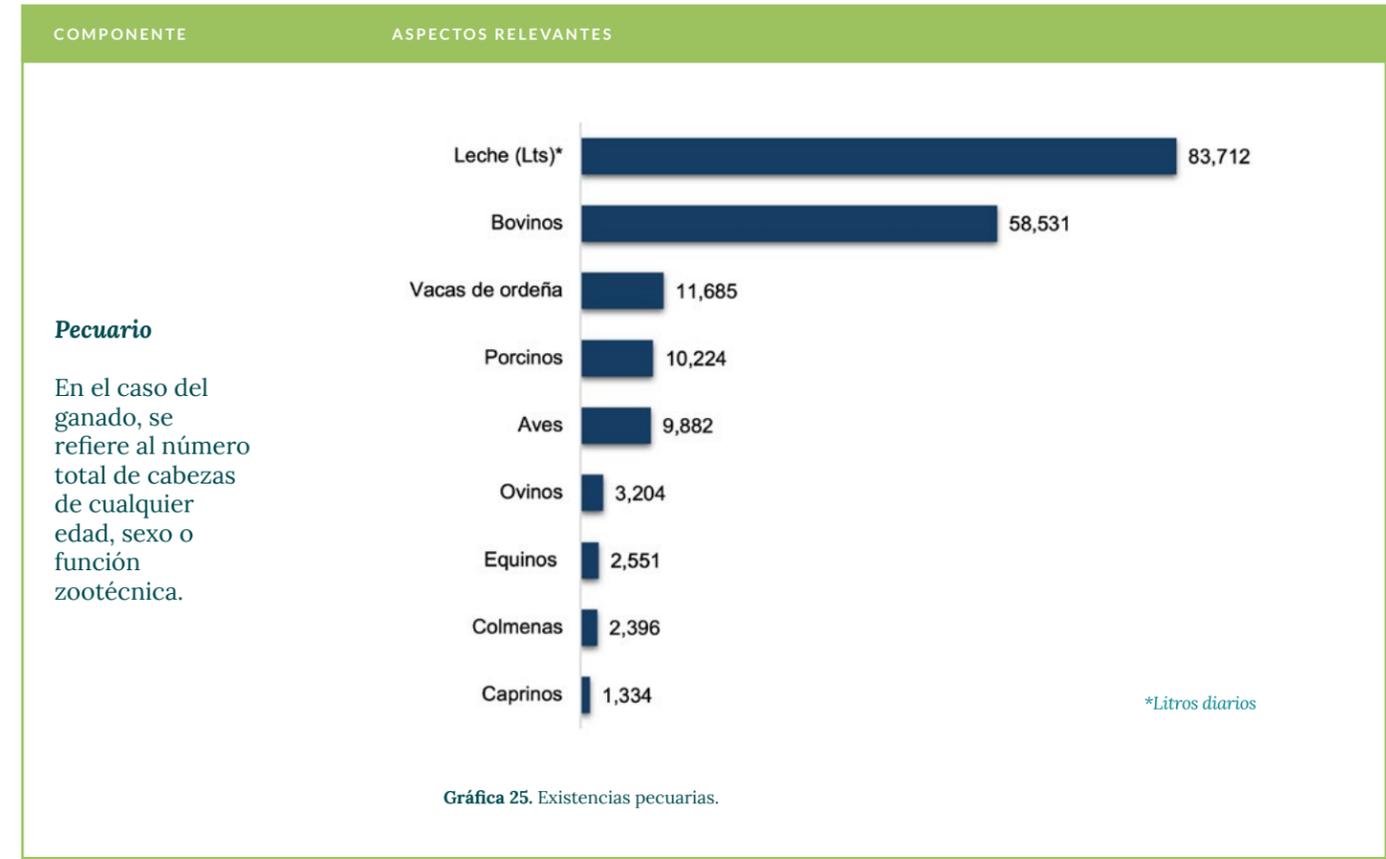
En este apartado se analizó el comportamiento de la actividad económica correspondiente a los sectores secundario y terciario con base en los censos económicos de 2004 y 2019. Se evalúan las dinámicas que se expresaron en ese periodo en tres de las características de la actividad económica básicas y relevantes (**Cuadro 23**):

1. Número de unidades económicas,
2. Personal ocupado, y
3. Valor agregado censal bruto.

Esta última variable es utilizada por distintos investigadores e instituciones como una aproximación al producto interno bruto.

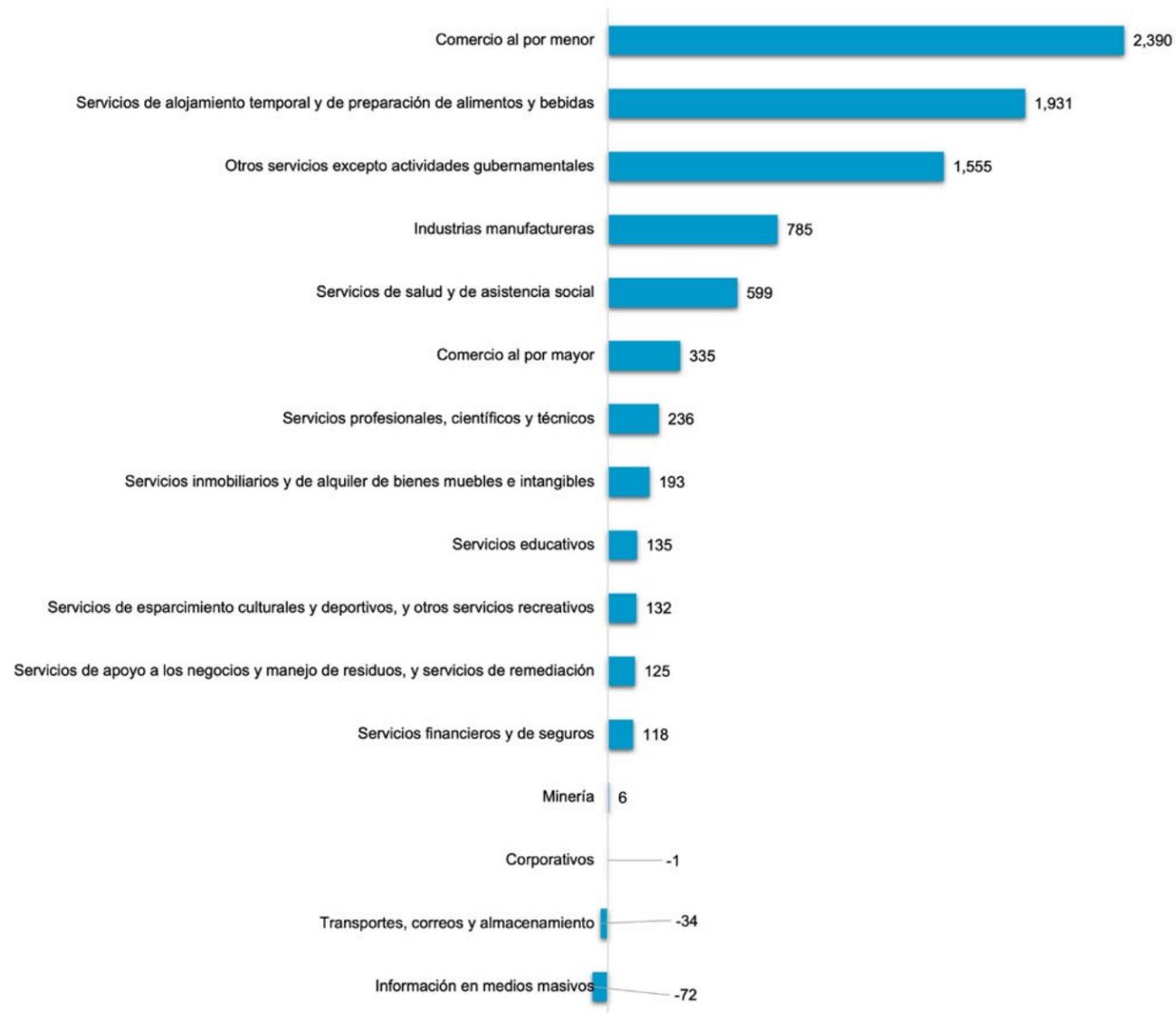


Cuadro 23. Aspectos relevantes del sector agropecuario. **Fuente:** Pares A.C. con datos de INEGI, 2022.



Personal ocupado por sector 2004-2019

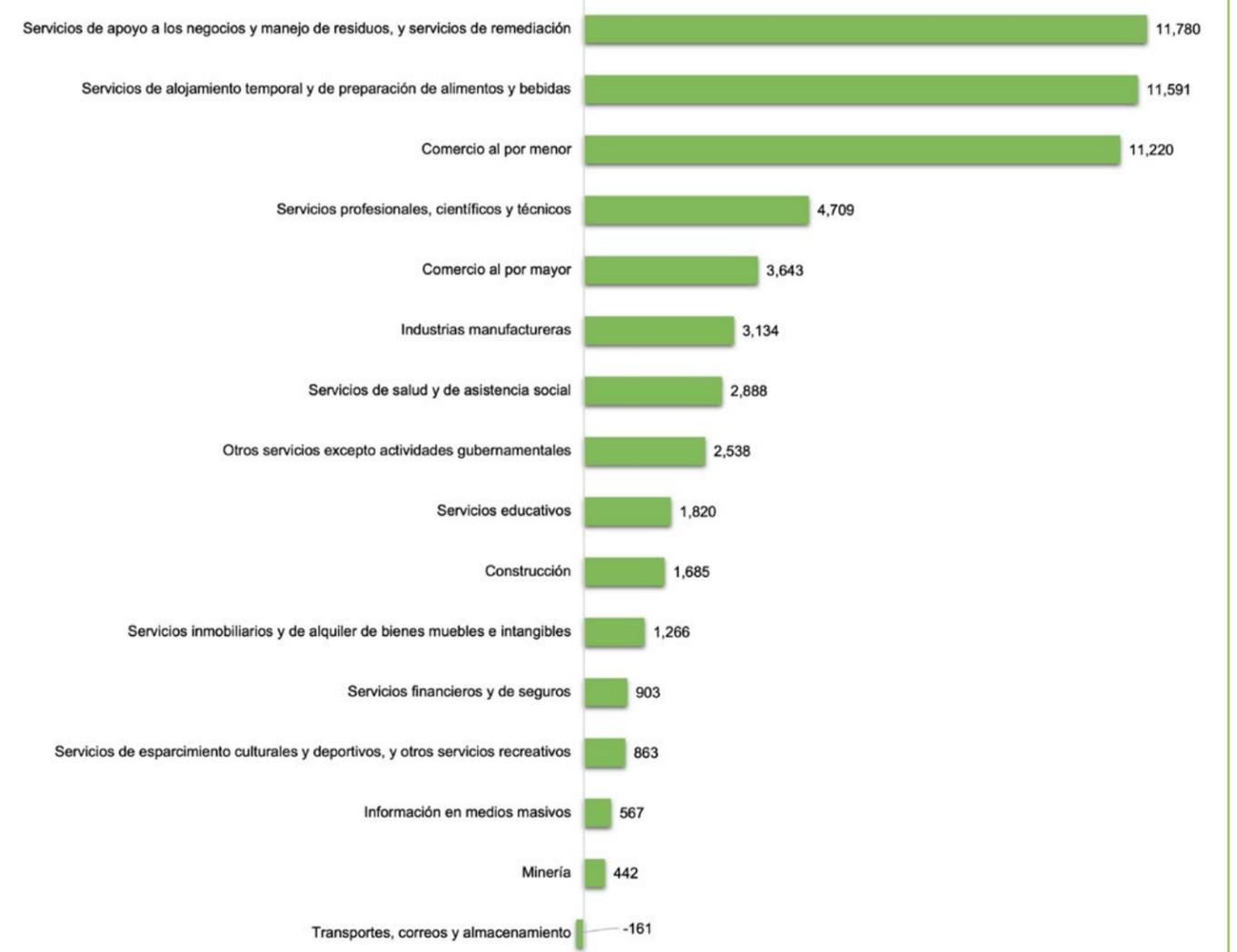
A nivel de sectores productivos, los principales son: Comercio al por menor, Alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas. Estos tres sectores son los que crecieron más, que ampliaron más el personal ocupado, y los que mayor valor agregado censal generan.



Gráfica 26. Aumento o disminución de unidades económicas por sector en el periodo 2004-2018

Valor agregado censal bruto municipal (VACB)

El VACB es un indicador económico que permite una buena aproximación al producto interno bruto de una unidad territorial para la cual se disponga, como es el caso de los municipios.



Gráfica 27. Aumento o disminución de unidades económicas por sector en el periodo 2004-2018

Valor agregado censal bruto municipal (VACB)

El VACB es un indicador económico que permite una buena aproximación al producto interno bruto de una unidad territorial para la cual se disponga, como es el caso de los municipios.

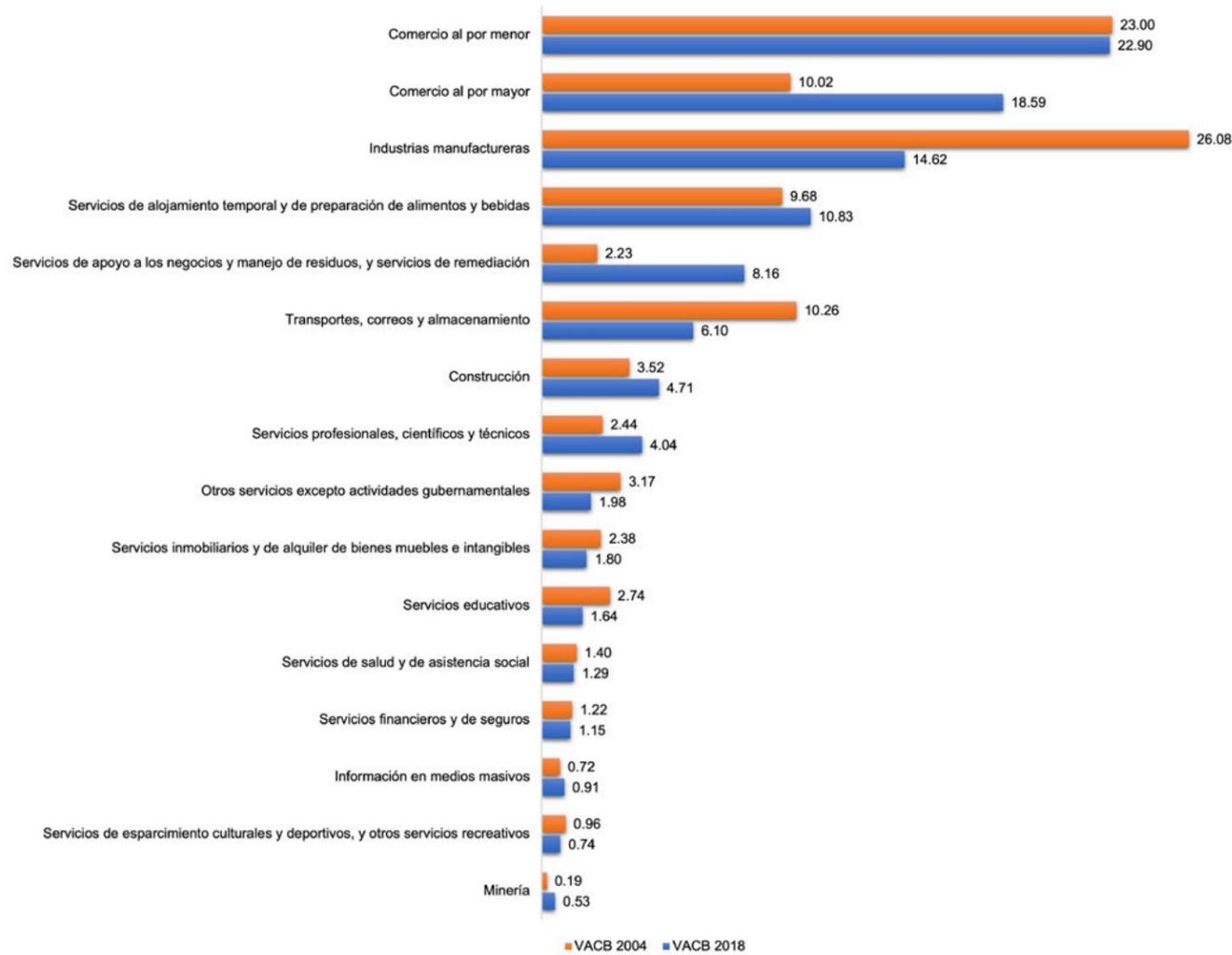


Gráfico 28. Participación porcentual de los sectores económicos en la conformación del valor agregado censal bruto 2004-2018

Sector turismo

En la gráfica se presentan actividades características del sector turismo- “aquellas cuya producción principal se refiere a un bien o a un servicio y que, en ausencia de visitantes, prácticamente dejarían de existir o se reduciría significativamente su presencia”:

Las Gráficas 29 y 30 muestran un resumen de los indicadores: Valor agregado censal bruto, Población ocupada y Unidades económicas.

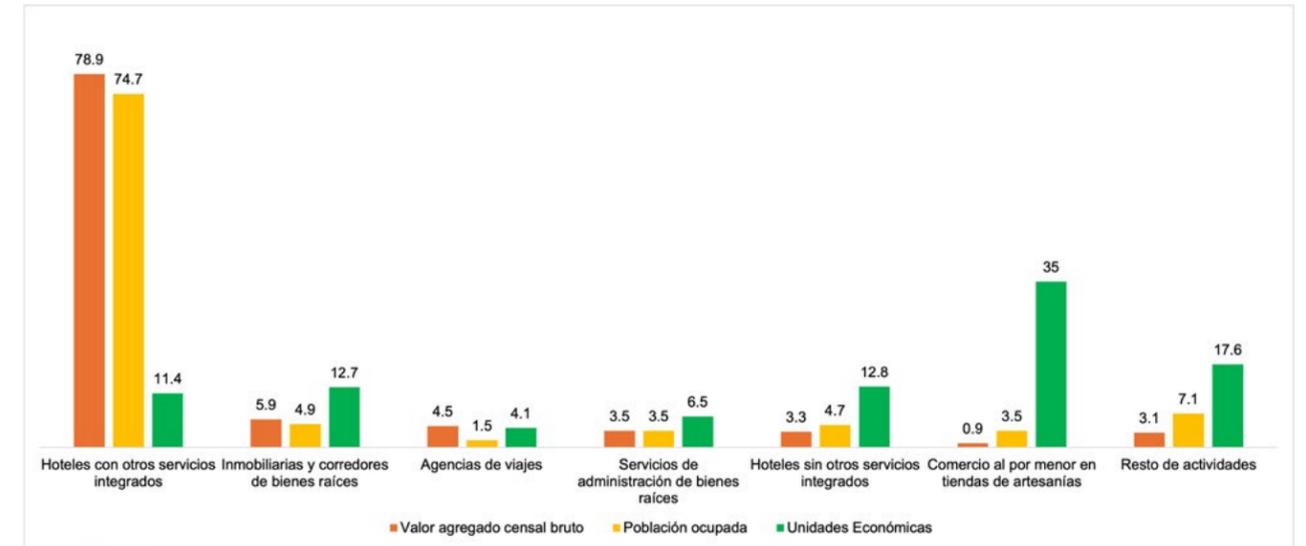


Gráfico 29. Actividades características: valor agregado censal bruto, población ocupada y unidades económicas.

Salud

La cobertura de servicios de salud en instituciones públicas y privadas beneficia a poco más del 80% de sus respectivas poblaciones totales, lo cual implica la desprotección en este aspecto de casi 20% de los habitantes.

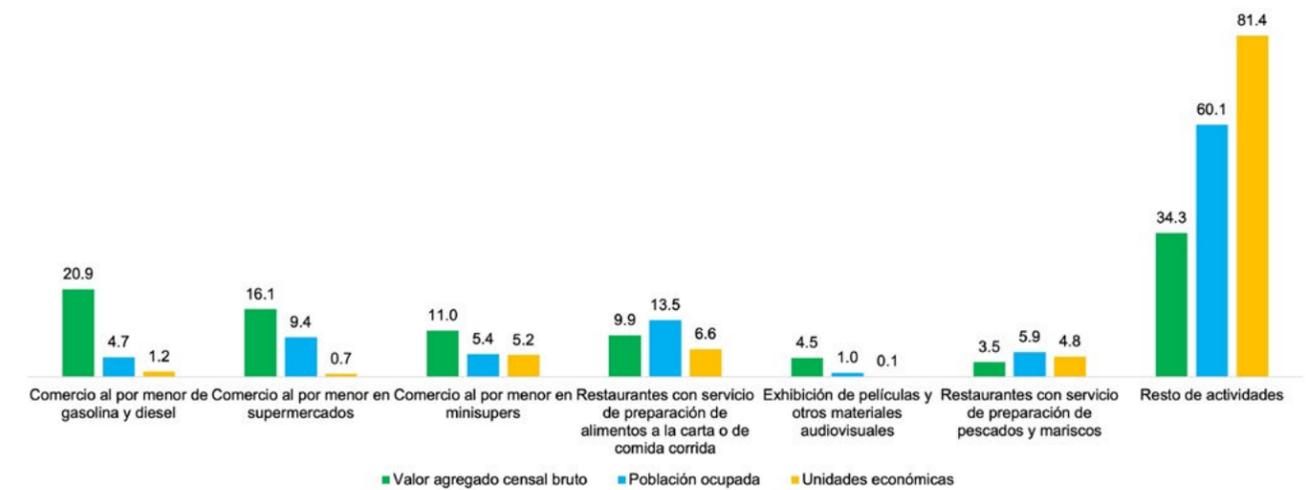


Gráfico 30. Actividades conexas: valor agregado censal bruto, población ocupada y unidades económicas.

5.4. Marco metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad

Para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad frente al Cambio Climático, se parte del análisis de los componentes naturales y socioeconómicos enfocados en primer lugar a definir las zonas con mayores *peligros* ante eventos naturales relacionados con el clima. En paralelo se analizan las variables que permiten reconocer y delimitar territorialmente un *índice de sensibilidad* socioeconómica, así como un indicador que sintetice la importancia de los ecosistemas y sus servicios como amortiguadores de los impactos negativos del Cambio Climático.

Posteriormente se identifican las zonas con mayores niveles de *exposición* de la población, los ecosistemas y las actividades productivas, mediante la superposición de los mapas de *peligros* con esta información, identificando aquellos lugares donde los habitantes, sus bienes y sus actividades económicas se encuentran más expuestos y por tanto los *impactos potenciales* y la *vulnerabilidad socioambiental* son mayores. La *capacidad de adaptación* (+o -) basada en este caso en la presencia o ausencia de ecosistemas, va a actuar como un modulador de la vulnerabilidad. Se parte de la premisa de que a mayor presencia de ecosistemas sanos y funcionales (dentro y fuera de las ciudades) puede disminuir la vulnerabilidad socioambiental. Este proceso se esquematiza en la **Figura 23**.



Figura 23. Ruta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad socioambiental. **Fuente:** Pares A.C. basado en (McCarthy, Canziani, Learyu, Dokke, 2001)

5.5. Evaluación de peligros ante eventos climáticos

La evaluación de los principales peligros ante eventos relacionados con el clima se presenta a continuación, describiendo tanto los componentes del medio natural utilizados para su modelación, como el peso ponderado que se otorgó a cada uno a partir del análisis de expertos. La descripción de los resultados hace referencia a los sitios de mayor peligro, cuando es factible se menciona la colonia o comunidad con mayores posibilidades de verse afectadas.

Para este análisis se han desarrollado modelos multivariados que permiten la evaluación de peligros y la determinación del peso ponderado de los componentes clave. El proceso incluye la selección de variables relevantes como temperatura, precipitación, humedad, índices morfológicos del relieve, nivel del mar, tipo de suelo, y vegetación. La ponderación de cada componente se realiza mediante un análisis jerárquico, que asigna valores a diferentes factores, priorizando las variables más influyentes, como la disección horizontal o el nivel de urbanización frente a inundaciones.

En este tipo de análisis se emplean sistemas de información geográfica (SIG) que integran variables espaciales y temporales para generar mapas de peligro detallados. Tanto el desarrollo de los modelos multivariados como la determinación de los pesos ponderados han sido producto de la experiencia y de reuniones con grupos de expertos, quienes han participado en más de 25 estudios a lo largo de 30 años.

Esta metodología ha sido validada por las instituciones para las que se desarrollaron estos modelos. Algunos de los expertos que han participado en estos procesos se enlistan en el **Cuadro 24**.

Los estudios que sustentan estos aportes metodológicos, modelos y ponderaciones pueden consultarse en el **Anexo I**.

EXPERTO	ESPECIALIDAD
Dr. Daniel Geissert	Geomorfología
Dr. Enrique Meza	Biólogo-Edafología
Dr. Avelino Martínez	Biología-Hidrología
Dr. Ángel Priego Santander	Geografía
Dra. Helena Cotler	Edafología
Mtra. Ixchel Sheseña	SIG
Eduardo Isunza Vera	SIG
Dra. Isabel García-Coll	Biología
Mtro. Aníbal Ramírez	Biología
Mtro. Alberto Niño	Sociología
Lisbeily Domínguez	Economía
Alfonso Juan Rivas	Desarrollo Regional- SIG
Biol. Roberto Monroy	Biología -SIG
Dr. Pierre Mokondoko	Economía-Ecología
Dr. Robert Manson	Biología
Dra. Patricia Moreno	Ecología
Mtra. Georgina Vidriales	Antropología
Dr. Sergio Angón	Ingeniería

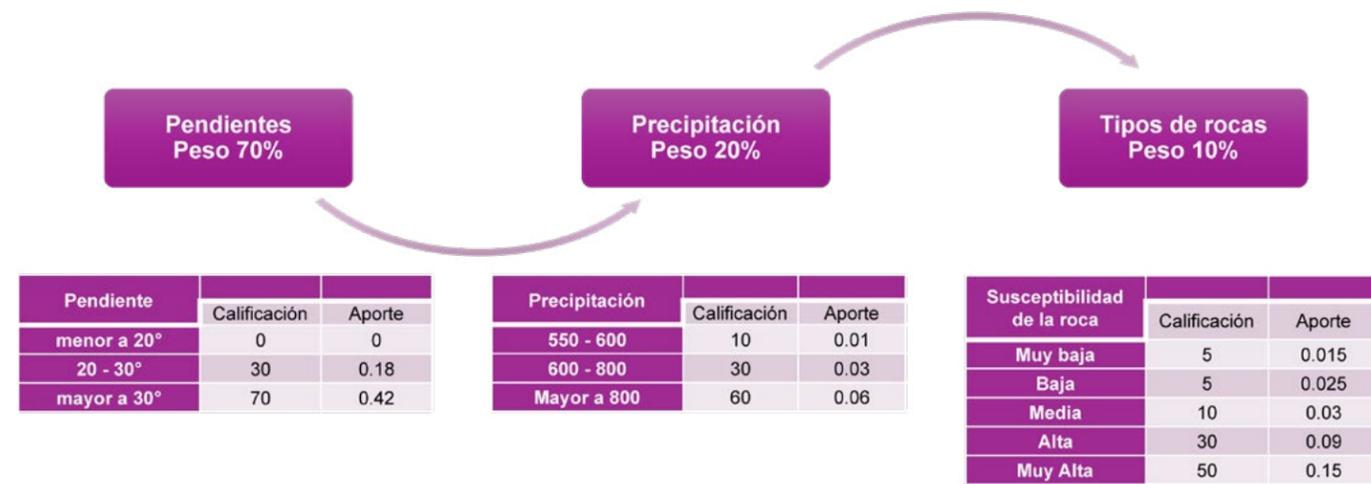
Cuadro 24. Expertos que han apoyado el desarrollo de modelos multivariados y la determinación de pesos ponderados. **Fuente:** Pares A.C. basado en (McCarthy, Canziani, Learyu, Dokke, 2001)

5.5.1 Potencial natural de derrumbes

Un derrumbe es el movimiento descendente de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad. Pueden producirse en distintos ámbitos, pero en zonas montañosas, los derrumbes son frecuentes por causas naturales, cuando la erosión o las condiciones climáticas hacen que grandes rocas se precipiten desde superficies elevadas hacia otras más bajas.

La modelación de este peligro toma en cuenta el grado de inclinación de las pendientes, la precipitación y la susceptibilidad del tipo de rocas presentes en el área de estudio (**Figura 24**). Los mapas temáticos elaborados para realizar esta modelación se encuentran disponibles en los anexos del estudio.

Figura 24. Modelo del potencial natural de derrumbes: variables y pesos ponderados. Fuente: Pares A.C.



5.5.2. Potencial natural de deslizamientos

Un deslizamiento o deslave es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud, generalmente inducido por el grado de saturación del suelo después de precipitaciones intensas.

De acuerdo con CONAGUA-SEMARNAT (2015) “la temporada de ciclones es un determinante importante para la gestión de los recursos hídricos en Mazatlán pues por un lado pueden llevar a inundaciones y deslizamientos, que presentan un riesgo para las poblaciones y la infraestructura, y por otro la precipitación extrema recarga los acuíferos. La precipitación extrema también afecta la calidad del agua para el consumo humano, pues se incrementa la turbidez debido al aumento en la carga de sedimentos generada por la erosión”.

Por su parte, en el documento del IMPLAN (2024) se establece que “las precipitaciones asociadas al ciclón tropical pueden reblandecer el suelo en algunas regiones, por lo que se exhorta a la población a extremar precauciones debido a que pudieran registrarse deslaves, deslizamientos de laderas, desbordamientos de ríos y arroyos, o

afectaciones en caminos y tramos carreteros, así como inundaciones en zonas bajas y saturación de drenajes en zonas urbanas”.

La modelación de este peligro incorpora nuevas variables del medio natural como la susceptibilidad del suelo, la presencia y tipo de vegetación, así como otros índices morfométricos, como son la disección horizontal y la disección vertical.

La disección horizontal es un índice erosivo natural que expresa la densidad de drenaje por unidad de área. Su construcción permite realizar inferencias sobre los efectos que pueden tener las precipitaciones en la superficie terrestre. Por su parte, la disección vertical nos brinda información sobre la energía del relieve y permite determinar los tipos morfométricos, lo cual es imprescindible en la elaboración de los mapas de paisajes y en la comprensión de la relación proceso - forma del relieve.

En este peligro, y ante la presencia de lluvias intensas que llegan a saturar el suelo, la vegetación arbórea densa puede ser un factor que ayude a desencadenar el deslave por el peso del agua en las ramas de los árboles.

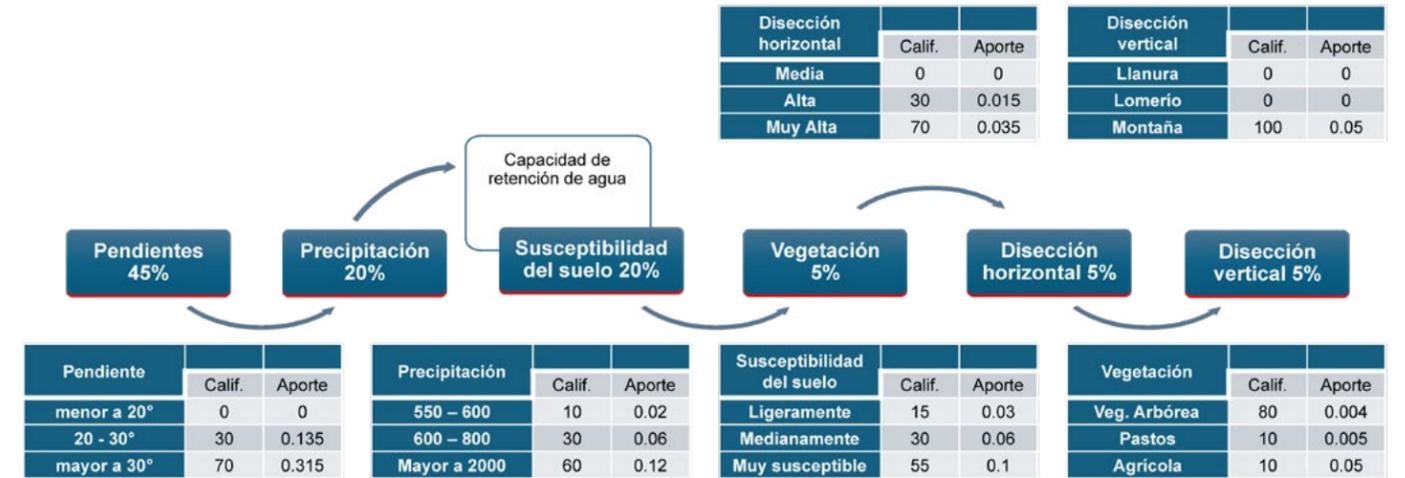


Figura 28. Modelo de potencial natural de deslizamientos: variables y pesos ponderados. Fuente: Pares A.C.

En este modelo, la susceptibilidad del suelo al deslizamiento se califica en función de su textura de acuerdo con el **Cuadro 25**.

Cuadro 25. Susceptibilidad del suelo a deslizamientos según su textura. Fuente: Pares A.C.

SUELO/TEXTURA	CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD
Arenosol Gruesa	Ligeramente susceptible
Leptosol Gruesa	Ligeramente susceptible
Luvisol Gruesa	Ligeramente susceptible
Regosol Gruesa	Ligeramente susceptible
Leptosol Media	Medianamente susceptible
Luvisol Media	Medianamente susceptible
Phaeozem Media	Altamente susceptible
Regosol Media	Medianamente susceptible

Los mapas temáticos integrados para llevar a cabo esta modelación a excepción del ángulo de inclinación de las pendientes y precipitación se encuentran disponibles en los anexos del estudio **Figuras 25 y 26**.

El análisis de estos dos peligros nos hace ver que tienen una causa común, que es la intensidad de las precipitaciones, y también que la pendiente en ambos casos es el factor detonador por lo que se le da el mayor peso ponderado. Lo anterior nos llevó a considerar la posibilidad de unificarlos en un solo peligro que denominamos Inestabilidad de las laderas, el cual se muestra en la **Figura 34**.

En la **Figura 33** se observa la coincidencia de la mayoría de los territorios donde potencialmente se pueden presentar estos peligros. La categoría de alto potencial abarca superficies relativamente pequeñas en ambos peligros, mientras que el potencial medio en conjunto ocupa una superficie considerable de alrededor de 3,224 hectáreas (**Cuadro 26**).

Cuadro 26. Superficie y porcentaje de la zona de estudio que se encuentran en categorías alta y media. **Fuente:** Pares A.C.

Categoría peligro de Derrumbes	Superficie (ha)	% de la zona de estudio de libertad	Categoría Peligro de deslizamientos	Superficie (Ha)	% de la zona de estudio
Alto	301.68	0.8	Alto	467.69	1.3
Medio	24896.68	1,707.14	Medio	1,516.72	4.1

5.5.3. Potencial natural de inestabilidad de laderas

Para construir el potencial de inestabilidad de laderas (**Figura 34**) se combinaron los mapas de peligro potencial de derrumbes y deslizamientos mediante un cruce de las categorías según se muestra en la matriz siguiente:

		Derrumbes		
		Alto	Medio	Bajo
Deslizamiento	Alto	Alto	Alto	-
	Medio	Alto	Medio	Medio
	Sin peligro	Alto	Medio	-

En la **Figura 34** se destaca que el mayor potencial de inestabilidad de las laderas se localiza en la zona periurbana de la ciudad de Mazatlán donde ya se observa la presión de crecimiento con algunos asentamientos, particularmente en zonas calificadas como de alto potencial y cuya superficie ronda las 481.54 hectáreas (**Cuadro 27**), por lo que este debe ser un factor a considerar para determinar el crecimiento futuro de la ciudad, así como los permisos de cambio de usos del suelo. En estos territorios, caracterizados por la presencia de algunos cerros (La

Herradura, La Piedrera, Los Chinos, El Chilar, Loma y El Ébano) todavía se encuentran remanentes de vegetación natural como selva baja y matorrales. Estos ecosistemas juegan un papel muy importante en el amortiguamiento de procesos erosivos y de inundación que de ser modificados pueden poner en mayor peligro a esos sectores de la ciudad.

Cuadro 27. Superficie y porcentaje de la zona de estudio que se encuentran en categorías alta y media. **Fuente:** Pares A.C.

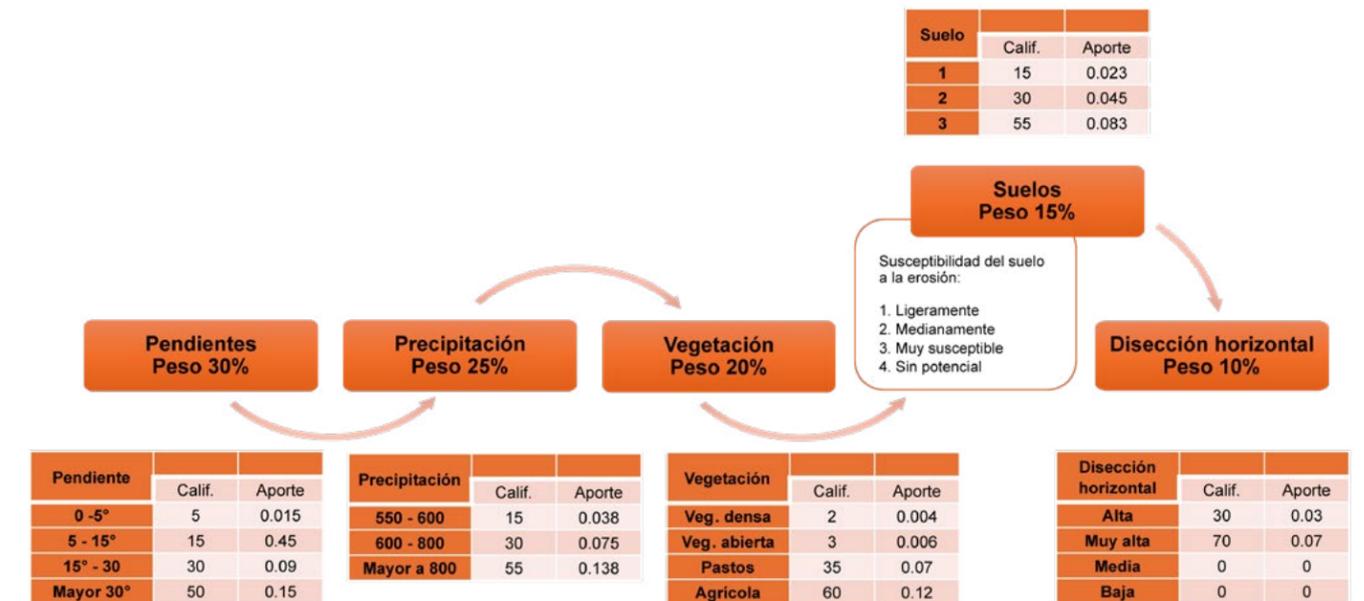
Categoría de erosión	Superficie (ha)	% la zona de estudio
Alto	2,068.02	6%
Medio	3,135.55	9%

5.5.4. Potencial natural de erosión

La erosión es un proceso en el que se va perdiendo la capa superficial del suelo, que es la que proporciona a las plantas la mayoría de los nutrientes y el agua que necesitan. Cuando esta capa fértil se desplaza, disminuye la productividad de la tierra afectando actividades productivas como la agricultura y ganadería, ya que se pierde un recurso vital para el cultivo de alimentos. El suelo es un recurso finito y no renovable que se está degradando

rápida y aunque es un proceso natural que se presenta con mayor frecuencia en terrenos con pendiente, su impacto incrementa considerablemente si se llevan a cabo actividades humanas insostenibles, como la deforestación y la mala gestión de tierras. Es importante mencionar que el modelo de erosión no considera la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) porque los resultados que se

Figura 35. Modelo de potencial natural de erosión: variables y pesos ponderados. **Fuente:** Pares A.C.



obtienen son cuantitativos (toneladas de suelo / ha / año), mientras que en este modelo se busca obtener el potencial natural de erosión. En la **Figura 35** se puede apreciar el modelo conceptual para evaluar este peligro.

Los mapas temáticos que se utilizaron para este modelo son: Grado de inclinación de las pendientes (**Figura 25**), Precipitación (**Figura 26**), Uso de suelo y vegetación (**Figura 29**), Disección horizontal (**Figura 30**), Edafología (**Figura 32**).

Categoría de erosión	Superficie (ha)	% la zona de estudio
Alto	2,068.02	6%
Medio	3,135.55	9%

Cuadro 28. Distribución por intensidad de peligro de la superficie susceptible a erosión. **Fuente:** Pares A.C.

Si comparamos el mapa potencial de erosión (**Figura 36**) con el de vegetación y uso del suelo (**Figura 29**) es posible apreciar que el peligro de erosión más alto coincide con las zonas donde predomina la agricultura (riego y temporal) y algunos pastizales y potreros. Lo anterior debe servir como un llamado de atención al manejo de los suelos en estas actividades agropecuarias, promoviéndose medidas de conservación y restauración de suelos. Por otra parte, resalta la importancia de conservar los remanentes de vegetación natural cercanos a estas actividades agropecuarias.

5.5.5. Potencial natural de inundación

Según Vences Macedo, et. al. (2022):

“las inundaciones en la ciudad de Mazatlán afectan año tras año a diversas colonias; estas últimas forman parte del crecimiento de la mancha urbana, la cual no contó con un plan de desarrollo territorial que tomara en consideración el sistema hidrológico del lugar, -las lagunas, las cuencas, los esteros y los canales pluviales-; a tal grado de usar cauces como calles, asentarse en zonas deprimidas o ganar tierra al agua, -asentamiento irregulares-.

² El Periodo de Retorno de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.), se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la

Por su parte en la **Figura 36** se muestra el mapa resultado de la evaluación del potencial de erosión donde resaltan las zonas con medio a alto potencial de erosión, coincidiendo en muchos casos con el mapa de inestabilidad de laderas. La zona de mayor potencial se localiza en áreas agrícolas con influencia de los ríos El Chilar y La Revolcada. La superficie con alto potencial es de cerca de 2,068.02 hectáreas, mientras que el potencial medio abarca alrededor de 3,135.55 hectáreas (**Cuadro 28**) y se localizan en las laderas de los cerros que rodean a la ciudad de Mazatlán hacia el oriente y nororiente.

Dichas alteraciones, además de afectar el equilibrio ecológico en la zona, también impactan directamente en la situación de vulnerabilidad en estas y las colonias vecinas, ya que, las colonias próximas a los cuerpos de agua en temporada de lluvias se inundan, debido a que estos se desbordan. Aunado a ello, la vulnerabilidad se incrementa con la llegada de las tormentas tropicales que pasan a huracanes. Sumado a un desazolve raquítico de las redes de aguas residuales y pluviales que se tapan por la basura, esta infraestructura es de barro en las partes del centro histórico de la ciudad y en algunas áreas se encuentra por debajo del nivel del mar”.

Para construir el mapa del potencial natural de inundación de este estudio se combinaron los mapas de inundación pluvial e inundación fluvial para un evento con periodo de retorno de 10 años como se muestra en el modelo conceptual (**Figura 37**).

El potencial natural de inundación del presente estudio se obtuvo a partir de las evaluaciones realizadas por el IM-PLAN Mazatlán (2020), en los que se analizaron de forma separada la inundación pluvial (debida a la precipitación) y la fluvial (por desbordamiento de ríos y arroyos) con diferentes periodos de retorno² (**Figura 38**).

frecuencia con la que se presenta un evento (Mélize y Reason, 2007). El grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia, las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles.

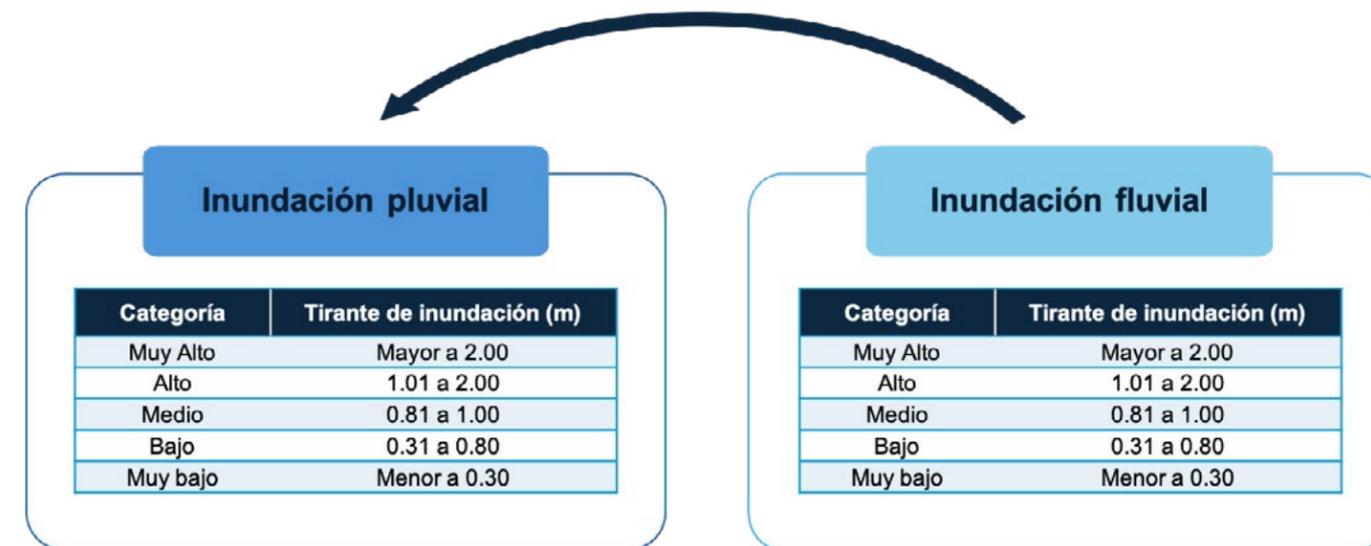


Figura 37. Modelo de potencial natural de inundación para un periodo de retorno de 10 años. **Fuente:** Pares A.C.

En el **Cuadro 29** se registran las categorías de ambos procesos de inundación para un periodo de retorno de 10 años en función del tirante de inundación (es decir, hasta donde sube el agua) y la superficie que inunda cada una de estas categorías. Se observa que el potencial de inundación con los mayores tirantes (mayor a 2.00 metros) ocupa

superficies muy pequeñas, mientras que, en el otro extremo, el menor tirante de inundación (menor a 0.30) llega a inundar superficies mucho mayores, aunque es posible suponer que produce menos destrucción que la ocasional inundación con un tirante mayor a 2 metros.

Inundación pluvial			Inundación fluvial		
Categoría	Tirante de inundación (m)	Superficie (ha)	Categoría	Tirante de inundación (m)	Superficie (ha)
Muy Alto	Mayor a 2.00	47.23	Muy Alto	Mayor a 2.00	92.66
Alto	1.01 a 2.00	268.10	Alto	1.01 a 2.00	304.26
Medio	0.81 a 1.00	159.79	Medio	0.81 a 1.00	163.3
Bajo	0.31 a 0.80	1057.17	Bajo	0.31 a 0.80	862.24
Muy bajo	Menor a 0.30	3002.74	Muy bajo	Menor a 0.30	967.45

Cuadro 29. Categorías de inundación y superficies afectadas. **Fuente:** Pares A.C.

Evaluación de la Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

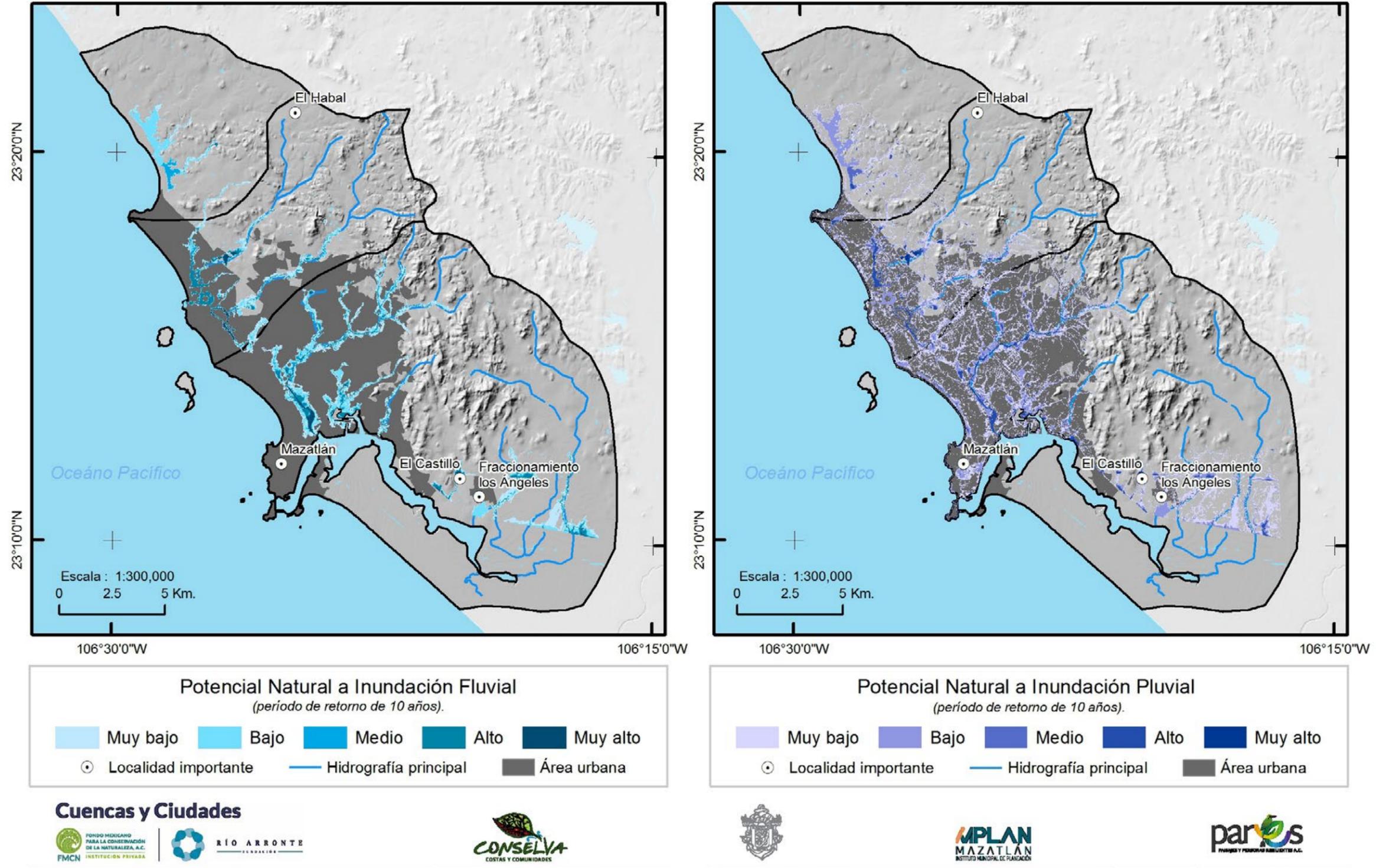


Figura 38. Potencial natural de inundación pluvial y fluvial en Mazatlán. Fuente: Pares con datos proporcionados por IMPLAN Mazatlán, 2020.

El mayor potencial de inundación está vinculado a la presencia de arroyos y ríos que cruzan la zona urbana, muchos de ellos modificados por el crecimiento de la ciudad, lo que ha limitado su función natural al disminuir o incluso desaparecer el cauce original.

En la **Figura 39** se puede observar que el mayor potencial de inundación está vinculado a la presencia de arroyos y ríos que cruzan la zona urbana, muchos de ellos modificados por el crecimiento de la ciudad, lo que ha limitado su función natural al disminuir o incluso desaparecer el cauce original. Uno de los casos más representativo ha sido la modificación del río Jabalines en su desembocadura a través del estero El Infiernillo.

Beraud, et. al. (2009) reportaban ya desde ese año una serie de afectaciones considerables:

“En el caso del estero El Infiernillo (localizado en el corazón de la ciudad), cuya desembocadura al canal de navegación tenía una extensión de 240 metros a principios del siglo XX, han sido provocados daños irreversibles aproximadamente a 3 millones de metros cuadrados de mangle; actualmente quedan alrededor de 960 mil metros cuadrados de ese recurso natural. Después de construir el parque industrial Bonfil en uno de los extremos del puente Juárez, se redujo a 40 metros la anchura de la salida. Ahí hay una bomba de tiempo, ya que, a la reducción de la desembocadura, cruza tubería de diversos diámetros, produciendo obstrucción

para los flujos de agua que con lluvias extraordinarias provocan el retorno hacia espacios que antes formaron parte del ecosistema, pero que hoy se encuentran transformados por usos de suelo urbano”.

Actualmente la superficie con potencial de inundación muy alto, es decir, con tirantes mayores a dos metros es del orden de 209.40 hectáreas mientras que la superficie total es de cerca de 1,200 hectáreas (**Cuadro 30**). Esta situación pone en relieve la necesidad de implementar acciones para prevenir los efectos de la inundación en la ciudad.

Cuadro 30. Superficie con potencial natural de inundación categorías media a muy alta. **Fuentes:** Pares, A.C.

Categoría de inundación	Superficie (ha)
Muy alto	209.40
Alto	118.98
Medio	851.44
Total	1,179.82

5.5.6. Potencial natural de marea de tormenta

De acuerdo con el IMPLAN Mazatlán (2024) “la marea de tormenta es el ascenso del nivel medio del mar debido a la acción de los vientos provenientes de los ciclones tropicales sobre una región del océano. Este levantamiento tiene la apariencia de un domo de agua, agregado a la superficie habitual del mar.” Esta marea, que dura de 12 horas a 3 días, puede causar inundaciones en las zonas bajas colindantes a la costa, y oleaje que impacte sobre las estructuras y construcciones cercanas al mar, así como la remoción de la arena de las playas por las corrientes de agua que inducen las olas. Cuando el ascenso del nivel del mar (pleamar), correspondiente a la marea ordinaria (astronómica) se combina con la marea de tormenta, provoca una sobreelevación más alta.

El tipo de efectos en zonas costeras provocados por el oleaje y marea de tormenta que acompañan a los ciclones tropicales pueden ser altamente destructivos y varía de acuerdo con factores locales como la forma específica de la costa y del lecho marino circundante, así como al viento del ciclón, el campo de presión atmosférica y el tamaño del fenómeno.

Las precipitaciones asociadas al ciclón tropical pueden saturar el suelo en algunas regiones, por lo que el IMPLAN subraya la necesidad de extremar precauciones debido a que pudieran provocar inestabilidad de laderas, desbordamientos de ríos y arroyos, o afectaciones en caminos y tramos carreteros, así como inundaciones en zonas bajas y saturación de drenajes en zonas urbanas.

Un estudio elaborado por SECTUR (2014) determinó el indicador de inundación por marea de tormenta (IIMT) a partir de la máxima amplitud de marea de tormenta registrada. En Mazatlán, fue de 5.3 metros (CENAPRED, 2001). De acuerdo con esta estimación, el área más vulnerable a las inundaciones por marea de tormenta corresponde a las zonas aledañas al estero Urías, donde la elevación del terreno es muy baja (**Figura 40**).

Figura 40. Zonas más vulnerables a inundación por marea de tormenta en el destino turístico Mazatlán. **Fuente:** IMPLAN 2024
**No se cuenta con una figura con mejor resolución.



A partir de la información recabada del IMPLAN (2024), SECTUR (2014) y con datos de CENAPRED (2001) se elaboró un modelo de peligro de inundación por marea de tormenta en dos escenarios extremos: tormenta tropical y huracán categoría 4, con las características que se describen en el modelo (Figura 41).

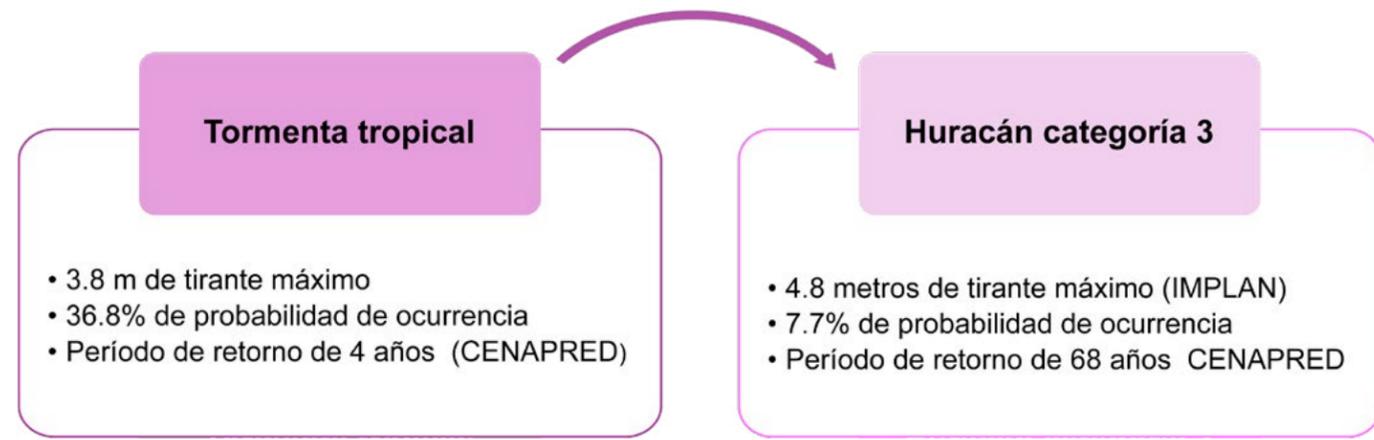


Figura 41. Modelo de peligro de inundación por marea de tormenta en escenarios extremos. Fuente: IMPLAN 2024

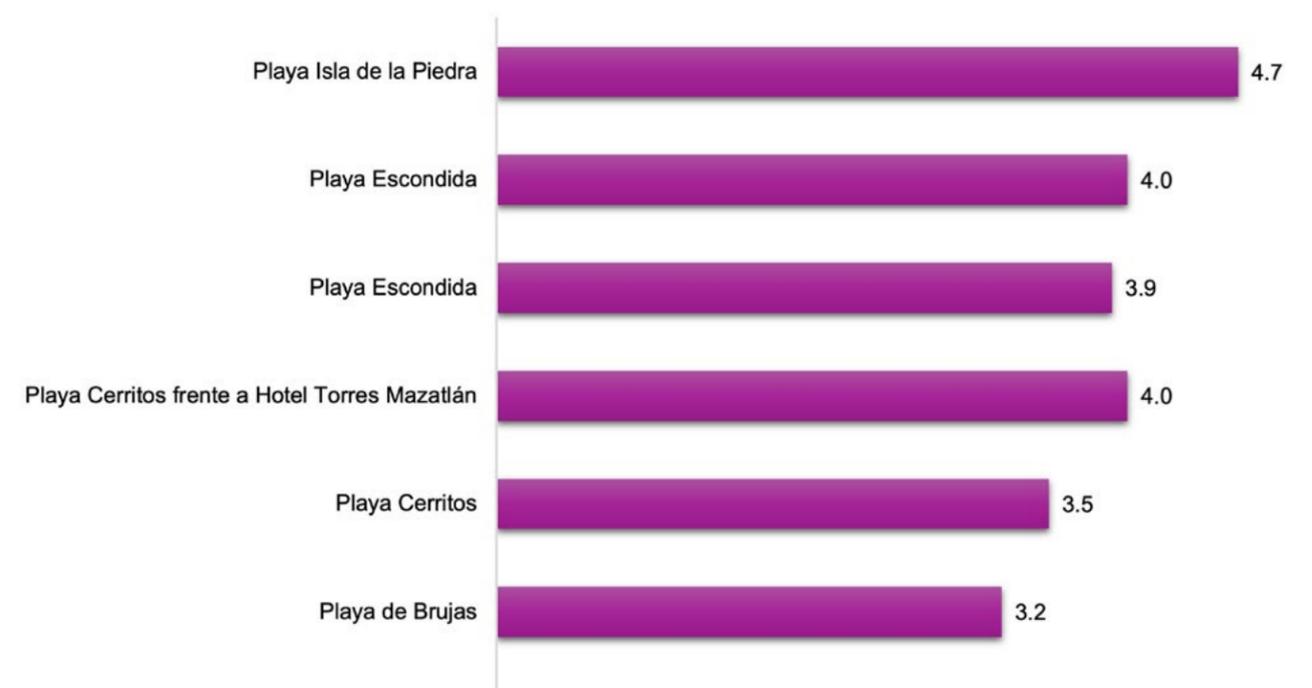
Con los resultados de la evaluación del potencial de inundación por un huracán categoría 4 se pudo constatar que este tipo de eventos pueden afectar a varias zonas de la ciudad, principalmente la zona centro y el cordón turístico costero, y también puede llegar a inundar las colonias cercanas al estero El Sábalo. Las zonas de afectación por una tormenta tropical están asociadas al aumento del nivel del mar, afectando a los habitantes cuyas viviendas colindan con los esteros antes descritos; por ejemplo, los fraccionamientos Independencia, Francisco I. Madero, Juan Carrasco y Benito Juárez (Figura 42).

5.5.7. Potencial natural de erosión costera

Una de las zonas más dinámicas dentro del litoral son las playas, donde existe un continuo intercambio de sedimentos debido al transporte litoral y al aporte continental y/o marino. El sedimento (arena) que se mueve de un sitio, se deposita en otro, de esta forma se presentan dos procesos sedimentarios en las playas: la acreción o depósito y la erosión o pérdida de playa. Para evaluar los procesos de erosión en las playas del destino turístico de Mazatlán, la SECTUR (2014) realizó un análisis del cambio de la línea de costa a partir de imágenes de satélite de los últimos 13 años. Los resultados de la erosión y acreción en Mazatlán mostraron una tasa de erosión de 1.08 m/año, lo cual indica un predominio de los procesos erosivos sobre los de acumulación.

De acuerdo con dicho estudio, la zona costera de la ciudad de Mazatlán presenta procesos tanto de erosión como de acreción. Es de destacar que, en el litoral de Mazatlán, en un periodo de 13 años, se registraron sitios críticos de erosión con pérdidas de hasta 4.7 m/año como es el caso de la Playa Isla de la Piedra, donde el transporte litoral ha sido interrumpido por la escollera del Puerto, ocasionando el punto crítico de mayor erosión. Desde 2014 se pudieron comprobar tasas de erosión costera preocupantes como las que se presentaron en la parte norte de Mazatlán, hacia playa Cerritos, con tasas de entre 3 y 4 metros/año, lo que la hace una zona vulnerable a la fuerte acción del oleaje por estar en mar abierto (Gráfica 31).

Basados en esta información se generó la evaluación del potencial de erosión costera, que tal como se mencionó anteriormente, considerando el análisis realizado por la SECTUR (2014). (Figura 43), donde resulta evidente el predominio de los procesos erosivos, es decir, la pérdida de playas, excepto en algunos sitios de la costa donde se aprecia la acumulación de sedimentos o procesos de acreción. Es importante analizar el papel que juegan las escolleras y puertos en este proceso por el impacto que genera su presencia al modificar la dinámica natural de las corrientes litorales, erosionando playas de un lado y depositando sedimentos del otro.



Gráfica 31. Tasa de erosión promedio anual (m/año) en puntos críticos del destino turístico de Mazatlán. Fuente: SECTUR, 2014

La mayor erosión costera se localiza en la franja litoral que abarca desde la playa Brujas hasta la playa Gaviotas, mientras que Punta Tiburón hacia el sur donde se ubica el Cerro del Vigía, ya no hay efecto de sombra de las islas. Así que los procesos de acreción y erosión en esta franja costera no se deben a esta causa.

5.6. Exposición

Para conocer el grado de exposición de la población y sus bienes (sistemas productivos y ecosistemas) ante los peligros por eventos climáticos descritos previamente, como primer paso se elaboró un mapa de peligros acumulados solo en las categorías de muy alto y alto, integrando los peligros de erosión e inestabilidad de laderas, mientras que para inundación se utilizaron 4 categorías (de bajo a muy alto) y para marea de tormenta la inundación por huracán H4. Es decir, se suman los mayores peligros para identificar las zonas donde éstos se acumulan.

Preparación de insumos

Como se explica anteriormente, el primer insumo que se genera es un mapa que resume los peligros potenciales identificados (inundación, marea de tormenta, erosión e inestabilidad de laderas) para lo cual se selecciona de cada uno de los cuatro peligros potenciales sólo las categorías alta y muy alta, y se reclasifican con el valor de uno (presencia de potencial) asignándose cero a la ausencia de potencial o a las clases inferiores de peligros.

De esta manera se obtienen cuatro mapas binarios los cuales posteriormente se superponen mediante la función "Identity" para sumar en la tabla de atributos el potencial de ocurrencia acumulada al que definimos como peligros acumulados (Figura 44).

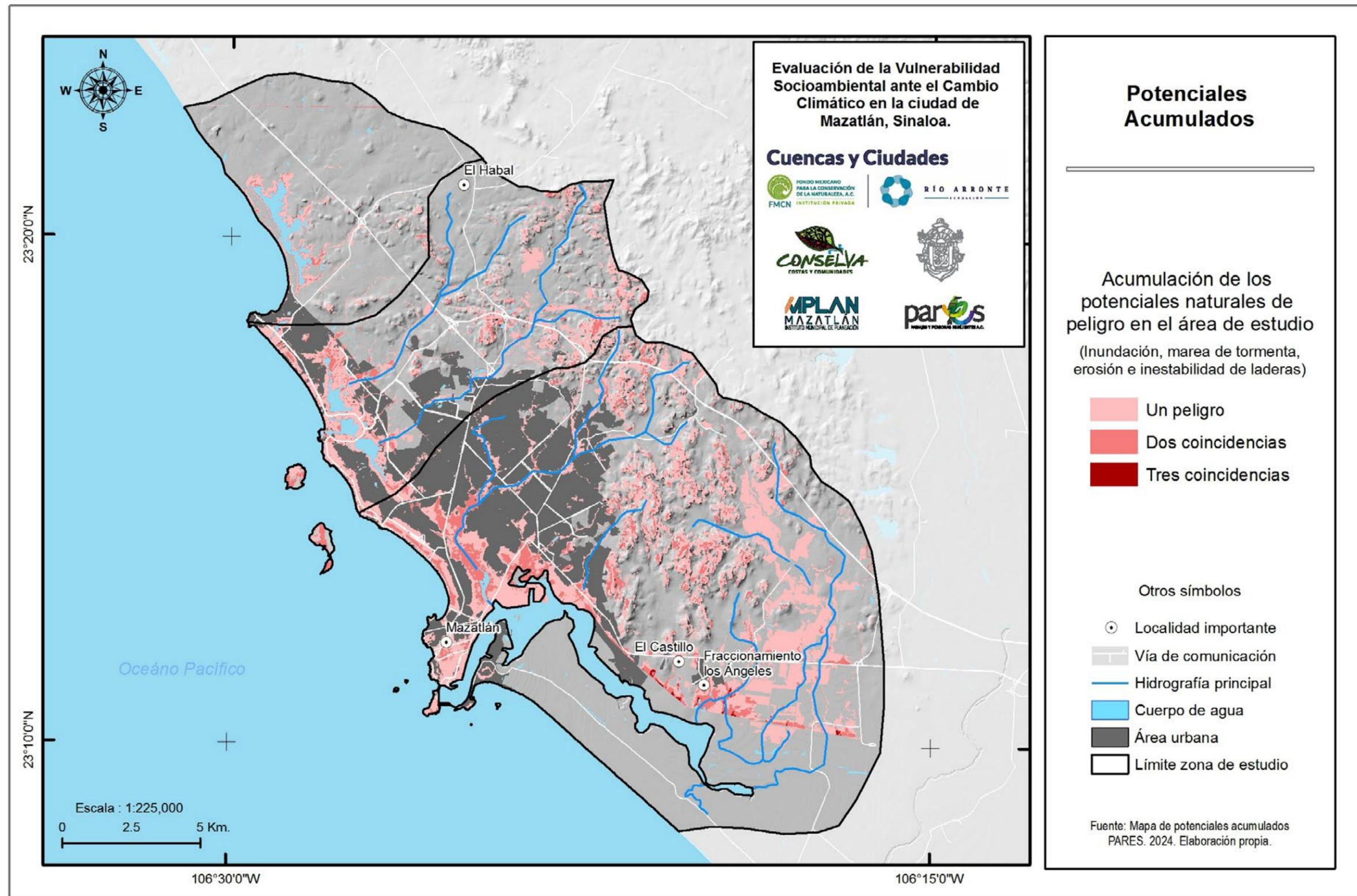


Figura 44. Acumulación de los potenciales naturales de peligro en el área de estudio. Fuente: Pares, A. C.

5.6.1. Exposición de la población

Para determinar la población asentada en las zonas de mayor exposición de la ciudad se tomó como base la información del conjunto de indicadores de población y vivienda a nivel AGEB y manzana urbana de la entidad federativa de Sinaloa, provenientes del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI 2021).

Preparación de insumos

Usando como base la capa de población en manzanas y mediante el comando “clip” en ArcGis se cortan las manzanas que coinciden espacialmente con la distribución de los peligros acumulados. El resultado son manzanas completas y manzanas parcialmente cortadas. Conocemos de antemano la superficie inicial, y se calcula en esta capa cortada la superficie expuesta para cada una de las manzanas. Ahora bien, cada manzana tiene el dato de población residente, sin embargo, con el objetivo de no sobreestimar la afectación en la población se asumió para fines prácticos que la distribución de la población en las manzanas es homogénea.

Bajo este supuesto se puede hacer una regla de tres para estimar la población en las proporciones de manzanas dividiendo la superficie expuesta entre la superficie original y al resultado de esta división se multiplica por la población para así obtener la población proporcional expuesta.

Por último, se clasifica esta población expuesta en cinco categorías por *rompimiento natural* (de mayor a menor número de personas expuestas) redondeando al número cerrado próximo. Esta clasificación muestra las manzanas de acuerdo con la población expuesta (**Figura 45**).

Algunos de los resultados obtenidos mediante este proceso destacan que hay 2,349 manzanas con una población de 102,377 habitantes que están expuestos. De éstas, 1,147 manzanas están expuestas de forma completa y en ellas habitan 72,402 personas, las restantes tienen afectaciones parciales. Al analizar la ubicación de las zonas de la ciudad donde se concentra la mayor cantidad de manzanas expuestas se aprecia que éstas se asientan o se encuentran cercanas al cauce del río Presidio y a otros ríos menores que atraviesan la ciudad, así como las que se localizan cerca del estero Urías y El Infiernillo. También en la franja costera es posible observar manzanas expuestas, sobre todo en la zona centro, cerca de la desembocadura al mar.

Con objeto de observar con más detalle las colonias de la ciudad con el mayor número de habitantes expuestos se realizó un mapa detallado de la exposición de las colonias de la zona urbana ya que ahí es donde se concentra la mayor cantidad de habitantes expuestos a los peligros acumulados (**Figura 44**).

Derivado de la evaluación por colonias resultaron 206 expuestas de alguna forma, mientras que en términos del número de habitantes expuestos la colonia Benito Juárez ocupa el primer lugar con una población de 7,145 habitantes que viven en 120 manzanas. En segundo lugar, le sigue la colonia Francisco I. Madero con 5,224 habitantes en 99 manzanas y la colonia Centro con 4,476 habitantes en 99 manzanas.

Las dos primeras colonias se caracterizan por estar cerca de cuerpos de agua (río Presidio y estero Urías) que han sufrido diversas modificaciones en sus cauces como consecuencia del crecimiento urbano no planificado, por lo que frecuentemente se desbordan ante eventos climáticos con precipitaciones extremas.

Otras colonias como Casa Redonda e Independencia (cercanas al estero Infiernillo), además de colonias como Pradera Dorada (ubicada en la periferia de la ciudad y expuesta a peligros como erosión e inestabilidad de laderas, junto con las colonias Los Ángeles, Lázaro Cárdenas, Jacarandas, Insurgentes, Sánchez Celis, Playa Sur y Montuosa que todas tienen más de 2,000 habitantes expuestos.

La información sobre la población expuesta a peligros climáticos es un insumo que puede resultar estratégico para la planificación urbana y el desarrollo sostenible (**Figuras 45 y 46**). Al integrar estos datos en los planes de desarrollo, se pueden tomar decisiones informadas sobre la ubicación de asentamientos humanos, la provisión de servicios básicos y la gestión del riesgo. Esto implica la promoción de la densificación urbana en áreas seguras, la reubicación de asentamientos irregulares y la protección de áreas naturales. De esta manera, se contribuye a construir una ciudad más resiliente y equitativa, capaz de enfrentar los desafíos del Cambio Climático.

5.6.2. Exposición de los sistemas productivos

De manera similar a como se realizó la estimación de la exposición de la población, en este caso los sistemas productivos y el sistema natural ubicados dentro de la zona urbana y su periferia se superponen a los peligros acumulados. A continuación, se detalla el proceso de preparación de estas capas.

Preparación de insumos

El mapa de exposición del sistema productivo y el del sistema natural (ecosistemas) se derivan de la reclasificación de las categorías del mapa de uso de suelo y vegetación 2024, elaborado por PARES A.C. para las subcuencas de Mazatlán como parte de este proyecto. La reclasificación de los tipos se detalla a continuación:

- Sistema productivo: se consideraron las clases de acuacultura, agricultura de temporal y riego, cultivos perennes, pastizales y potreros.
- Sistema natural: consideró la selva baja y mediana, los matorrales, el manglar y los humedales

A partir de las capas de información base, se calculó la superficie inicial de cada polígono en hectáreas. Posteriormente, se realizó un análisis espacial de intersección utilizando la herramienta 'Identity', cruzando esta información con la capa de peligros potenciales acumulados. El resultado de este proceso es una nueva capa que muestra la distribución espacial de las diferentes clases de uso del suelo o tipos de vegetación, considerando los peligros potenciales. Para fines de análisis del paisaje, los polígonos resultantes fueron agrupados en cinco categorías de

tamaño, lo que permite identificar las áreas más extensas y fragmentadas de cada clase. Esta clasificación facilita la interpretación visual de los resultados y su posterior análisis.

La evaluación de la exposición de los sistemas productivos revela que de las 8,796.9 hectáreas totales, el 26% (2,298.3 ha) se encuentra en áreas de riesgo, especialmente en las zonas sur y suroriente de la ciudad (**Figura 47**).

Los resultados, resumidos en el **Cuadro 31** y la **Gráfica 32**, indican que la acuacultura (646.8 ha) es el sistema productivo más afectado, con el 100% de su superficie expuesta debido a su proximidad al estero Urías. La agricultura de riego y de temporal también presentan una alta exposición, con un total combinado de 1,266.3 hectáreas, lo que evidencia la vulnerabilidad de estos sistemas ante eventos extremos como inundaciones y mareas de tormenta, poniendo en riesgo la alimentación y estabilidad económica de la población.

Comprender la exposición de los sistemas productivos ante potenciales peligros relacionados con el Cambio Climático es fundamental para desarrollar estrategias de adaptación y reducción de riesgos. Al identificar las áreas más vulnerables y los sectores productivos más expuestos, es posible tomar decisiones informadas para reducir la vulnerabilidad. Esta información permite priorizar inversiones en infraestructura, desarrollar sistemas de alerta temprana, implementar prácticas agrícolas sostenibles y promover la diversificación económica, entre otras medidas. De esta manera, se contribuye a fortalecer la resiliencia de las comunidades y a garantizar la seguridad alimentaria e hídrica.

Cuadro 31. Superficies totales y expuestas por tipo de sistema productivo. Fuente: Pares A.C.

Tipo de sistema productivo	Superficie total (ha)	Superficie expuesta (ha)
Acuacultura	646.8	646.8
Cultivo perenne	1,126.6	17.3
Agricultura	1,677.7	1116.0
Agricultura de riego	245.7	150.3
Pastizales	4,302.3	304.6
Potreros	797.9	63.4

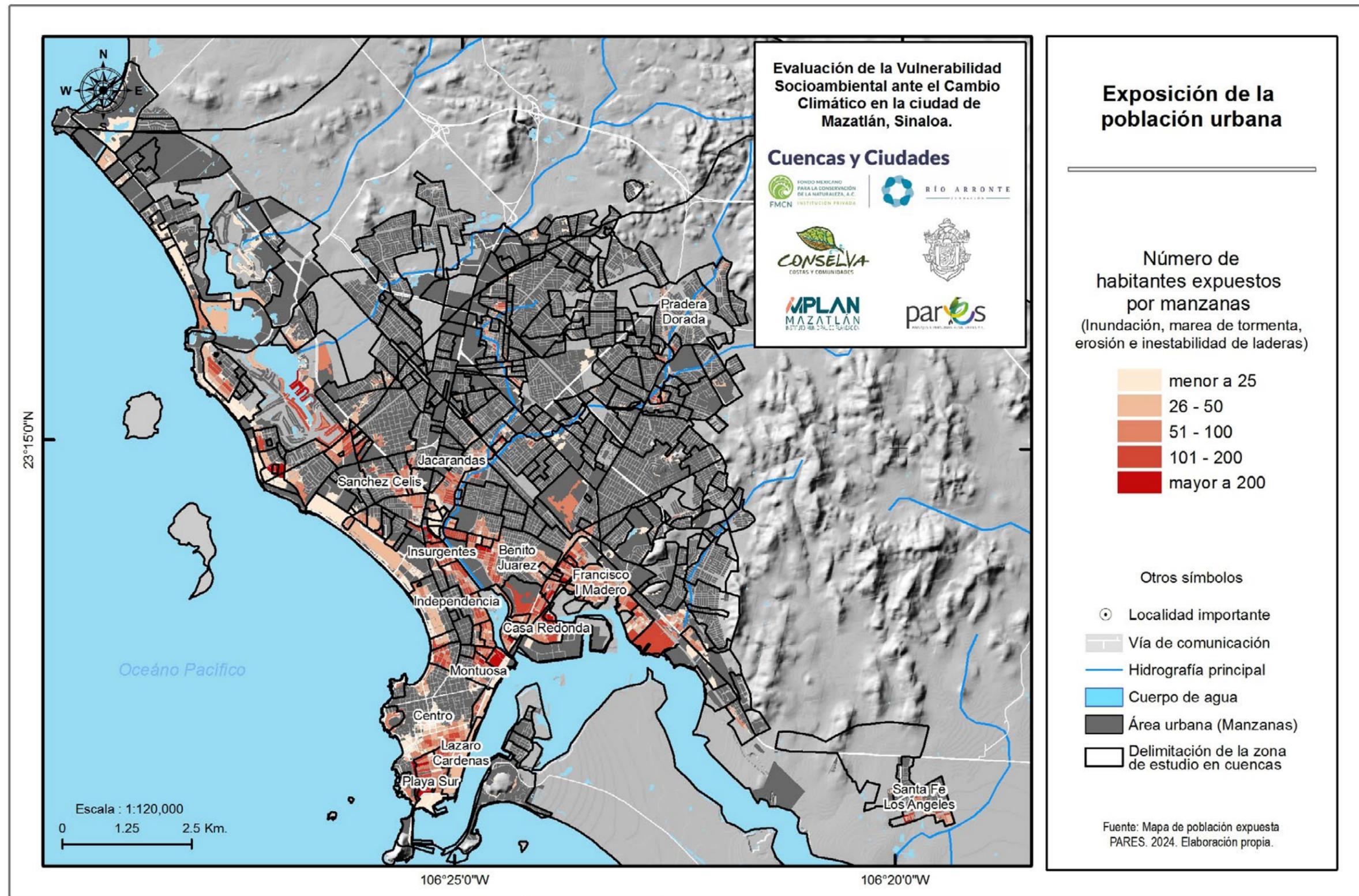
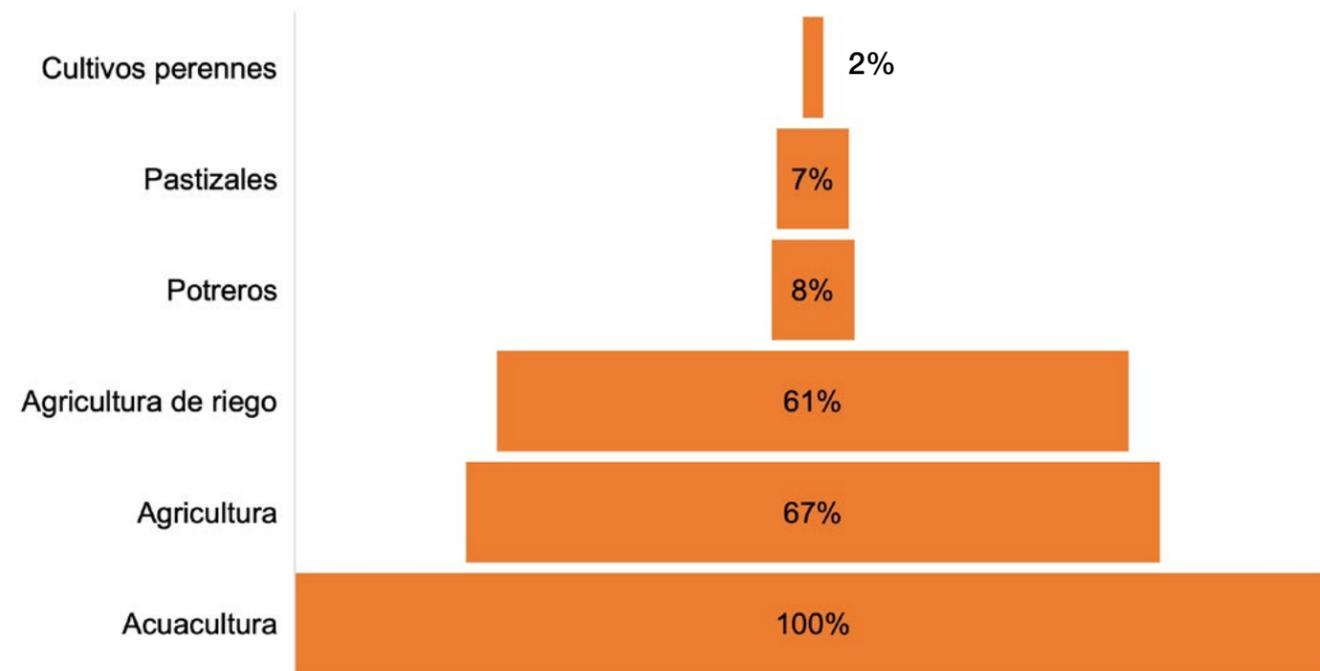


Figura 46. Detalle de la exposición de la población por colonias, zona urbana de Mazatlán. Fuente: Pares A.C.

Para una descripción detallada del tipo de cultivos anuales, perennes y del sector pecuario en Mazatlán se puede acceder al capítulo 5.3.5 Actividades productivas de este documento.

Gráfica 32. Proporción de la superficie expuesta por sistemas productivos. Fuente: Pares A.C.



5.6.3. Exposición del sistema natural

El análisis revela que los ecosistemas naturales de Mazatlán y sus alrededores, con 14,717.6 hectáreas, abarcan una superficie significativamente más extensa que la de los sistemas productivos. No obstante, estos ecosistemas no están exentos de riesgos, ya que el 16% de su superficie (2,366 hectáreas) se encuentra en zonas expuestas a peligros potenciales, según se muestra en la **Figura 48**. El **Cuadro 32** y la **Gráfica 33** detallan la superficie y el porcentaje de la superficie expuesta por cada tipo de ecosistema.

Los ecosistemas más expuestos se localizan al oriente y norte de la ciudad, algunos muy cercanos a zonas de reciente crecimiento urbano o a lomeríos sujetos a peligros de erosión o inestabilidad de laderas.

Es importante destacar que la salud de los ecosistemas está directamente relacionada con la resiliencia de la ciudad de Mazatlán. Los ecosistemas saludables contribuyen a mejorar la calidad del aire y del agua, regulan el clima

local y proporcionan hábitats para la biodiversidad. Al conservar y restaurar estos ecosistemas, se fortalece la capacidad de la ciudad para adaptarse al Cambio Climático. Los resultados del estudio evidencian que las zonas con mayor cobertura de vegetación natural presentan menor vulnerabilidad a los riesgos asociados al Cambio Climático, como la erosión y las inundaciones.

Según Raquel Zapien (2022), “en el caso específico de Mazatlán, la vegetación predominante y según estas estimaciones la más expuesta ante los impactos del Cambio Climático, es la selva baja caducifolia, a la que también se le conoce como bosque tropical caducifolio. Este ecosistema se caracteriza porque los árboles pierden sus hojas en la época seca del año y están adaptados a la sequía. Este tipo de vegetación aún puede observarse en la periferia de la ciudad y en los predios que no han sido intervenidos dentro de la mancha urbana. Estas selvas han sido taladas y alteradas para usos ganaderos, agrícolas y madereros, principalmente. Otras amenazas son los incendios forestales, la cacería de subsistencia y el tráfico ilegal de especies”.

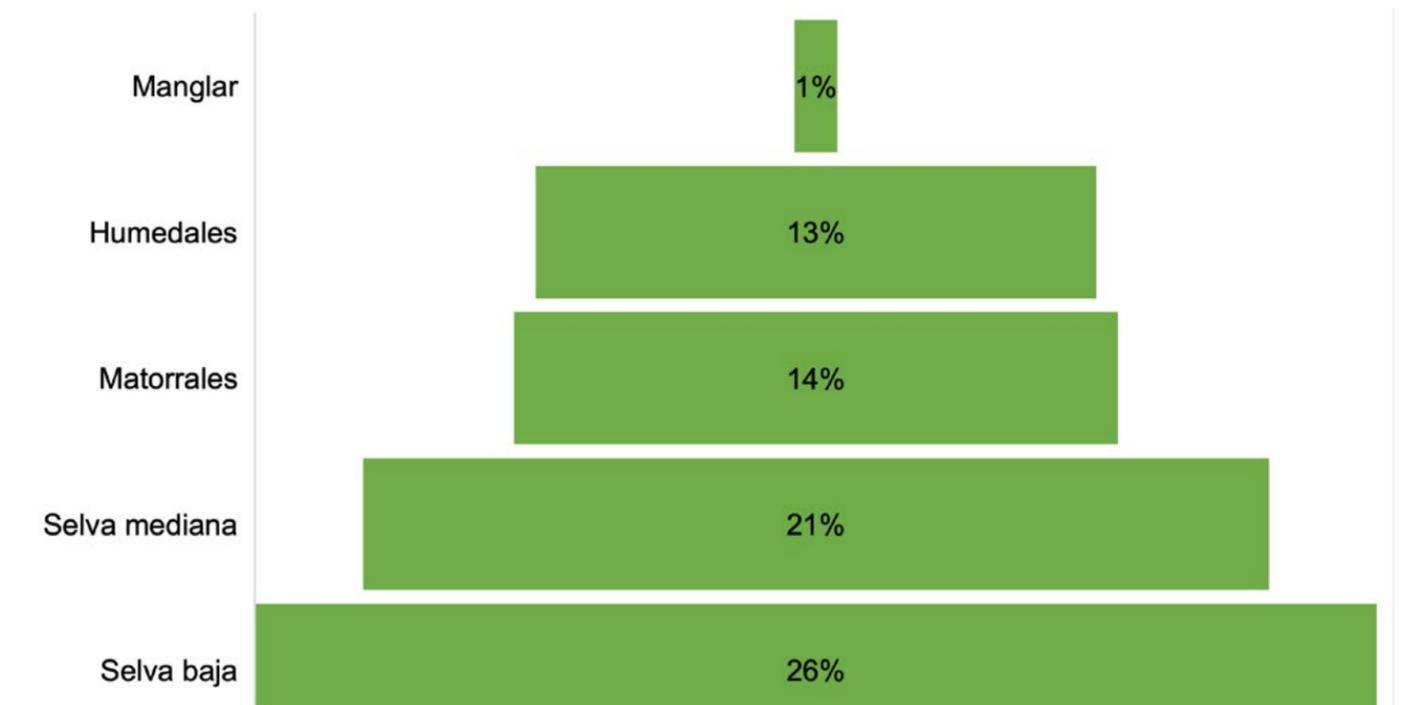
CONABIO (s/f) plantea que, si bien “estas selvas tienen baja productividad maderera, su presencia es de vital importancia porque proveen de madera, leña y productos no maderables, así como áreas de pastoreo extensivo para las poblaciones humanas. Son el hábitat de los parientes silvestres de varios de los principales cultivos de México (maíz, frijol, calabaza). Además, realiza servicios ecosistémicos de captura de carbono, conservación de suelos, de biodiversidad y de riberas contribuyendo a la regulación de clima y al mantenimiento de los ciclos minerales. Son hábitat de especies silvestres endémicas y/o de valor comercial”.

La deforestación a gran escala de estas selvas se disparó a partir de 1970 con el impulso al reparto agrario, la revolu-

La deforestación a gran escala de estas selvas se disparó a partir de 1970 con el impulso al reparto agrario, la revolu-

Tipo de ecosistema	Superficie total (ha)	Superficie expuesta (ha)
Humedales	915.6	119.2
Manglar	419.0	6.3
Matorrales	9,804.4	1340.4
Selva baja	2,930.3	764.4
Selva mediana	648.2	135.7
Total	14,717.5	2,366

Cuadro 32. Superficie expuesta por tipo de ecosistema. Fuente: Pares A.C.



Gráfica 33. Proporción de la superficie expuesta de los ecosistemas. Fuente: Pares A.C.

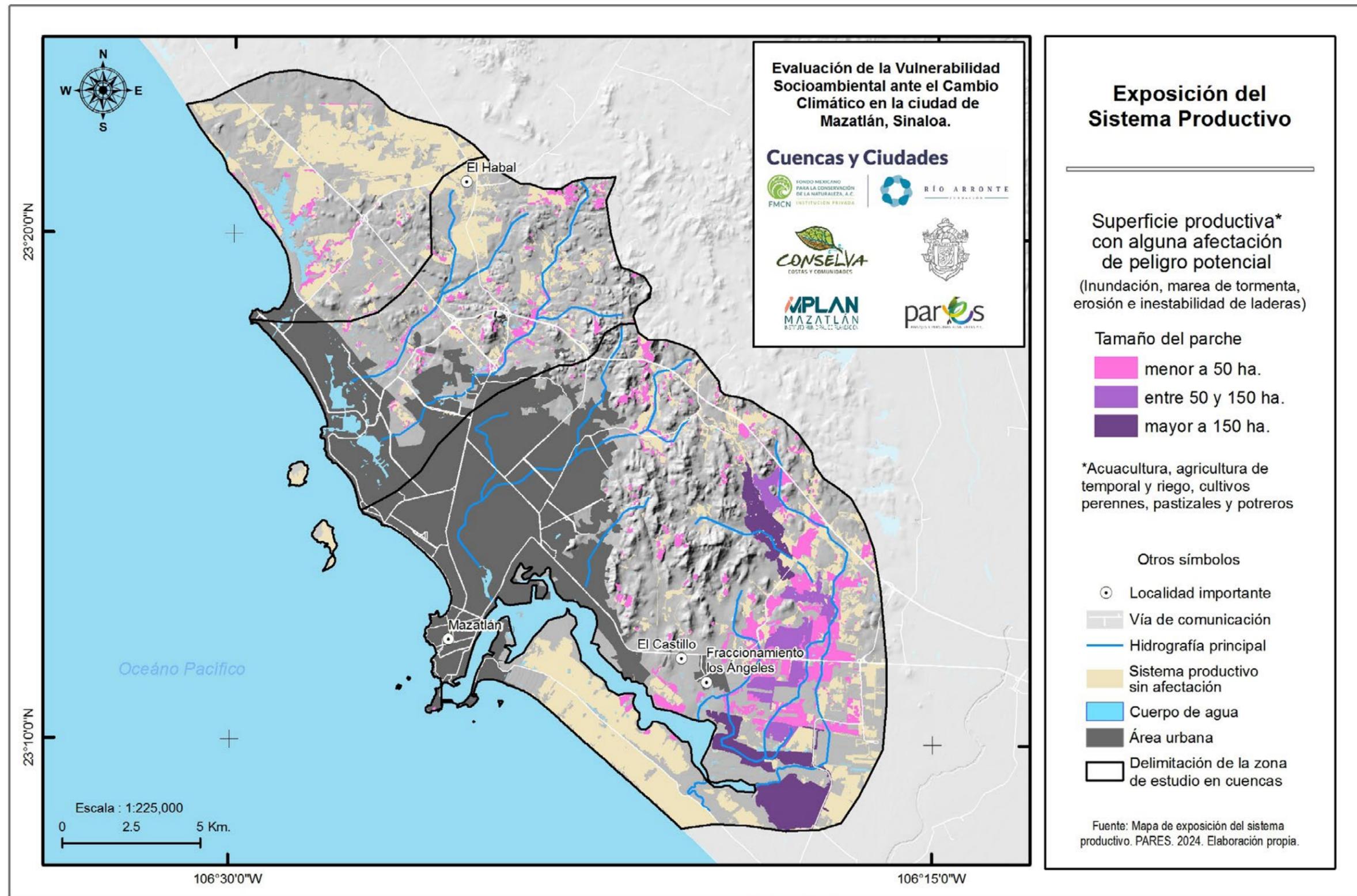


Figura 47. Exposición de los sistemas productivos en Mazatlán. Fuente: Pares A.C.

ción verde y el fomento agropecuario que favorecieron la transformación de millones de hectáreas en distritos de riego, plantaciones y tierras de agostadero para la ganadería extensiva. Así mismo la infraestructura del turismo a gran escala ha contribuido a la pérdida de estas selvas.

El Cambio Climático amenaza con hacer extremas las condiciones de aridez y desertificación. Actualmente los remanentes de selvas secas en México se siguen perdiendo y fragmentando” (CONABIO, (s/f).

Por su parte, la selva baja caducifolia es uno de los ecosistemas más biodiversos y complejos del planeta. Este tipo de selva se encuentra principalmente en zonas de clima tropical y subtropical. Sin embargo, para que esta selva pueda prosperar, es necesario que existan una serie de factores bióticos y abióticos que la favorezcan y si éstos se ven modificados, ya sea por impactos naturales o por las actividades humanas, este ecosistema puede desaparecer.

Estas selvas han sido tradicionalmente fuente de maderas, leña y diversidad plantas y animales para la subsistencia de comunidades rurales e indígenas. Además, son sustento de los procesos de funcionamiento de los ecosistemas incluyendo ciclo de nutrientes y agua, retención y formación de suelos, hábitat de biodiversidad, regulación del clima, erosión y eventos extremos, mantenimiento de la biodiversidad. También desempeñan un papel importante en la regulación de polinizadores, plagas y vectores de enfermedades. Así mismo, la producción de miel depende de múltiples especies de abejas nativas, europeas y africanizadas que visitan muchas de las especies que caracterizan a estas selvas” (CONABIO, s/f).

Los principales impactos que afectan a estos ecosistemas son la destrucción por el cambio de uso de suelo para dedicarlo a agricultura o ganadería, y el Cambio Climático que se prevé que ocasione condiciones más cálidas y secas lo cual ocasionaría la ampliación de los ecosistemas secos.

5.6.4. Exposición de la Infraestructura

Con el objetivo de tomar decisiones informadas para mitigar los impactos del Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, se evaluó la exposición de la infraestructura tomando en cuenta dos componentes relevantes. Por un lado, se analizaron las posibles afectaciones de las unidades económicas que sustentan la actividad económica local ante eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías. Por otro lado, se consideró la suscep-

tibilidad de las vías de comunicación, esenciales para la conectividad y el acceso a servicios básicos, ante eventos climáticos extremos.

Metodología

En el caso de la exposición de las unidades económicas se utilizó como insumo base la información tabular contenida en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENU (INEGI, 2024). De esta información se eligieron aquellas unidades cuya infraestructura puede tener incidencia en las respuestas ante eventos catastróficos.

Las unidades seleccionadas se agruparon dentro de los siguientes sectores: Energía eléctrica; escuelas; hospitales; y dependencias de gobierno (solo las relacionadas con la atención ciudadana), acuicultura; hoteles y servicios de alojamiento, restaurantes, bares y discotecas -que corresponden al sector turismo-. Dado que la información se encuentra referida geográficamente a través de puntos (latitud y longitud), nos permite cruzar su ubicación directamente en ArcGis por medio del comando Identity con la información de los polígonos de peligros acumulados.

A fin de evitar errores de omisión (por la naturaleza puntual de la capa de Unidades Económicas), se realizó la siguiente consideración: para determinar el grado de afectación de la infraestructura se consideró sumar esta capa a las manzanas que tienen por lo menos el 50% de la superficie expuesta a peligros relacionados con el clima. Por ejemplo, si un hospital se localiza fuera del alcance directo del peligro de inundación, pero se encuentra ubicado en una manzana donde la mitad de ella si está expuesta a peligros potenciales, entonces asumimos que el funcionamiento del hospital se puede ver afectado por las complicaciones de las vías inundadas que dificultarían el acceso correcto de ambulancias y enfermos que llegarán a buscar atención; por lo tanto, se considera que el punto del hospital se encuentra expuesto. Este criterio se aplicó para sumar unidades de todos los sectores arriba descritos.

Por otra parte, las vías de comunicación también fueron consideradas para el análisis de exposición de la infraestructura, debido a la importancia que tienen para los planes de evacuación o para las dinámicas de atención ciudadana. Para calcular este tipo de exposición se sobrelaparon las capas de vías de comunicación de los conjuntos vectoriales de INEGI (escala 1:50 000) con los peligros acumulados para obtener el grado de afectación en unidades de longitud. Se consideraron vías de primer, segundo, tercero y cuarto orden de acuerdo con la clasificación utilizada por INEGI.

Resultados

Existen en Mazatlán algunas unidades económicas de suma importancia socioeconómica, entre los que destacan las relacionadas con las actividades turísticas. Tres de estas unidades son: Hoteles, Restaurantes y Bares que resultaron ampliamente expuestos. El 68% de los servicios de alojamiento y bares se encuentran expuestos a alguno de los peligros identificados -Inundación, inestabilidad de laderas, erosión-, etc. En el caso de los restaurantes y su amplia oferta de servicios, el 40% de éstos se encuentra expuesto.

La explicación a estos altos niveles de exposición tiene que ver con la preferencia de estos sectores por situarse lo más cerca posible de la línea de costa o de arroyos y esteros, donde el peligro de inundación por desborde de ríos o por marea de tormenta es mayor que en otras partes de la ciudad (**Cuadro 33, Gráfica 34 y Figura 49**).

Por su parte, dos sectores estratégicos para la ciudad, como la infraestructura gubernamental que tiene que ver con atención a la ciudadanía y la respuesta ante eventos extremos, se encontró 79.6% expuesta, junto con los sectores agua y energía eléctrica que resultaron con un 52.6% de exposición, por otro lado, el sector educativo resultó con 40% de las escuelas expuestas, finalmente los sistemas de atención a la población, como hospitales y alber-

gues expuestos, rondan cerca del 29%. La infraestructura acuícola, que por su impacto económico es una actividad importante en la ciudad, presenta valores altos de exposición con 68%, esta situación también tiene que ver con su ubicación cerca de cuerpos de agua (esteros). Otros sectores con menores porcentajes de exposición se desglosan en el **Anexo II**.

En lo que respecta a las vías de comunicación los resultados muestran que en la zona urbana hay 383.20 km expuestos, la mayor parte de estas afectaciones potenciales (69%) se encuentran al interior de las colonias, principalmente entre las vías de tercer orden. Sin embargo, no es despreciable el 22 % de exposición que se observa en las vías de primer orden, pues esta situación puede provocar serios e importantes conflictos en la circulación durante y posterior a algún evento extremo, ya sea en las tareas de evacuación o para la movilidad en la atención de las emergencias (**Cuadro 34**).

Cuadro 33. Principales infraestructuras urbanas expuestas. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI (2024).

Sector	Número unidades existentes	Unidades expuestas
Acuicultura	26	16
Bares/discotecas	107	77
Escuelas	340	159
Gobierno	49	39
Hospitales	17	5
Restaurantes	611	235
Servicio Alojamiento	166	128
Agua y Energía eléctrica	38	20
Total	1,354	679

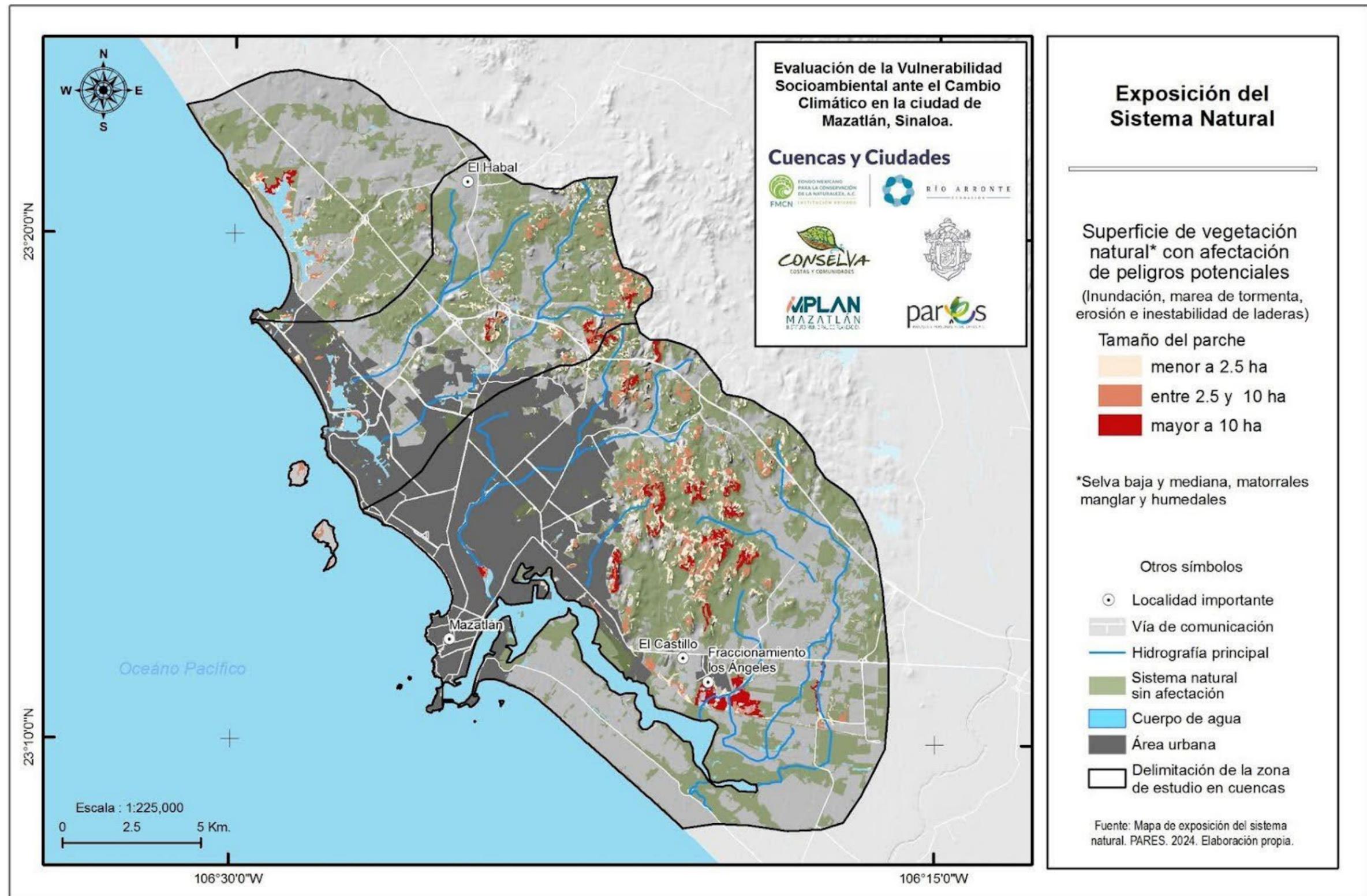


Figura 48. Exposición del sistema natural. Fuente: Pares A.C.

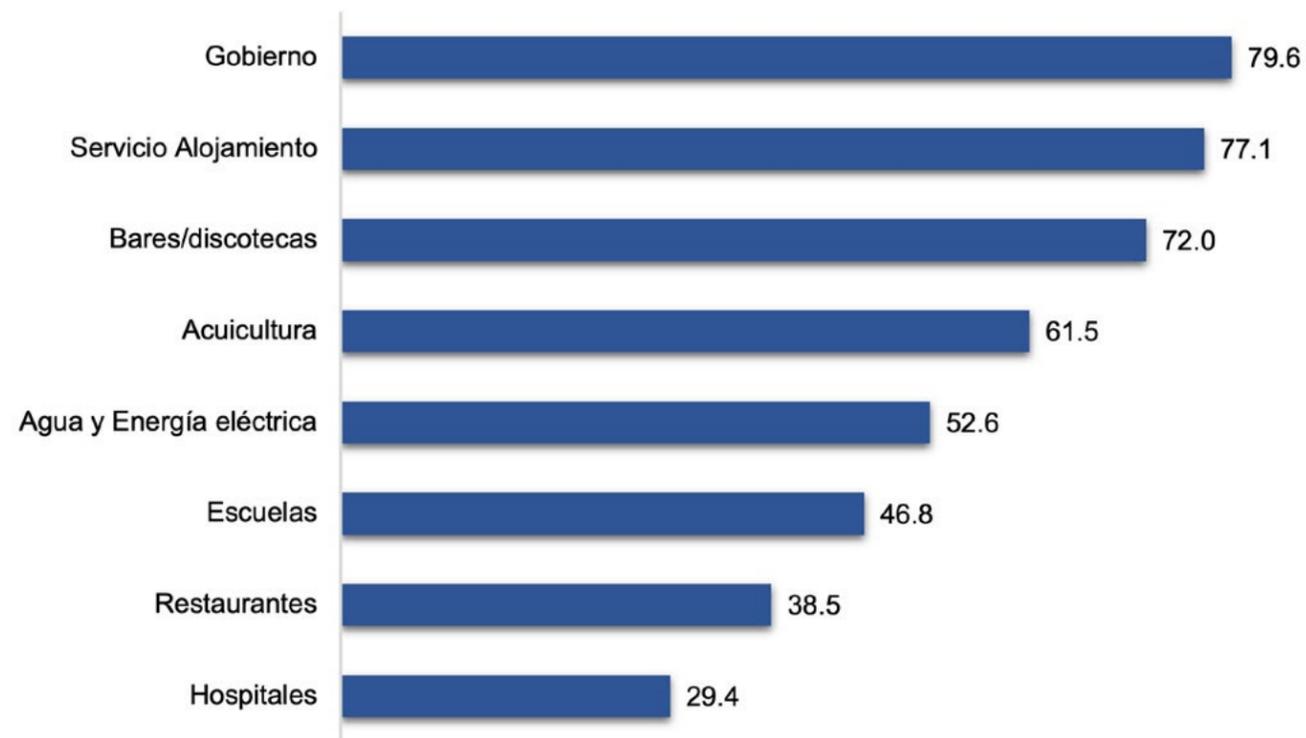


Gráfico 34. Porcentaje de exposición de la infraestructura por sector.
Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI (2024).

Es posible identificar que en muchos casos las vialidades con mayor exposición colindan con los arroyos que cruzan la ciudad y/o con los esteros cercanos a la costa. Otras vialidades también se localizan cerca de elevaciones que pueden verse afectadas por la inestabilidad de laderas desencadenada por algún evento hidrometeorológico.

Los resultados del análisis evidencian una alta exposición de infraestructuras críticas en la ciudad como aquellas relacionadas con gobierno, suministro de agua y energía eléctrica, la exposición de escuelas, hospitales y vías de comunicación representan también una amenaza significativa para el bienestar de la población y la capacidad de respuesta ante emergencias. La interrupción de servicios básicos y la dificultad para acceder a atención médica pueden tener consecuencias graves en caso de eventos climáticos extremos.

También se encontró infraestructura expuesta de las unidades económicas relacionadas con el turismo, especialmente hoteles y restaurantes, ante peligros como inundaciones y erosión costera. Esta situación pone en riesgo una de las principales fuentes de ingreso de la ciudad y afecta directamente la imagen turística de

Mazatlán. Los resultados también muestran una clara concentración de riesgos en la zona costera y en áreas cercanas a cuerpos de agua, donde la actividad económica y la infraestructura se encuentran más expuestas a inundaciones, erosión y otros peligros asociados al aumento del nivel del mar, situación que subraya la necesidad de una gestión integral del riesgo: La evaluación realizada revela la necesidad de adoptar un enfoque integral para la gestión del riesgo, considerando la interrelación entre los diferentes elementos de la infraestructura urbana y los peligros climáticos a los que están expuestos.

Con el objetivo de fortalecer la planificación urbana resulta fundamental implementar políticas de ordenamiento territorial que tomen en cuenta estos peligros y restrinjan la construcción en zonas de alto riesgo, a la vez que se promueve el desarrollo de infraestructura resiliente en áreas seguras. En sinergia con la actualización de los atlas de riesgo y la actualización del programa de desarrollo urbano que actualmente se encuentra en elaboración, también es importante destacar el desarrollo de reglamentos de construcción más estrictos y la promoción de prácticas de construcción sostenible que incluyan ejes de adaptación al Cambio Climático y

soluciones como: La implementación de medidas basadas en la naturaleza, como la restauración de manglares y la creación de áreas verdes infiltrantes para apoyar la reducción del riesgo de inundaciones y erosión costera, además de mejorar la calidad ambiental y la calidad de vida de la población. El desarrollo e implementación de sistemas de alerta temprana que permitan a la población y a las autoridades tomar medidas preventivas ante la ocurrencia de eventos extremos, reduciendo así los daños y pérdidas humanas.

5.7. Sensibilidad socioeconómica

En este estudio se desarrolla el procedimiento y se presentan los resultados de la construcción de un Índice de Sensibilidad Socioeconómica con Brechas de Género (ISSEBG) a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas Urbanas (AGEB_u) para evaluar la vulnerabilidad ante el Cambio Climático, considerando las desigualdades de género.

La construcción del ISSEBG implicó un desafío metodológico debido a la limitada disponibilidad de datos desagregados por sexo a nivel local. Sin embargo, se logró desarrollar un proceso en tres etapas:

- Cálculo del Índice de Sensibilidad Socioeconómica (ISSE): Se estimó un ISSE para cada AGEB_u, considerando variables socioeconómicas que reflejan la vulnerabilidad de la población.
- Construcción del Índice de Brechas de Género (IBG): Se elaboró un IBG para cada AGEB_u, utilizando indicadores que miden las desigualdades entre hombres y mujeres.
- Integración de índices: Se combinaron el ISSE y el IBG para obtener el ISSEBG, que refleja tanto la vulnerabilidad socioeconómica como las desigualdades de género.

Para facilitar la interpretación de los resultados, los mapas generados se relacionan con la división administrativa por colonias, familiarizando al lector con la distribución espacial de la vulnerabilidad.

En los siguientes apartados se detallan los procedimientos metodológicos empleados para la construcción de cada índice, así como la justificación teórica de las variables seleccionadas.

Orden y tipo de vía	Longitud expuesta (km.)
Primer orden	84.46
Avenida	66.76
Boulevard	5.73
Calzada	5.94
Circuito	6.00
Segundo orden (Prolongación)	84.46
Tercer orden (Calle, callejón y retorno)	84.46
Cuarto orden (Andador, cerrada, peatonal y privada)	84.46
Total	467.66

Cuadro 34. Exposición de las vías de comunicación por orden y tipo.
Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI 2021

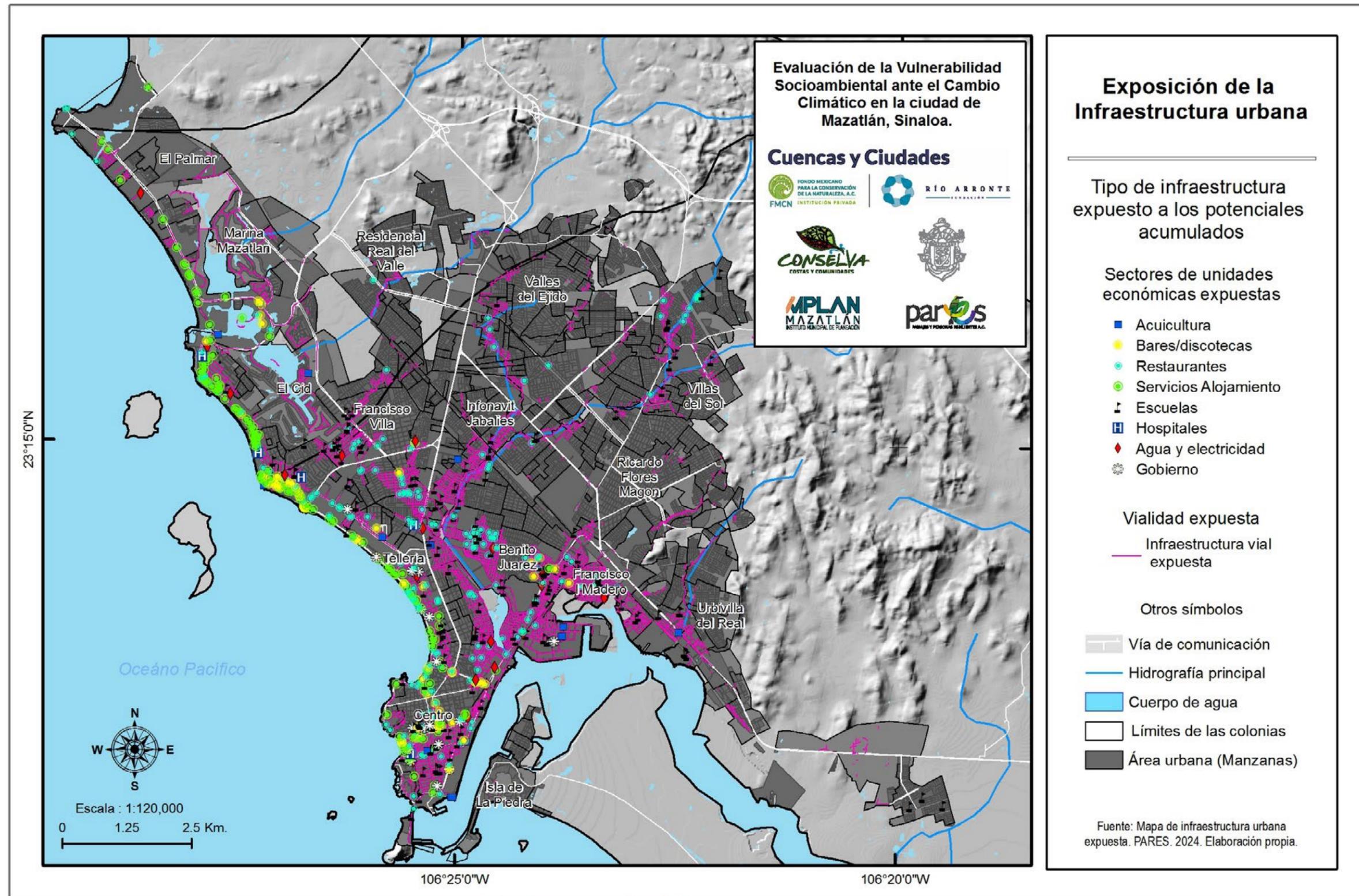


Figura 49. Exposición de la infraestructura urbana ante eventos climáticos. Fuente: Pares A.C.

5.7.1. Índice de sensibilidad socioeconómica

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), se entiende la vulnerabilidad como:

"El nivel en el que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación." (INECC, 2018)

De tal definición se desprende el algoritmo para su estimación, que coloca a la sensibilidad socioeconómica como uno de sus insumos o componentes.

Actualmente existen en el país diversas aportaciones para la elaboración de índices de vulnerabilidad de la población, enfocados tanto a la protección civil (CENAPRED 2006), como directamente ante los efectos del Cambio Climático (Monterroso-Rivas et al. 2013). Si bien unos son relativamente más complejos que otros en su elaboración, todos presentan similitudes importantes tanto en los temas como en los indicadores incorporados en sus respectivos análisis en el ámbito socioeconómico. No podría ser de otro modo dado que, en general, parten del hecho de que la vulnerabilidad de las poblaciones trata de las características sociales y económicas que limitan en distintos grados la capacidad de afrontar, en un caso la atención de la emergencia, su rehabilitación y recuperación frente a un desastre y, en otro, los efectos negativos del Cambio Climático.

Sin haberse generado hasta el momento un consenso al respecto, operacionalmente al término vulnerabilidad socioeconómica se le ha dado contenido de diversas maneras, dependiendo del enfoque y los objetivos que los estudios se propongan. Así, por ejemplo, un enfoque basado en desigualdades, lo que también puede considerarse enfoque de derechos, se aprecia en las estimaciones del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) sobre pobreza (vulnerables por carencias sociales, o vulnerables por ingresos (CONEVAL, 2019).

Por otro lado, un enfoque normativo se puede desprender del estudio sobre vulnerabilidad social frente a desastres del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), estudio que establece *umbrales* para determinar situaciones de vulnerabilidad en diferentes

campos analíticos (CENAPRED. 2006). En nuestro país predominan los estudios de vulnerabilidad que se basan en el enfoque de las desigualdades. Es de esta manera que se estudia la vulnerabilidad de, por ejemplo, cohortes específicas (adultos mayores, niñas y niños), o segmentos poblacionales (pueblos originarios o mujeres), etc.

En todo caso, lo que subyace en las propuestas referidas es el reconocimiento de que la vulnerabilidad socioeconómica se encuentra estrechamente vinculada con una serie de factores, entre los que se encuentran: la falta de acceso a recursos (por ejemplo, información, conocimiento y tecnología); acceso limitado al poder político y a la representación; capital social limitado (por ejemplo, acceso limitado a redes o conexiones sociales); el nivel de acceso a vivienda y su calidad; limitaciones físicas individuales, y nivel de acceso a infraestructura y su calidad (por ejemplo, vías de comunicación, hospitales, etc.). Otros factores importantes que pueden determinar las condiciones de vulnerabilidad en una sociedad son la inequidad, la marginación social, la falta de acceso a seguros y la inseguridad alimentaria (INECC, 2012, p. 63).

Bajo este marco teórico-conceptual se estimó el índice de sensibilidad socioeconómica que se presenta, utilizando como fuente de información el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI debido a la concordancia de éste con las unidades de análisis que se emplearon en la evaluación.

Unidades de análisis

Se optó por utilizar a las AGEB urbanas como las unidades más apropiadas para este análisis, en el caso particular de Mazatlán se ubican 278 de las cuales 11 no presentan suficiencia de información para la estimación del índice, ya sea porque no presentan datos de población, o del dato de viviendas particulares habitadas, variables ambas indispensables para este ejercicio.

En lo que respecta a las localidades fuera de la zona urbana, se consideraron todas aquellas ubicadas en las AGEB rurales que interceptan con el área de estudio. Del total de 705 localidades que se encuentran comprendidas en el área de estudio 420 presentan ausencia de información en multitud de variables, lo cual podría tener fundamento en el principio de confidencialidad que impide al INEGI proporcionar información de localidades de una y dos viviendas. Bajo esta situación, se estimó el índice solo para 285 localidades.

Indicadores

Para la estimación del índice de sensibilidad socioeconómica en los niveles de agregación señalados (AGEB urbanas y localidades) se seleccionaron 17 variables del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI en 7 campos temáticos: Vivienda, Salud, Población, Educación, Recursos para la información y la comunicación, Género y Economía. Cada campo y las variables que lo comprenden tuvieron igual ponderación en la estimación. En el **Cuadro 35** se muestran los campos, las variables, la justificación de su inclusión y el sentido en que fue tomado cada indicador.

Tratamiento de las variables

Dispuesta la base de datos con las variables de interés y con la finalidad de trabajar con magnitudes en una misma escala, estas fueron tratadas con procedimientos básicos y sencillos consistentes en proporciones y tasas preferentemente, -con excepción de la población la cual se incorporó como densidad en el caso de las AGEB urbanas, y del tamaño de la localidad según criterio del INEGI para las localidades-.

Procedimiento

Con apoyo del programa ArcGis cada variable previamente tratada -convertida ya en porcentaje, tasa o densidad- fue estratificada a través del método de *rompimiento natural* en 5 clases a las que posteriormente se les asignó un valor. Estos valores asignados fueron números naturales del 1 al 5, estableciéndose un gradiente de menor a mayor sensibilidad en correspondencia con la magnitud del número (uno = menor sensibilidad; cinco = mayor sensibilidad). A su vez, éstos pasaron a sustituir en cada caso (AGEB o localidad) el valor que cada una de las 17 variables alcanzó en ella.

Posteriormente se realizó una sumatoria de las puntuaciones obtenidas en los 17 indicadores para cada caso. Este resultado fue procesado nuevamente en ArcGis para estratificarlo también en 5 clases con el mismo procedimiento de *rompimiento natural*, lo cual, una vez obtenidos los intervalos, permitió establecer una categoría de sensibilidad, de la muy alta a la muy baja, a cada unidad de análisis (AGEB urbana o localidad).

En resumen, la estimación del índice se basa en una comparación de las condiciones que guardan los indicadores empleados, en cada unidad de análisis. Es decir, se trata

de una comparación cuyos resultados deben interpretarse en ese contexto. En otras palabras, el que una AGEB o localidad presente un grado de sensibilidad Muy Bajo, por ejemplo, no implica necesariamente un estado de cosas cercano a un nivel de desarrollo que pudiera considerarse óptimo o el máximo posible alcanzable; sí indicaría que se trata de una unidad de análisis con indicadores más favorables que otras unidades de análisis con grado de sensibilidad distinto.

Resultados

Por ser de particular interés ubicar las mayores afectaciones potenciales frente a los peligros analizados en la parte correspondiente de este estudio, en este apartado se resaltan las colonias de la ciudad de Mazatlán y las localidades rurales en el área de estudio con grados Muy altos y Altos de sensibilidad socioeconómica.

La representación gráfica de los resultados de la estimación del índice de sensibilidad socioeconómica para la ciudad de Mazatlán permite observar que la distribución territorial de los grados altos y muy altos se acumulan hacia la parte este de la ciudad, delimitada aproximadamente por un eje transversal sobre la mancha urbana, teniendo al Fraccionamiento Los Pinos en el sur y la colonia Jesús Osuna en el norte como los puntos extremos del eje (**Figura 51**).

Por su parte, en la **Figura 52**, correspondiente a las localidades rurales, se puede apreciar que aquellas que se identifican con grado Muy alto de sensibilidad se ubican de la parte media de la cuenca hacia la parte alta; localidades con grado Alto y Medio de sensibilidad se distribuyen a lo largo y ancho del territorio en estudio, en tanto que localidades con grados Bajos y Muy Bajos del indicador se concentran preferentemente en la parte alta y baja de la cuenca.

AGEB urbanas por sensibilidad socioeconómica

Los resultados encontrados indican que de las 267 AGEB urbanas a las que se les estimó el índice, 36 se encuentran con grado Muy Alto de sensibilidad socioeconómica y en ellas habitan 2,388 personas; 76 AGEB se ubicaron con grado Alto de sensibilidad, con una población de 53,278; en grado Medio se encuentran 71 AGEB, cuya población asciende a 130,388; en grado Bajo de sensibilidad se encontraron 46 AGEB con población de 116,074; finalmente, en grado de sensibilidad socioeconómica

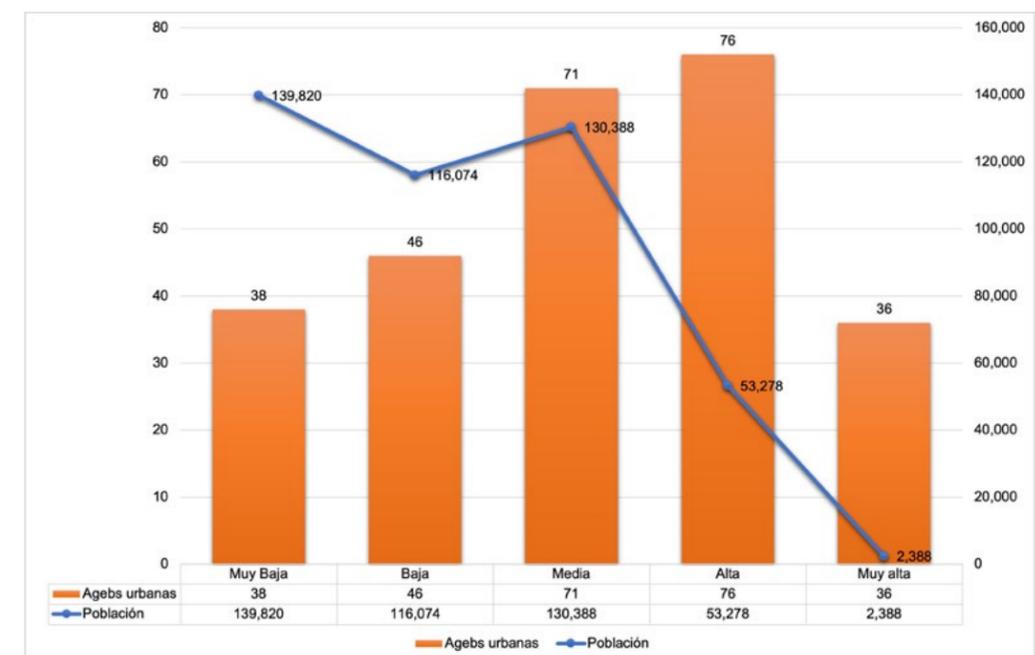
Campos	Indicador	Justificación/Orientación del indicador
Vivienda, servicios y bienes	1. % de viviendas particulares habitadas sin agua entubada en el ámbito de la vivienda	Carencia de servicios públicos básicos -agua y drenaje- en las viviendas y de dispositivo para almacenamiento del líquido es indicador de múltiples aspectos entre los que se pueden citar la exclusión de los beneficios del desarrollo, condiciones adversas para la vida diaria, la higiene y la salud. Mayor porcentaje de hogares con carencias, mayor sensibilidad.
	2. % de viviendas particulares habitadas sin drenaje	
	3. % de viviendas particulares habitadas sin cisterna o aljibe	
	4. % de VPH sin refrigerador	Disponibilidad de conservación de alimentos y capacidad de movilidad para evacuación, búsqueda y traslado de ayuda. Mayor porcentaje de hogares sin estos bienes, mayor sensibilidad.
	5. % de VPH sin vehículo automotor	
Servicios de Salud/ discapacidad	6. Densidad de población (para AGEB urbana) Tamaño de localidad (para localidades)	Carencia en SS y presencia de condiciones de discapacidad eleva la sensibilidad en tanto que los costos de los tratamientos para la atención de la salud y discapacidad se afrontan con activos familiares.
	7. % de población con autorreferencia étnica: en hogares indígenas y población afroamericana	La discapacidad física potencialmente dificulta una eventual evacuación y desplazamiento en caso de emergencia. Mayor porcentaje de población sin derechohabencia a servicios de salud y mayor porcentaje de población con discapacidad, corresponde a mayor sensibilidad.
Población	8. Densidad de población (para AGEB urbana) Tamaño de localidad (para localidades)	Indicador que asume que, a mayor densidad de población o tamaño de localidad, corresponde más alta sensibilidad, en tanto considera la potencial afectación a mayores concentraciones de habitantes.
	9. % de población con autorreferencia étnica: en hogares indígenas y población afroamericana	Poblaciones históricamente discriminadas por estereotipos raciales. Con mayores dificultades para el desarrollo personal y social. A mayor porcentaje de población con autorreferencia étnica corresponde mayor sensibilidad
Educación	10. % de población de 3 a 14 años que no asiste a la escuela (educación básica)	Condición adversa con implicación social, familiar y personal. Trayectorias escolares en educación básica no iniciadas, interrumpidas o abandonadas que potencialmente implican desventajas en distintos campos. Mayor porcentaje de población en esta situación califica con mayor sensibilidad.
	11. Grado escolar promedio	Logro escolar que establece el nivel educativo alcanzado que, generalmente, se encuentra asociado con el nivel de vida. Es un componente relevante de desarrollo humano. A mayor grado escolar promedio corresponde menor sensibilidad.

Cuadro 35. Indicadores del ISSE. Fuente: Pares A.C.

Campos	Indicador	Justificación/Orientación del indicador
Recursos para la información y la comunicación	12. % de viviendas particulares habitadas sin TV	Dispositivos para la recepción y distribución de información antes, durante y después de un evento peligroso (sin ser ésta su única atribución). Mayor % de viviendas sin TV y sin celular, mayor sensibilidad.
	13. % de viviendas particulares habitadas sin computadora, tableta o laptop	
	14. % de viviendas particulares habitadas sin internet	
Género	15. % de población en hogares con jefatura femenina	Género por lo general reducido al ámbito doméstico con menor acceso a la información y participación, así como a la toma de decisiones. Sector poblacional con mayor exposición a la exclusión social. Mayor % de Hogares con Jefatura femenina, mayor sensibilidad.
	16. Tasa neta de actividad económica	Indicador de la masa trabajadora activa de la localidad. Tasas menores se toman como la existencia de menores oportunidades laborales en el lugar y, particularmente, menores ingresos a los hogares. A menor tasa, mayor sensibilidad.
Economía	17. Dependencia económica	Relación entre la población ocupada y el total de la población. Indica la carga promedio -medida en personas- que cada trabajador sostiene. A mayor dependencia mayor sensibilidad

Muy Bajo se situaron 38 AGEB con 139,820 de población. (Gráfica 35; Figura 50).

Gráfica 35. Sensibilidad socioeconómica en AGEB urbanas. Fuente: Pares A.C.



Sensibilidad socioeconómica vinculada a las colonias

Teniendo en cuenta que los habitantes de una localidad tienen en las unidades habitacionales que la conforman (colonias, fraccionamientos, etc.) uno de los principales referentes de orientación en ella, se realiza a continuación una vinculación entre los límites de las AGEB urbanas (en los que fue estimado el índice de sensibilidad socioeconómica) y aquellos que delimitan las colonias y fraccionamientos de la ciudad, con el propósito de facilitar la ubicación de los valores de sensibilidad socioeconómica altos y muy altos. Se trata de una aproximación dado que ambas delimitaciones -AGEB/colonias- no son coincidentes. Tal ensayo quedaría como sigue.

En el **Cuadro 36** y **Figura 51** se pueden observar las colonias con grado de sensibilidad socioeconómica muy alto:

Sector Norte		
Mundialista	Jesús Osuna	Catalina
Manuel de la Vega	Lomas de Don Jorge	San Antonio
San Francisco	Alfonso Cordero	
Sector Este, próximo a la línea de costa		
Lomas del Ébano	Ejidal	Flores Magón
Loma Bonita	Invies Loma Bonita	Universo
Francisco I. Madero	Azteca	Pino Suárez
Quinta Chapalita	Urías	Tercera ampliación de Urías
Villas de Guadalupe	Loma Atravezada (sic)	Shimisu
Montuosa		
Porciones de las siguientes colonias		
Lomas del Porvenir	Mazatlán I	Jesús García
Parte de la colonia Rincón de Mazatlán	Morelos	Santa Elena
Venustiano Carranza		

Cuadro 36. Colonias con grado de sensibilidad socioeconómica muy alta. **Fuente:** Pares A.C.

Salvo contadas excepciones, existe un vínculo de colindancia o proximidad de las colonias con grados altos de sensibilidad socioeconómica con aquellas que se han descrito con grado muy alto. De este modo, con grado alto se encuentran las colonias y Fraccionamientos (**Cuadro 37; Figura 51**).

Colonias con grado de sensibilidad socioeconómica alta		
Felicidad	Colosio Si	Renato Vega Amador
Nuevo Milenio	Los Robles	Nuevo Cajeme
Genaro Estrada	Los Magueyes	Villas del Sol
Los Acantos	Miguel Hidalgo y Costilla	Ex Hacienda del Conchi
La Floresta	Rinconada del Valle	Hacienda del Valle
Bugambilias	Ampliación Bugambilias	La Esperanza
Palmares	Lomas de las Torres	Rincón de Urías
Salvador Allende	Santa Teresa	Luis Echeverría
María del Mar	Hacienda de Urías	Felipe Ángeles
Rafael Buelna	La Sirena	Mazatlán III
Federico Velarde	20 de Noviembre	Buenos Aires
Constitución	Esperanza	Ramón F. Iturbe
Parque Industrial A. V. Bonfil	Casas Económicas	Casa Redonda
Infonavit Jabalines	Antonio Toledo Corro	12 de Mayo
Tierra Libertad	Insurgentes	Rubén Jaramillo
Juan Carrasco	Obrera	Estero, Independencia
Francisco Solís	Gabriel Leyva	Vicente Guerrero
Anabella de Gavica	Ecológica Universitaria	Jesús de Nazaret
Valles del Ejido	San Antonio	Pradera Dorada Etapa 6
Los Tabachines	Lomas del Ébano	Ricardo Flores Magón
Valle de Urías	Gustavo Díaz Ordaz	Urías
La Ladrillera	Urbivilla del Real	Jacarandas
Santa Elena	Morelos	Venustiano Carranza
Benito Juárez	Klein	Reforma
Montuosa	Centro	

Cuadro 37. Colonias con grado de sensibilidad socioeconómica alta. **Fuente:** Pares A.C.

Sensibilidad socioeconómica de comunidades rurales

De la veintena de localidades con grado Muy alto en el indicador, cinco se ubican en territorio del estado de Sinaloa y las restantes pertenecen al estado de Durango. En estas veinte localidades solo habitan 481 personas (**Cuadro 38**). Llama la atención que muchas de las localidades con muy alto grado de sensibilidad se localizan en la frontera entre los estados de Sinaloa y Durango.

Con grado Alto de sensibilidad socioeconómica se puede señalar de manera indicativa, de entre las 65 que cuentan con esta característica, las siguientes en el estado de Durango: San Jerónimo, Neveros, San José de Ánimas, Los Ojitos, El Tule y La Pinalosa; y dentro de los límites de Sinaloa: Habal de Copala, Telcoyonqui, El Tiro, Los Naranjos, El Tecolote y Santa Catarina. En estos poblados habitan 6099 personas (**Figura 52**).

Localidades estado de Sinaloa	Localidades estado de Durango
Santa Bárbara	La Virgen (La Esperanza) El Carrizo
El Palo Parado	Las Güeras Los Naranjitos
Agua Caliente del Favor	Buenavista El Rancho de Tierra Blanca

Cuadro 38. Localidades con grado de sensibilidad socioeconómica muy alto.
Fuente: Pares A.C.

5.7.2. Índice de brechas de género

La inclusión de la perspectiva de género en este estudio responde al conocimiento generado en distintos ámbitos en cuanto a que mujeres y niñas padecen con mayor severidad los efectos del Cambio Climático debido a multitud de razones, entre las que destacan la construcción social de estereotipos que históricamente las ha confinado a las tareas domésticas, lejos de las instancias de poder o de decisión para incidir en políticas públicas con un enfoque propio y, en el caso que nos ocupa, particularmente relacionadas con la gestión del medio ambiente y la adaptación al Cambio Climático.

Por lo general aquellas mujeres involucradas en actividades productivas reciben salarios inferiores al de los hombres y tienen mayores dificultades para ascender en la jerarquía de puestos laborales, son las encargadas de las tareas de cuidados en el hogar no remuneradas, por lo que disponen de menor tiempo para desarrollar sus capacidades, su vida laboral o profesional, etc. (ONU MUJERES-PNUD, 2023; INMUJERES, 2016; CEPAL, 2022).

Viven mujeres y niñas en una desigualdad estructural de tal forma que:

“los efectos del Cambio Climático pueden profundizar las desigualdades de género ya existentes. Las personas en situaciones de pobreza y marginalización, entre las cuales se encuentran las mujeres, generalmente tienen menos capacidad de amortiguar incluso los riesgos climáticos más moderados y son las primeras en experimentar la erosión de activos, círculos de pobreza y límites a su capacidad adaptativa” (Aguilar Ravelo, 2021, p.13)

De acuerdo con el Instituto Nacional de Mujeres (INMUJERES, 2020) “las brechas de desigualdad de género son una medida estadística que da cuenta de la distancia de mujeres y hombres con respecto a un mismo indicador”. En este apartado se presenta la construcción de un indicador de brechas de género (IBG) a partir de la estimación de brechas a nivel de AGEB urbana, con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

VARIABLES DESAGREGADAS POR SEXO	DEFINICIÓN
Población de 3 a 5 años que no asiste a la escuela	Personas de 3 a 5 años de edad que no van a la escuela
Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela	Personas de 6 a 11 años de edad que no van a la escuela
Población de 12 a 14 años que no asiste a la escuela	Personas de 12 a 14 años de edad que no van a la escuela
Población de 15 a 17 años que asiste a la escuela	Personas de 15 a 17 años de edad que van a la escuela
Población de 18 a 24 años que asiste a la escuela	Personas de 18 a 24 años de edad que van a la escuela
Población de 15 años y más analfabeta	Personas de 15 a 130 años de edad que no saben leer y escribir
Población de 15 años y más sin escolaridad	Personas de 15 a 130 años de edad que no aprobaron ningún grado de escolaridad o que sólo tienen nivel preescolar
Población de 15 años y más con primaria incompleta	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad hasta el quinto grado aprobado en primaria. Incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en el nivel señalado.
Población de 15 años y más con primaria completa	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 6 grados aprobados en primaria
Población de 15 años y más con secundaria incompleta	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad hasta segundo grado aprobado de secundaria. Incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en el nivel señalado
Población de 15 años y más con secundaria completa	Personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 3 grados aprobados en secundaria.
Población de 18 años y más con educación posbásica	Personas de 18 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad algún grado aprobado en preparatoria o bachillerato; normal básica; estudio técnicos o comerciales con secundaria terminada; estudios técnicos o comerciales con preparatoria terminada; normal de licenciatura; licenciatura o profesional; maestría o doctorado. Incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en los niveles señalados.
Población de 6 a 11 años que no asiste a la escuela	Personas de 6 a 11 años de edad que no van a la escuela
Grado promedio de escolaridad	Resultado de dividir el monto de grados escolares aprobados por las personas de 15 a 130 años de edad entre las personas del mismo grupo de edad. Excluye a las personas que no especificaron los grados aprobados.

Variables desagregadas por sexo	Definición
Población de 12 años y más económicamente activa	Personas de 12 años y más que trabajaron, tenían trabajo, pero no trabajaron o buscaron trabajo en la semana
Población de 12 años y más ocupada	Personas de 12 a 130 años de edad que trabajaron o que no trabajaron, pero sí tenían trabajo en la semana de referencia.

Cuadro 39. Variables censales para estimar brechas de género. **Fuente:** INEGI. Censo de población y vivienda 2020.

De acuerdo con el INMUJERES (2020), la importancia de los indicadores de género se encuentra en el reconocimiento de que a las mujeres se les presentan obstáculos específicos para su desarrollo pleno, integral, y advierte que:

“al momento de elaborar indicadores de género debemos ser sensibles no sólo a las situaciones de desigualdad entre los sexos sino también a las situaciones de desigualdad múltiple, que muchas veces marcan la ausencia de igualdad entre personas de un mismo sexo” (INMUJERES 2020. p. 4,5)

En este ejercicio, que por su nivel de desagregación territorial resulta inédito en nuestro país, hasta donde la revisión de literatura permite conocer, se utilizan las variables que en la fuente de información señalada se proporcionan desagregadas por sexo. Teniendo en cuenta esta limitante, se utilizan indicadores del campo educativo y del campo económico, no tan solo porque estos campos contienen variables que cumplen la condición anterior, sino que resultan indicadores de género importantes porque, como señala el Instituto Municipal de Planeación Urbana de Mazatlán (IMPLAN, 2014), el acceso, permanencia y egreso del Sistema Educativo Nacional “tiene implicaciones significativas para las oportunidades laborales y el desarrollo socioeconómico de los individuos” (p. 77), en este caso para ellas.

Procedimiento

Dado que el objetivo es enfocar las desigualdades que ponen en desventaja a las mujeres, en principio, como indica el Departamento de Estudios Sociales (2015) “el cálculo de la brecha debe dejar establecido cuánta es la diferencia de ellas en relación con los hombres”. De tal manera que la operación que se realice debe reflejar esa discrepancia. Un resultado negativo de la operación será indicativo de desventaja para las mujeres.

Para este ejercicio se utilizaron 13 variables del campo educativo que dan cuenta de las diferencias de género en el acceso al Sistema Educativo Nacional. En tanto que del campo económico se retomaron dos variables referidas una, a la disponibilidad de incorporarse y, otra, al acceso, ambas al mercado laboral.

Se dispuso de una base de datos con 13 indicadores censales del campo educación y dos del campo economía (**Cuadro 39**). En cada uno de ellos se estimaron las brechas de género de acuerdo con la metodología indicada. El índice de brechas de género se obtuvo de acuerdo con la frecuencia de brechas que se encontró en cada AGEB urbana. En otras palabras, el IBG es la sumatoria del número de brechas presentes en cada unidad de análisis, misma que se procesó en ArcGis con la técnica de *rompimiento natural*, determinando establecer 4 categorías, Muy alta, Alta, Baja y Muy Baja, en función de la amplitud del rango en el índice, el cual no podría ser mayor a 15 (por el número de variables utilizadas). (**Cuadro 39**).

Esta categorización de las AGEB se llevó a una representación cartográfica a la que se le sobrepuso la retícula de colonias para su descripción territorial, la que se procede a continuación dividiendo la ciudad en cuadrantes para señalar la incidencia de las categorías Muy alta y alta. (**Cuadros 40 y 41, Figura 53**).

En el cuadrante noreste se encuentran con grado Muy alto de brechas de género las colonias y fraccionamientos siguientes:

A partir del análisis anterior puede concluirse que la desigualdad de género en Mazatlán, como en el resto del país, es aún una realidad que, independientemente del estrato económico, la etapa del ciclo de vida, el área donde se habita, etc. permea entre las mujeres y niñas de la ciudad en los aspectos que se han analizado, a pesar de las iniciativas que gobierno y actores sociales locales desarrollan

o hayan desarrollado para superar las brechas de género. Finalmente, y de acuerdo con Aguilar Revelo (2021):

“...el Cambio Climático encuentra en la desigualdad a las mujeres en América Latina y el Caribe. Ellas enfrentan brechas de género históricas y desafíos para el ejercicio pleno de sus derechos humanos. Esta condición las conduce a estar más expuestas a los efectos del Cambio

Climático. Sin embargo, las mujeres son agentes de cambio poseedoras de valiosos conocimientos y habilidades, y, por tanto, son líderes poderosas en la lucha contra el Cambio Climático. Actualmente, el Cambio Climático representa uno de los desafíos más complejos, y la transformación requerida para enfrentarlo puede representar una gran oportunidad para avanzar la igualdad de género y la autonomía de las mujeres.” (p.40)

Sector Norte		
Prado Bonito y asentamiento contiguo sin nombre	Los Caracoles	Residencial Jardines del Bosque
Conchi II	Sinaloa	Las Misiones
Las Brisas	Brisas del Valle	Porto Molino
Del Valle	Torremolinos	Jardines del Bosque
Corredor de Abasto	Las Torres	Portal de los Olivos
Fovissste Jabalines	Los Portales	Nuevo Cajeme
Issstesin	Priv. Lomas del Bosque	Valles del Ejido
San Fernando y Valles del Sol	Salinas de Gortari	Francisco Alarcón
Demetrio Vallejo	Pradera Dorada	Las Higueras
Sector Sureste		
Huertos Familiares	Fovissste Esperanza	Emiliano Zapata
Esmeralda	Jesús García	Del Bosque
Francisco I. Madero	Rafael Buelna	Ferrocarrilera

Cuadro 40. Colonias con grado muy alto de brechas de género. **Fuente:** Pares A.C.

Sector Sureste		
Partes de Ricardo Flores Magón	Villas del Rey	Sauces
Villa Galaxia	Venustiano Carranza	Esperanza, Benito Juárez
Loma Atravezada (sic)	Quinta Chapalita	Urías
Centro	Gabriel Leyva	
Sector Noroeste		
Mediterráneo Club Residencial	Club Real y Mangos	Real del Valle
Partes de Hacienda del Seminario	Coto Platino	Real Pacífico
El Cid		
Sector Suroeste		
El Toreo	Alameda	Jardines de Alameda
Infonavit Olimpo	Estadio	Playas del Sol
Tellería	María Fernanda	Lomas del Valle
Casa Blanca	Sembradores de la Amistad	Los Girasoles
Flamingos	Hacienda las Cruces	Antiguo Aeropuerto

Cuadrante Noreste	Cuadrante Sureste	Cuadrante Noroeste	Cuadrante Suroeste
Puerta del Sol	Playa Sur	El Palmar y asentamientos aledaños sobre la línea de costa (sin nombre)	Chula Vista
Colinas del Real	Lázaro Cárdenas	Terranova	Hacienda Los Mangos
Monte Bello	Reforma	Sábalo Country Club	Los Mangos II
Valle Dorado	Olímpica	La Joya	Lomas de Mazatlán
Misiones 2000	Valle de Urías	Chula Vista	Las Gaviotas
Luis Echeverría	Mazatlán III	Rincón de las Plazas	El Dorado
Laureles	Adolfo López Mateos		Rincón Colonial
Mar de Cortez	Azteca		Zona Dorada
	San Ángel		

Cuadro 41. Colonias con grado alto de brechas de género. **Fuente:** Pares A.C.

Índice de sensibilidad socioeconómica con brechas de género

Tal como se adelantó en la introducción de este apartado, para generar el denominado índice de sensibilidad socioeconómica con brechas de género (ISSEBG) se procedió a relacionar los dos componentes de este: el ISSE y el de BG mediante una matriz de doble entrada.

Subyace en este ejercicio el fundamento de que una condición socioeconómica cualquiera tiende a verse afectada por desigualdades de género en la medida en que éstas incidan en aquella condición. Es decir, supóngase dos unidades de análisis con igual condición socioeconómica y que en una de las cuales se padezca mayor número de desigualdades, o brechas de género.

Considerando el punto de entendimiento desde el cual se parte, se concluye que ésta última unidad de análisis se ubicaría, por esa razón, con mayor sensibilidad que la unidad con la que guardaba igualdad en su condición so-

cioeconómica de partida. Se puede concluir de lo anterior que la asociación de ambos indicadores (ISS e IBG), genera un tipo de sensibilidad distinta, a la que cada indicador por sí mismo lo hace.

En consecuencia, el arreglo de la matriz que se aplica con el fin de asociar ambos índices asume que conforme se escala a mayores niveles de sensibilidad socioeconómica, en concordancia con mayores grados de brechas de género, la condición resultante tiende a ser de mayor sensibilidad y, a la inversa, menores niveles o grados en ambos indicadores conducen a una interpretación de menor sensibilidad. De igual manera y con el mismo propósito que en representaciones cartográficas anteriores a continuación se describe la distribución de los resultados, señalando de manera indicativa áreas de colonias para los grados Muy altos y Altos. De manera general se observa en la Figura 54 que estas categorías de sensibilidad se ubican mayoritariamente en el lado este de la ciudad.

Distribuidas de Norte a Sur				
Sensibilidad Socioeconómica	5. Muy alta	4. Alta	2. Baja	1. Muy baja
5. Muy alta	10	9	7	6
4. Alta	9	8	6	5
3. Media	8	7	5	4
2. Baja	7	6	4	3
1. Muy baja	6	5	3	2

Grado Muy alto

Se puede observar en el mapa de referencia (**Figura 54**) que, partiendo de la parte norte de la ciudad hacia el sur, las colonias siguientes resultaron con esta categoría de manera total o parcial (**Cuadro 42**).

Se puede observar en la misma **Figura 54** y con el mismo orden, norte sur, las colonias y fraccionamientos con categoría alta ya sea total o parcialmente (**Cuadro 43**):

Este apartado se ha enfocado en ofrecer un diagnóstico de desigualdades sociales, económicas y de género, expresadas en índices en una escala detallada a nivel de área geoestadística urbana; escala que permite penetrar con cierta minuciosidad al interior de la ciudad para ubicar los contrastes socioeconómicos y las desigualdades de género.

Distribuidas de Norte a Sur		
Valles del Ejido	Conchi II	Sinaloa
La Riviera	Francisco Alarcón	Líderes en Acción
Emilio Goicochea Luna	Monte Bello	Nuevo Cajeme
Fracc. San Fernando	Fracc. Valles del Sol	Lomas del Ébano
Luis Echeverría	Salvador Allende	Infonavit El Conchi
Ricardo Flores Magón	Rincón de Urías	Canaco Servitur
Fracc. Villa Galaxia	Morelos	Santa Elene
Esperanza	Benito Juárez	Jesús García
Mazatlán III	Francisco I.Madero	Frac. Del Bosque
Azteca	Quinta Chapalita	Rafael Buelna
Urías	Felipe Ángeles	Gustavo Díaz Ordaz
Valle de Urías	Santa Teresa	La Sirena
Klein	Casas Económicas	Montuosa
Reforma	Centro	Infonavit Playas

Cuadro 42. Colonias con grado muy alto de sensibilidad socioeconómica con brechas de género. **Fuente:** Pares A.C.

Desde el enfoque de desigualdades socioeconómicas a través del ISSE se pudo observar en Mazatlán un patrón de poblamiento caracterizado por población menos favorecida ubicada en territorios preferentemente en la periferia oriental y norte del conglomerado urbano, en tanto que el sector mejor posicionado ha ocupado el poniente y la línea costera del noroeste. Considerando tal estructura urbana a nivel general, la ocupación del suelo que se advierte es un ejemplo claro de procesos de diferenciación y estratificación social inevitablemente presentes en la ciudad. Puede plantearse como hipótesis que los asentamientos primeramente señalados, aquellos menos favorecidos, son de creación relativamente reciente, con mayores dificultades para acceder a servicios, así como mayores deficiencias en infraestructura de distinto tipo (recreativas, de comunicación vial, educativas, sanitarias, etc.). En tanto que, también planteado como hipótesis, los asentamientos con mejor posición socioeconómica son, muchos de ellos,

desarrollos inmobiliarios de alta plusvalía relativamente recientes y dotados generalmente de la mejor infraestructura urbana disponible.

Este análisis de las desigualdades socioeconómicas y de género en Mazatlán revela una distribución territorial que aumenta la vulnerabilidad de ciertos sectores ante el Cambio Climático. Los asentamientos menos favorecidos, ubicados principalmente en la periferia oriental y norte, enfrentan mayores dificultades para acceder a servicios básicos e infraestructura adecuada, lo que los expone de manera más crítica a los riesgos climáticos, como inundaciones y olas de calor. Por otro lado, las áreas con mayor capacidad socioeconómica, situadas en la línea costera noroeste, cuentan con mejor infraestructura y recursos para enfrentar estos impactos.

Distribuidas de Norte a Sur		
Lomas de Don Jorge	San Antonio	Residencial San Marcos
Jesús Osuna	Fracc. Prado Bonito	Alfonso Cordero
Puerta del Sol	Pradera Dorada	Las Higueras
Villa Tutuli	Los Tabachines	Fracc. Las Misiones
Fracc. Brisas del Valle	Fracc. Del Valle	Jaripillo
Corredor de Abastos	Las Torres	Residencial Los Olivos
Fracc. Los Venados	Infonavit Jabalines	Fracc. Los Portales
Fovissste Playa Azul	Fovissste Jabalines	Isstesin
Francisco Villa	Fracc. Los Mangos	Fracc.Laureles
Huertos Familiares	Universidad 94	Fovissste Esperanza
Emiliano Zapata	Fracc. Esmeralda	Ejidal
Lomas del Porvenir	El Pescador	Olimpica
Fracc. Villas del Estero	Estadio	Fracc. Casa Blanca
Ferrocarrilera	Palos Prietos	Fracc. Lomas del Mar
Ferrocarrilera		

Cuadro 43. Colonias con grado alto de sensibilidad socioeconómica con brechas de género. **Fuente:** Pares A.C.

La combinación de los índices de Sensibilidad Socioeconómica (ISSE) y de Brechas de Género (IBG) permite identificar las áreas donde la vulnerabilidad es más acentuada, independientemente de los estratos socioeconómicos, y evidencia que las brechas de género no son exclusivas de ciertos estratos sociales, y su interacción con la vulnerabilidad socioeconómica modula la capacidad de adaptación y respuesta de la ciudad frente a amenazas climáticas.

Estos resultados son estratégicos para el diseño de políticas públicas que prioricen la adaptación climática en las zonas más vulnerables de la ciudad, integrando una perspectiva de equidad que aborde tanto las desigualdades socioeconómicas como las de género.

Este análisis de las desigualdades socioeconómicas y de género en Mazatlán revela una distribución territorial que aumenta la vulnerabilidad de ciertos sectores ante el Cambio Climático.

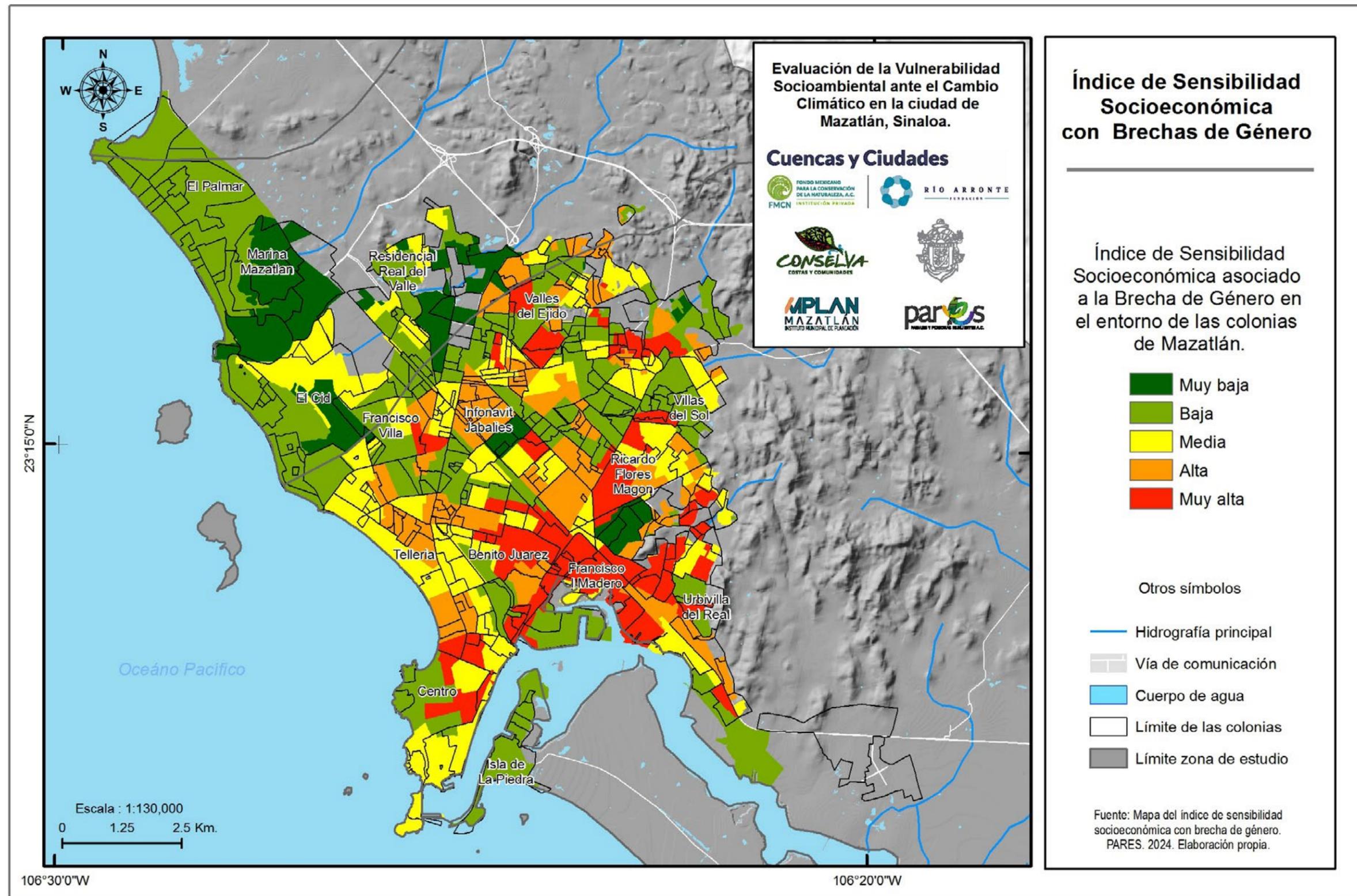


Figura 54. Índice de sensibilidad socioeconómica con brechas de género. Fuente: Pares A.C.

5.8. Impacto potencial

El impacto potencial hace referencia a las consecuencias adversas que pueden surgir como resultado de un evento o proceso determinado. En el caso del Cambio Climático, se refiere a los efectos negativos que podrían experimentar un sistema o lugar debido al calentamiento global y sus manifestaciones. La ciudad de Mazatlán, dada su alta vulnerabilidad a fenómenos como inundaciones e inestabilidad de laderas, se encuentra expuesta a un conjunto de impactos potenciales que podrían agravarse ante un escenario de Cambio Climático. Estos impactos pueden afectar diversos aspectos de la vida urbana, desde la infraestructura y los servicios básicos hasta la economía y la calidad de vida de sus habitantes. Como parte integral de la evaluación de la vulnerabilidad, se procede a un análisis detallado del impacto potencial. Una vez identificadas las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) urbanas con mayor sensibilidad socioeconómica, se procedió a superponer esta información con los mapas de exposición acumulada para determinar las zonas con mayor potencial de impacto. Este análisis, siguiendo la metodología propuesta, permite evaluar la vulnerabilidad socioambiental de manera más precisa.

El impacto potencial calculado mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), es resultado del cruce de información sobre exposición ante eventos climáticos con la sensibilidad socioeconómica de sus habitantes. Si bien los sistemas naturales y productivos no cuentan con una valoración directa de la sensibilidad, las áreas urbanas si consideran ambos factores. De esta forma se obtienen datos de la población o sistema que se encuentran

expuestos y la capacidad socioeconómica que pueden tener para prevenir y/o responder ante esta exposición.

La combinación de las diversas categorías de exposición a peligros y de sensibilidad socioeconómica determina el nivel de impacto potencial al que están expuestas las unidades de análisis. Esta relación se visualiza de manera clara a través de una matriz de doble entrada (**Cuadro 44**), cuyos resultados permiten identificar áreas con mayor impacto potencial.

A través de la operación de unión (*merge*) en el SIG, se integraron los polígonos correspondientes a las categorías de exposición de los sistemas productivos y naturales con los resultados obtenidos para el ámbito urbano. De esta forma, se generó la capa final de impacto potencial, la cual se presenta en la **Figura 55**.

Los valores más altos de impacto potencial (polígonos en colores rojo y anaranjado) indican las áreas donde se presenta la combinación de mayor sensibilidad socioeconómica con las colonias de la zona urbana y las superficies del medio natural y productivo sujetas a la mayor exposición acumulada ante eventos relacionados con el Cambio Climático.

El análisis revela que 7,237 hectáreas de la zona de estudio están expuestas a un impacto potencial significativo, distribuidas principalmente en sistemas productivos (50.8%) y áreas naturales (32.7%). La población urbana, que representa el 16.5% del área total, concentra una proporción considerable del impacto potencial. De los 102,350 habitantes, el 12% se encuentra en categoría Muy Alta de impacto potencial, mientras que el 40% se

Exposición	Sensibilidad socioeconómica				
	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Muy alta	Muy alto	Muy alto	Muy alto	Alto	Medio
Alta	Muy alto	Muy alto	Alto	Medio	Medio
Media	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio
Baja	Alto	Alto	Medio	Bajo	Bajo
Muy baja	Medio	Medio	Medio	Bajo	Bajo

Cuadro 44. Matriz de doble entrada para la evaluación del impacto potencial. Fuente: Pares A.C.

encuentra en categoría de Alto impacto potencial, esto indica que una proporción de más de la mitad de la población se encuentra en zonas de considerable peligro. Por otro lado, el 28% se ubican en categoría de impacto potencial Medio y el 19% restante en categoría de bajo impacto potencial (**Cuadro 45**).

Derivado de la evaluación detallada a nivel de colonia, la **Figura 55** revela un área donde existen un total de 206 colonias bajo alguna categoría de impacto potencial. Este análisis revela también una variabilidad significativa en cuanto al nivel de impacto.

Colonias con mayor impacto potencial: Benito Juárez y Francisco I. Madero presentan un porcentaje considerable de habitantes expuestos a un impacto potencial Muy alto o Alto. Esto indica una mayor vulnerabilidad ante eventos adversos.

- **Colonias con menor riesgo:** Loma Atravesada presenta el menor porcentaje de habitantes en las categorías de Muy Alto y Alto impacto, lo que sugiere una menor vulnerabilidad.
- **Desigualdad en la distribución:** Se observa una desigualdad en la distribución del impacto potencial entre las diferentes colonias. Algunas zonas concentran un alto

Impacto Potencial				
Sensibilidad Socioeconómica	Superficie (ha)	% de la zona de estudio	Población expuesta	% población urbana
Natural	2,365.91	32.7%		
Alto	451.99	6.2%		
Medio	764.76	10.6%		
Bajo	1,149.16	15.9%		
Productivo	3,677.68	50.8%		
Alto	823.84	11.4%		
Medio	1,578.53	21.8%		
Bajo	1,275.31	17.6%		
Urbano	1,193.84	16.5%	102,350	
Muy alto	115.57	1.6%	12,108	12%
Alto	305.39	4.2%	41,290	40%
Medio	421.58	5.8%	29,032	28%
Bajo	351.30	4.9%	19,920	19%
Total general	7,237.43	100%	102,350	100%

Cuadro 45. Impacto potencial por sistema. Fuente: Pares A.C.

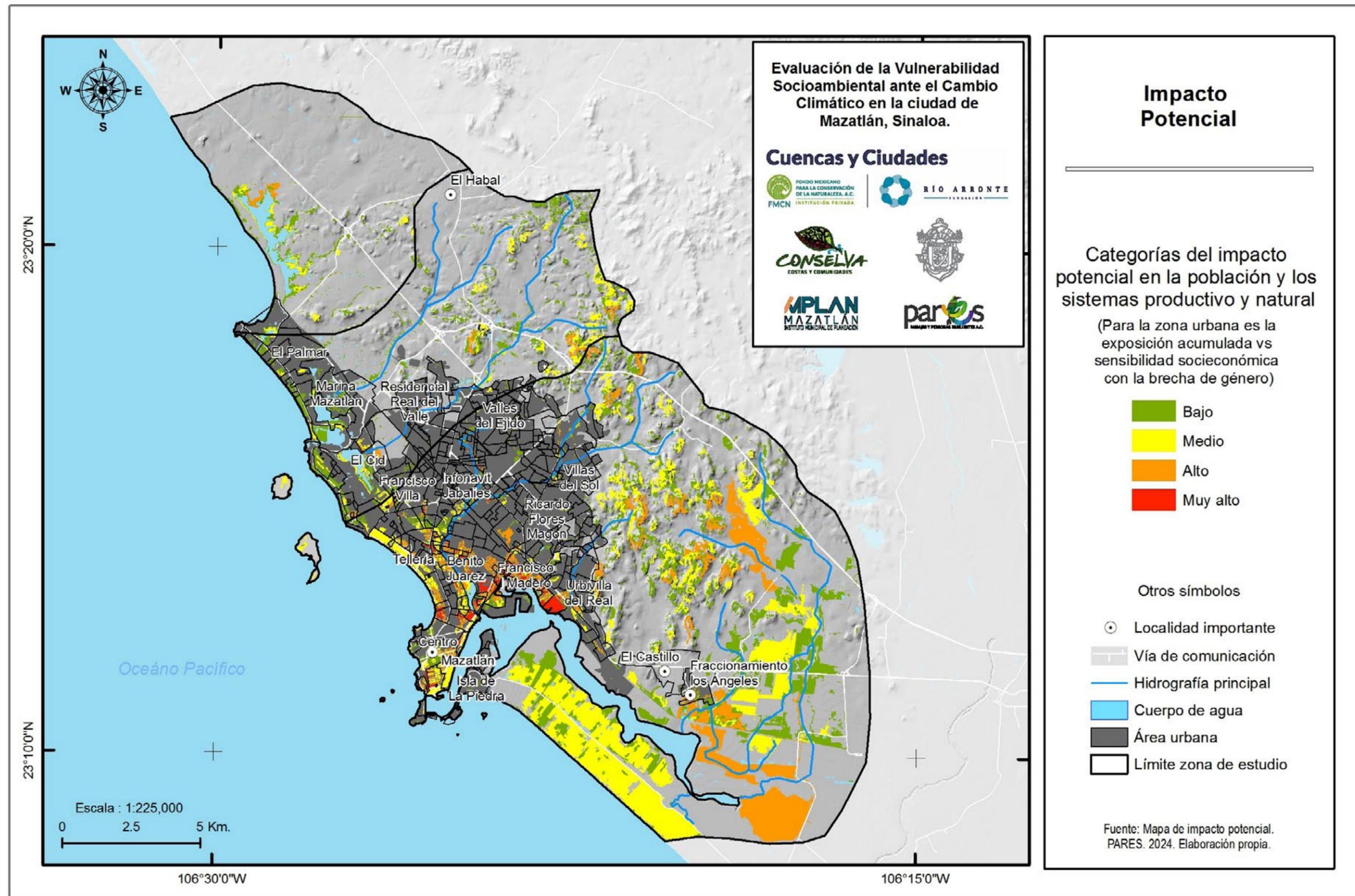


Figura 55. Impacto potencial en la zona urbana de Mazatlán y su entorno rural. Fuente: Pares A.C.

porcentaje de su población en las categorías de mayor impacto, mientras que otras presentan una distribución más equilibrada lo que hace suponer que serán menos vulnerables ante los peligros identificados.

Los datos presentados en el **Cuadro 46** evidencian un impacto potencial alto, lo que podría derivar en una alta vulnerabilidad de las colonias mencionadas ante los efectos del Cambio Climático. El hecho de que más de la mitad de sus habitantes se encuentren en una situación de peligro tan elevado sugiere que estas comunidades están expuestas a múltiples amenazas y carecen de las capacidades necesarias para hacerles frente.

Es probable que estas colonias se encuentren en zonas de riesgo, como áreas inundables, zonas propensas a deslizamientos de tierra o con alta exposición a eventos climáticos extremos (sequías, huracanes). Esta exposición las hace más vulnerables a los impactos del Cambio Climático, como el aumento de la frecuencia e intensidad de estos eventos.

La alta proporción de habitantes en situación de riesgo sugiere que estas comunidades tienen una baja capacidad de adaptación. Esto puede deberse a factores como la pobreza, la falta de acceso a servicios básicos, la precariedad de las viviendas y la limitada capacidad de respuesta de las instituciones locales.

Los impactos potenciales en estas colonias pueden incluir:

- Pérdida de viviendas y bienes: Debido a inundaciones, deslizamientos de tierra.
- Afectación a la salud: Por la propagación de enferme-

dades transmitidas por vectores, la contaminación del agua y el aumento de las temperaturas.

- Pérdida de medios de vida: Afectando la agricultura, la pesca y otras actividades económicas locales.

5.9 Capacidad adaptativa

El Cambio Climático representa una amenaza creciente para las ciudades costeras como Mazatlán. Eventos extremos cada vez más frecuentes e intensos, como huracanes, inundaciones fluviales, pluviales y por marea de tormenta, erosión e inestabilidad de laderas, ponen en riesgo la infraestructura, los medios de vida y la seguridad de las comunidades. En este contexto, la capacidad adaptativa, es decir, la habilidad de una sociedad para anticipar, responder y recuperarse de los impactos del Cambio Climático, se vuelve un factor determinante para la resiliencia urbana.

Los servicios ecosistémicos desempeñan un papel fundamental en el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de las ciudades. Estos beneficios que la naturaleza proporciona a los seres humanos, como la regulación del clima, la protección contra desastres y la provisión de agua limpia, actúan como amortiguadores naturales frente a los impactos del Cambio Climático.

En el caso de Mazatlán, ecosistemas presentes tanto en el contexto urbano como a nivel de cuenca ofrecen una serie de servicios ecosistémicos que contribuyen a aumentar

Cuadro 46. Colonias con el mayor número de habitantes bajo los mayores impactos potenciales. **Fuente:** Pares A.C.

Colonia	Nº. de habitantes		
	Total de habitantes	Muy Alto y Alto	Medio
Benito Juárez	7,145	6,144	718
Francisco I. Madero	5,224	4,642	582
Montuosa	2,158	1,849	309
Del Bosque	1,855	1,816	39
Reforma	1,732	1,709	23
Loma Atravesada	1,668	1,634	34

la capacidad adaptativa de la ciudad. Los manglares, por ejemplo, actúan como barreras naturales que disipan la energía de las olas, reduciendo así el riesgo de inundaciones y erosión costera, la selva mediana o bosque tropical subcaducifolio que además de ser uno de los ecosistemas más biodiversos y complejos del planeta ofrece multiplicidad de servicios ecosistémicos como la protección natural contra la erosión, provisión de agua superficial, recarga de mantos acuíferos y captura de carbono. La pérdida o degradación de estos ecosistemas puede reducir significativamente la capacidad adaptativa de Mazatlán. Al disminuir la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios como la regulación del clima y la protección contra desastres, se incrementa la vulnerabilidad de las comunidades ante los impactos del Cambio Climático.

La identificación y valoración de los servicios ecosistémicos es, por tanto, un paso crucial para comprender la capacidad adaptativa de una ciudad como Mazatlán, y para diseñar estrategias de adaptación efectivas. Al reconocer el papel fundamental que desempeñan los ecosistemas en el fortalecimiento de la capacidad adaptativa, podemos desarrollar Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que aprovechen los beneficios que estos ofrecen.

Las soluciones basadas en la naturaleza son acciones que trabajan con los procesos naturales y los ecosistemas para abordar los desafíos sociales y ambientales. En el contexto del Cambio Climático, estas soluciones pueden incluir la restauración de manglares y de la vegetación urbana, la creación de infraestructura verde, la conservación de suelo y en general la gestión sostenible de los ecosistemas aguas arriba en la cuenca.

Estas acciones no solo contribuyen a aumentar la resiliencia de la ciudad, sino que también pueden generar beneficios adicionales, como la mejora de la calidad y cantidad del agua, la creación de empleos y la protección de la biodiversidad.

Por lo que, en este estudio los servicios ecosistémicos son un componente esencial de la capacidad adaptativa de la ciudad. Al invertir en la conservación y restauración de los ecosistemas, podemos fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a los impactos del Cambio Climático y construir ciudades más seguras, saludables y sostenibles. En el caso de Mazatlán, la protección y restauración de los ecosistemas tanto costeros como a nivel de cuenca es una inversión estratégica para garantizar el bienestar de sus habitantes a largo plazo.

5.9.1. Servicios ecosistémicos

A fin de cuantificar la provisión de Servicios Ecosistémicos (SE) se optó por implementar modelos espacialmente explícitos y elaborar mapas que identifiquen las áreas más relevantes en la provisión simultánea de múltiples SE (la provisión superficial del agua, retención de suelos y el almacenamiento de carbono), sus unidades biofísicas (hectáreas, m³, milímetros y toneladas) y su relación con la vulnerabilidad de la ciudad. Esta evaluación se aborda con un enfoque en los paisajes urbanos de la ciudad de Mazatlán y en la cuenca que abastece de agua a la ciudad (río Presidio). Además de implementar análisis espaciales para una modelación hidrológica que permita simular los procesos que ocurren dentro de una cuenca, como lo son, la escorrentía superficial (flujo rápido), la infiltración, la evapotranspiración y el flujo base.

Los resultados comprenden el desarrollo de un instrumento (indicador) que permite priorizar cada pixel del paisaje, para entender el estado actual de los SE en la cuenca del río Presidio y en las subcuencas Mazatlán, El río Presidio y La Caimanera en la parte baja (urbana) y el resto la cuenca alta (El Salto, La Ventana, El Jaral y Arenales). La modelación espacial proporciona una herramienta crítica para visualizar cómo interactúan los fenómenos climáticos y el paisaje para dar origen a los diferentes SE y proporciona mediciones prácticas para el soporte de estrategias dirigidas a la conservación y a la mitigación de los efectos del Cambio Climático. Por lo tanto, esta sección hace una evaluación de los SE y usos del suelo presentes en la cuenca del río Presidio, como indicadores de la capacidad adaptativa ante el impacto de eventos climáticos extremos. Con el objetivo de construir índices de capacidad de provisión de múltiples SE (basados en la priorización de zonas con alta capacidad para la provisión simultánea de servicios), dentro de las AGEB (urbanas y rurales) a partir de la evaluación de los usos de suelo y los ecosistemas naturales, cuyos SE ayudan a aminorar los impactos negativos de los eventos extremos. Esta sección, se llevó a cabo a través de dos procesos (modelación espacialmente explícita de los SE y modelación hidrológica), los cuales se describen a continuación.

5.9.2. Metodología para la evaluación de SE

La representación gráfica de los servicios ecosistémicos que brindan las cuencas hidrológicas, o servicios hidrológicos (SH), se ha convertido en un elemento clave para acotar zonas de intervención de modo que sea posible

desarrollar políticas ambientales, planificar el territorio y mantener el bienestar de la población (Watson *et al.*, 2018). En una escala regional y local, la actividad económica ha provocado la intensificación de la variabilidad climática y manejo de los sistemas productivos (Ortega-Gaucin, 2018). Estos factores, como conductores directos de cambios en los ecosistemas, generan condiciones de vulnerabilidad al reducir la productividad y la seguridad alimentaria, además de incrementar la exposición a eventos climáticos extremos y vulnerar su acceso a los SE (Donatti *et al.*, 2019). Si bien, la mayoría de estudios han sido dirigidos al entendimiento de la percepción de los efectos del CC y en la vulnerabilidad socioeconómica, hay una necesidad de modelar los procesos ecológicos y sus tendencias de cambio, para entender como estos factores detonantes interactúan en el espacio y tiempo, para afectar la vulnerabilidad socioambiental.

Para ello, se usó la herramienta de modelación espacialmente explícita InVEST 3.14.2 Workbench, la cual fue desarrollada por el *Natural Capital Project* (www.naturalcapitalproject.org), de la Universidad de Stanford. Los submodelos de InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*), están encaminados a cuantificar SE, por medio del análisis espacio-temporal de procesos y variables biofísicas que dan sustento a la producción de SE en ecosistemas naturales y antropogénicos (Vigerstol y Aukema, 2011; Tallis y Polasky, 2011; Sharps *et al.*, 2017). Estos presentan evidencia de la relación entre las características del paisaje (climáticas, edafológicas y topográficas) y los diferentes tipos de uso del suelo y vegetación para los años disponibles, en diferentes escalas espaciales. Esto, con el fin de fomentar la generación de políticas públicas y acciones encaminadas al uso sustentable de los ecosistemas. Dada su sensibilidad ante los cambios de uso de suelo, es posible evaluar cómo el crecimiento urbano y/o de la frontera agrícola y la variabilidad climática (Mokondoko *et al.*, 2018), determinan la distribución espacial de áreas con características excepcionales y donde los SE son producidos en mayor cantidad. En este sentido, la evaluación pretende ayudar a conciliar la conservación de los ecosistemas que proveen dichos SE, para una mejor distribución de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), que permitan reducir la vulnerabilidad para las zonas urbanas, periurbanas y rurales.

Los modelos específicos de Nivel 1 v.3.14.2., usados para evaluar la provisión de SE fueron: “*annual water yield*, *sediment delivery ratio* y *carbon storage*”; cuya selección obedece principalmente a que son servicios esenciales en los programas nacionales de conservación, como en el programa nacional de Pago por Servicios ambientales

(PSA) de la CONAFOR (Izquierdo-Tort *et al.*, 2021) y la estrecha relación con los efectos de las actividades productivas. A continuación, se detallan los requisitos de información, así como el funcionamiento de cada uno de los modelos.

5.9.2. Adquisición de datos

El área fue delimitada utilizando los conjuntos vectoriales de Cuencas Hidrográficas de México (cuencas, subcuencas y microcuencas; en escala 1:250000) de CONAGUA (INEGI-CONAGUA, 2007). Información que fue incorporada dentro de un Sistema de Información Geográfica en ArcMap v.10.6.0. Los modelos fueron parametrizados utilizando información cartográfica de escalas nacional-regional-local, de estudios regionales y de la literatura (tanto gris, como científica), a una resolución espacial de 30m. Los datos de la región de estudio tuvieron prioridad sobre las fuentes de información generales. El **Cuadro 47**, describe el tipo de insumos utilizados en la parametrización de modelos y sus unidades de medida. De las bases de datos de INEGI y de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), se consideraron las siguientes bases de datos cartográficos: (1) El Modelo Digital del Terreno (DEM) con 15 m de resolución de INEGI (INEGI, 2017); conjunto de datos vectoriales de los tipos de vegetación y usos del suelo (INEGI, 2021); conjunto de datos alfa numéricos del Inventario Nacional de perfiles del suelo, datos Edafológicos y de propiedades del suelo (CONABIO). De las fuentes globales, fueron consideradas las siguientes bases de datos: conjunto de datos vectoriales de lo grupos hidrológicos de suelo (A, B, C, D), del World Soil Information (ISRIC), en una resolución espacial de 250 m (<https://www.isric.org/explore/isric-soil-data-hub>); y la colección de imágenes de satélite Landsat 8 y 9 Tier¹, del Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) y Thematic Infrared Sensor (TIR), con el uso de Google Earth Engine (GEE); para el cálculo de índices de vegetación como el NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), el NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*), BI (*Built up Index*) y SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) en una resolución espacial de 30 m (Patapov *et al.*, 2022).

Finalmente, se consideraron las bases de datos de las estaciones climatológicas y la climatología actual, desarrollados para el presente estudio (ver sección 4.1. “Climatología Actual”), para los cálculos de la precipitación, temperatura promedio y evapotranspiración potencial, mensual y anual; además, del factor de erosividad de la lluvia (R).

Sub-modelo	Variables requeridas	Mapa final
Water yield	DEM (m)	Provisión de agua promedio anual
	Uso de suelo y cobertura vegetal (LULC)	(mm año ⁻¹)
	Profundidad del suelo (mm)	
	Precipitación promedio anual (mm)	
	Evapotranspiración potencial (mm)	
	Contenido volumétrico de agua (PAW; mm)	
	Profundidad de raíces (mm)	
	Coefficiente de evapotranspiración	
	Mapas de Cuencas	
Sediment delivery ratio	DEM (m)	Erosión promedio anual de suelo
	Uso de suelo y cobertura vegetal (LULC)	(Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
	Erosividad de la lluvia (R) (MJ·mm (ha·hr) ⁻¹)	Promedio anual de retención del suelo
	Erodabilidad del suelo (ton·ha·hr(MJ·ha·mm) ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
	Mapas de cuencas	
	Los factores conservación del suelo y prácticas de manejo	
Carbon storage	Biomasa aérea (Mg ha ⁻¹)	Mapa de carbono de almacenado
	Biomasa en el suelo (Mg ha ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)
	Carbono orgánico en el suelo (Mg ha ⁻¹)	
	Biomasa muerta (Mg ha ⁻¹)	

Cuadro 47. Variables necesarias para el mapeo de servicios ecosistémicos en InVEST **Fuente:** Pares A.C.

Procesamiento de datos y parametrización de modelos

Los diferentes conjuntos vectoriales y capas de datos en formato ráster fueron procesados en ArcMap v.10.6.0 en una resolución espacial de 30 m y fueron sometidos a un proceso de re-proyección al Sistema de Referencia Proyectado Transverse de Mercator – UTM zona 13, Elipsoide WGS 1984, para el análisis de los datos en unidades métricas. Los datos en formato ráster fueron transformados en una estructura de píxel de 16 bits y para el caso de los conjuntos vectoriales, se trabajaron en una escala de 1:250,000.

Provisión superficial del agua

El modelo “*water yield*” es una simplificación del balance hidrológico, donde la provisión superficial del agua depende de la cantidad de precipitación media anual, de las propiedades de almacenamiento de agua por parte del suelo y las características de la cobertura vegetal (Bhagabati *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2018). Este modelo estima la cantidad promedio de agua que es producida en una o varias cuencas, haciendo un cálculo de la relación precipitación-escorrentía de acuerdo con la curva de Budyko (Hamel *et al.*, 2020). También identifica de qué manera los cambios en cada zona del paisaje (o píxel) afectan la

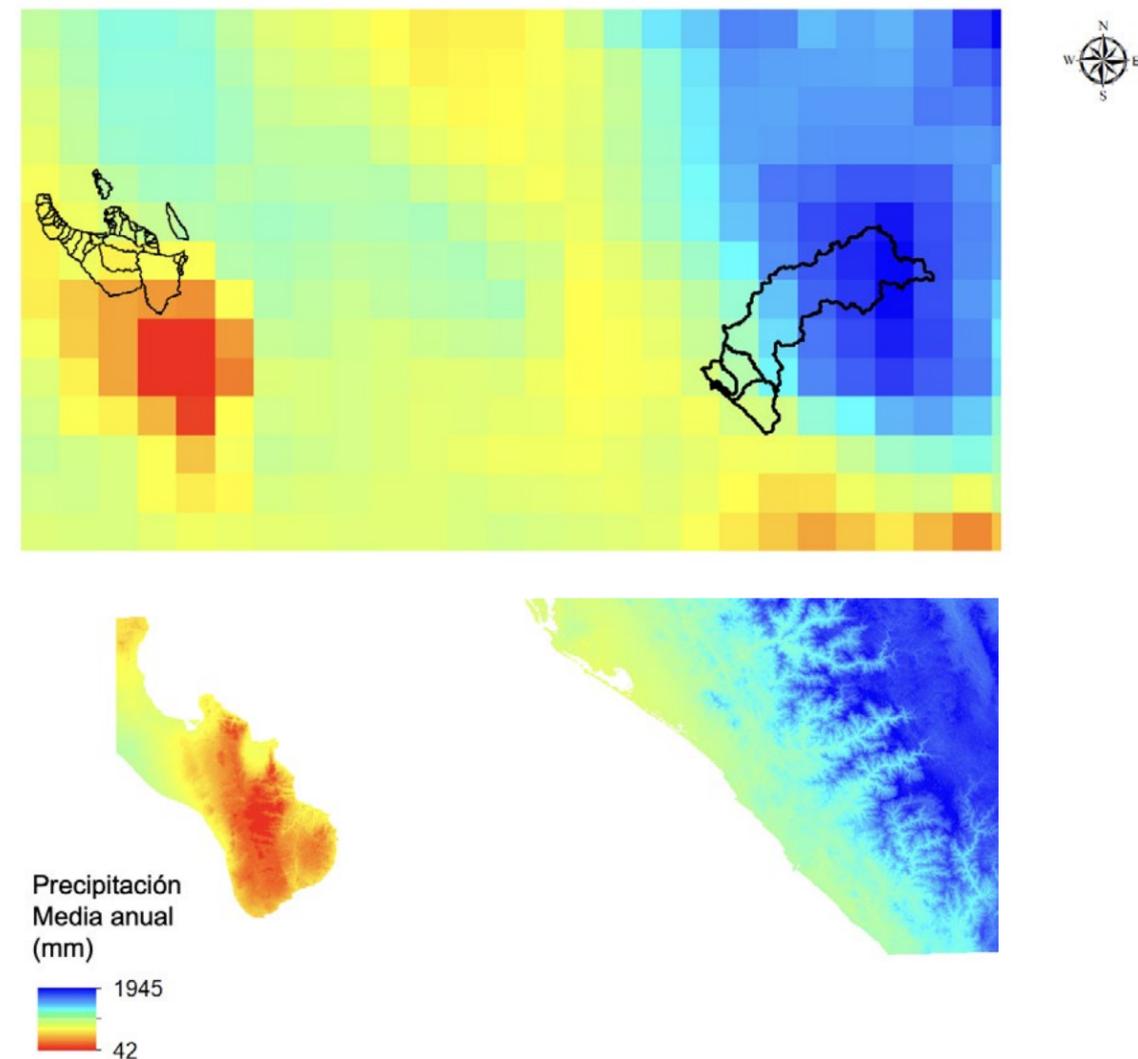


Figura 56. Ejemplo del aumento de resolución mediante el método de downscaling con machispline. Fuente: Pares A.C.

evapotranspiración y el contenido volumétrico del agua, en función de las características físicas del suelo. Los resultados espacialmente explícitos sobre la producción relativa de agua por píxel sirvieron para la identificación de las áreas con diferentes intensidades en la cantidad de agua disponible para consumo en el paisaje y en cada una de las subcuencas. Para ello, se hizo uso de la siguiente información cartográfica para parametrizar el modelo:

Mapa de precipitación media anual

El mapa en formato ráster (mm), fue basado en los análisis de datos meteorológicos históricos para 13 estaciones. Se hizo uso de las capas ráster de climatología promedio de precipitación, para el periodo 1971-2020 (desarrolladas para este estudio y basadas en los promedios diarios), para obtener el mapa de precipitación acumulada, con una resolución espacial de 25 km². Para mejorar su representación espacial en una escala regional se optó por realizar un “*Downscaling*” estadístico multivariado, basado en modelos de aprendizaje automático, por medio de la herramienta “*machispline*” en el programa R v.4.1.2. Este método de ajuste por superficies o variable predictoras (como el efecto topográfico) permite proyectar de forma precisa la información disponible en una baja resolución sobre una escala regional, a partir de variables predictoras en alta resolución. Para ello fueron usados el Índice Topográfico de Humedad (TWI), el DEM, la dirección de flujo, la pendiente y la climatología de precipitación acumulada, para el periodo 1910-2010; y también, de los algoritmos: *boosted regression trees* (BRT), *neural networks* (NN); *generalized additive model* (GAM), *support vector machine* (SVM), *multivariate adaptive regression splines* (MARS) y *random forests* (RF) del *machispline*. Con ello se obtuvo un mapa de precipitación anual en una resolución espacial de 30 metros (Figura 56).

Evapotranspiración potencial

Este mapa en formato ráster (mm año⁻¹), fue calculado por medio del uso de la herramienta METRIC (*Mapping EvapoTranspiration at High Resolution with Internalized Calibration*), basado en el método de percepción remota SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) en el programa R y mediante el uso de la climatología mensual promedio de las temperaturas máxima y mínima (1971-2020), con resolución de 25 km². METRIC es una herramienta que calcula la evapotranspiración potencial, basada en un balance de energía que emplea imágenes de satélite Landsat-9 ETM+ (en particular, las bandas de infrarrojos

de onda corta), índices de vegetación, radiación espectral, datos meteorológicos de la temperatura del aire y datos de precipitación (Zhang *et al.*, 2001; Leh *et al.*, 2013). Los índices espectrales fueron obtenidos con Google Earth Engine para los años 2020, 2021, 2022 y 2023 (Patapov *et al.*, 2022). Para los cálculos de la radiación espectral, se utilizaron las bandas de infrarrojo cercano (9a) y el índice de área foliar (IAF). El IAF (0-1), este representa el área de la hoja (lado superior) por unidad de área de suelo debajo de ella. Este índice fue basado en el cálculo del índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI; con las bandas 5 [NIR] y 11 [SWIR]) y mediante el uso de la ecuación propuesta por Jan *et al.* (2017):

$$LAI = 0.109 * NDWI - 0.3233 \quad (1)$$

El algoritmo calcula las diferencias entre los datos de temperatura del aire de las estaciones, los datos de flujo de calor derivados de las imágenes y datos de los coeficientes de evapotranspiración para cada uno de los LULC (obtenidos mediante una revisión de bibliografía), por medio de un análisis de regresión lineal. Posteriormente se usó la herramienta *Raster calculator* del *Stapial Analysis en Arcmap* y el mapa de precipitación para derivar el mapa de evapotranspiración potencial.

Profundidad del suelo o restricción del crecimiento de raíces

Este mapa en formato ráster (mm) fue generado haciendo uso del conjunto nacional de datos vectoriales edafológicos y alfanuméricos Serie II del INEGI. Este conjunto de datos cuenta con la información de las propiedades físicas, químicas y de profundidad de horizontes. En consecuencia, se hizo un análisis de regresión lineal entre los valores obtenidos para cada perfil, el mapa de pendientes y longitud de pendientes, derivados a partir del DEM (con resolución espacial de 30 m), para interpolar la profundidad de suelos al área de estudio (Schenk y Jackson, 2002).

Contenido volumétrico del agua. Representa la cantidad de agua disponible para las plantas que el suelo puede retener. El mapa en formato ráster (mm) fue calculado mediante el uso de la información de las propiedades físicas del suelo (% de arenas, limos y arcillas) del conjunto vectorial de datos edafológicos y alfanuméricos Serie II y la profundidad del suelo. Como esta base de datos no cuenta con información de variables como el punto de marchitamiento permanente, la capacidad de volumétrica de campo y la disponibilidad de agua en el suelo (TAW), parámetros necesarios para su cálculo; para

cada uno de los perfiles, se calculó la fracción de agua almacenada en el suelo haciendo uso de la herramienta “Soil Water Characteristics Tool” (Droogers y Allen, 2002; Saxton y Rawls, 2006), que hace uso de datos de textura y del contenido de materia orgánica para su cálculo. Posteriormente se usó del interpolador Kriging del Spatial Analysis en ArcMap para derivar el mapa de PAWC, para toda el área de estudio.

Cuencas, usos de suelo, factor de evapotranspiración y profundidad de raíces.

Se usaron los conjuntos de datos Vectoriales de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas de CONAGUA. Además del conjunto de datos vectoriales de los tipos de cobertura vegetal y usos de suelo de INEGI Serie VII. Finalmente, los datos tabulados de profundidad de raíces y el factor de evapotranspiración (Kc) por tipo de LULC, se obtuvieron por medio de una revisión bibliográfica (Canadell *et al.*, 1996; Andrade *et al.*, 2005; Masuhara *et al.*, 2015; Bruijnzeel *et al.*, 2006; Holwerda *et al.*, 2010 y 2013; Muñoz-Villers *et al.*, 2012).

Retención de sedimentos o Sediment delivery ratio model (SDR)

Este modelo cuantifica la erosión potencial y la capacidad que tiene el paisaje para retener estas partículas de suelo, sujetos a la acción de transporte por el efecto del escurrimiento pluvial (Vigerstol y Aukema, 2011; Hamel *et al.*, 2015). En particular, este modelo usa la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE), para estimar la pérdida potencial de suelo o erosión, en función de las propiedades físicas del suelo y la intensidad de lluvia. La probabilidad de que los sedimentos lleguen al cauce de los ríos depende de las interacciones entre la forma del paisaje (la pendiente, dirección de pendiente y el largo de las pendientes) y de la cantidad de vegetación, la cual retiene sedimentos de áreas cuenca arriba y también exporta sedimentos cuenca abajo (Terrado *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2015). A continuación, se describen las variables usadas para parametrizar el modelo. Finalmente, las unidades biofísicas en que se reportan los mapas resultantes fueron expresadas en toneladas por hectárea al año; así como toneladas por subcuenca al año.

Factor de erodabilidad del suelo (K)

El mapa representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por acción del agua de lluvia (ton·ha·hr(MJ·ha·m-

m)⁻¹. Para el cálculo de este factor se usó la información de las propiedades físicas del suelo (texturas y el tamaño de partículas), del conjunto nacional de datos vectoriales edafológicos y alfanuméricos Serie II y el método de Albers (Flanagan y Nearing, 1995), de interpolación Kriging de la herramienta *Spatial Analysis* para generar capas de erodabilidad del suelo para cada una de las regiones, en formato ráster.

Factor de erosividad de la lluvia (R)

Este mapa en formato ráster representa la intensidad y duración de la lluvia en una superficie determinada, o fuerza cinética de las gotas de lluvia para desprender partículas de suelo (MJ·mm (ha·hr)⁻¹. Se usaron los datos de precipitación mensual históricos desarrollados para este estudio y la metodología de Renard (1993). Este método utiliza la ecuación modificada de Fournier para obtener el índice de erosividad de los datos mensuales.

Modelo digital de elevación.

Se usó un mapa en formato ráster con resolución de 15 metros del continuo de elevaciones para México, desarrollado por el INEGI. Para ser usado en el programa, fue necesaria una corrección por el método de relleno de espacios de error de sumideros (valores muy bajos) y puntas (valores muy altos), para zonas donde no era posible que el agua drenará hacia alguna dirección, con el fin de asegurar la dirección y acumulación de flujo del agua correcta.

A partir del MDE, fueron calculados los valores de *longitud de pendiente (L) e inclinación de la pendiente (S)* en InVEST. Finalmente, mediante una búsqueda de datos bibliográficos para los factores de prácticas de apoyo a la conservación (P) y manejo de cultivos (C) para cada una de las clases de uso de suelo de los mapas de la ESA-ICC (RUSLE Handbook FAO).

Almacenamiento de carbono

Este modelo, “*carbon storage*”, se basa en el conocimiento sobre los principales reservorios de carbono o generación de biomasa en la vegetación: biomasa aérea, biomasa en el suelo, carbono en la materia orgánica del suelo, biomasa muerta y los productos maderables. Los principales insumos fueron el mapa de usos de suelo y el desarrollo de una tabla biofísica con los valores de carbono almacenado en cada clase obtenidos de diferentes estudios científicos

realizados en México (Ton ha⁻¹). Sin embargo, para incrementar la representación espacial en la priorización de SE, debido a la distribución de los tipos de uso de suelo de la Serie VII, se estimó la biomasa aérea (BA) mediante el uso de información dasométrica (diámetro de los árboles a la altura del pecho), registrada en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2009-2014), de la CONAFOR, para 31 conglomerados monitoreados. La información levantada en estas unidades consta del nombre científico y común de la especie, diámetro normalizado (DN) y altura total (A). En consecuencia, las estimaciones del contenido de carbono en la biomasa, se obtuvo de la aplicación de modelos de regresión que relacionan el contenido de carbono, con el volumen de biomasa, de acuerdo con las especies propuestas en el Inventario. Las estimaciones de biomasa por hectárea se realizaron empleando la metodología de Šmelko & Merganič (2008), la cual considera un estimador de media de razones, donde el numerador corresponde al total del C obtenido, considerado las unidades de muestreo y el denominador se refiere a la superficie total muestreada, como lo indica la siguiente ecuación:

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (2)$$

Una vez obtenidas las estimaciones de C en la biomasa, a nivel de conglomerado, se empleó el modelo de Regresión-kriging para generar un continuo y conocer la distribución espacial de ambos almacenes en cada pixel del paisaje (Galeana *et al.*, 2021). Este método, usa los valores predichos y los residuales (diferencias con los valores del inventario), como se muestra a continuación:

$$\hat{zRK}(S_0) = \sum_{k=0}^p \hat{\beta}_k * q_k(S_0) + \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \varepsilon_i(S_0) \right) + \sum_{j=1}^n \omega_j Z_j(S_i) \quad (3)$$

Donde RK(S0) es la estimación puntual de la variable en una ubicación espacial desconocida, βk son los coeficientes del modelo, qk es el número de variables auxiliares, ωi (S0) son los pesos determinados por el semivariograma, y son los residuales de la regresión (Galeana *et al.*, 2014). Para predecir la BA se empleó como variable predictiva el Enhanced Vegetation Index (EVI), derivado de imágenes Landsat 9.

5.9.3. Metodología para el balance hídrico

La modelación hidrológica es una herramienta que permite comprender los procesos del ciclo hidrológico o del movimiento del agua entre la superficie del planeta y la

atmósfera como, por ejemplo, la distribución espacial de la lluvia y producción de escurrimientos (Zhao *et al.*, 2018; De Andrade y Ribeiro, 2020). Los procesos que ocurren dentro de una cuenca dependen de factores bióticos, abióticos y climáticos, cuyas características determinan la disponibilidad de agua, como los suelos, topografía, cobertura vegetal, el clima, ubicación latitudinal, los cuerpos de agua y la evapotranspiración (Barral, 2017). Para ello, los programas de modelación hidrológica basados en procesos físicos, que utilizan variables temporales y espaciales, permiten simular el comportamiento de una cuenca a través de datos puntuales de campo y supuestos básicos asociados a las características climáticas, tipos de suelo, áreas de escurrimiento, pendiente, entre otros. En este contexto, el modelo semi-distribuido de Soil and Water Assessment Tool (SWAT), permite simular el efecto diario de las prácticas de manejo sobre la precipitación, interceptación, escurrimiento superficial, evapotranspiración, permeabilidad, el flujo lateral del perfil del suelo y flujo de retorno de acuíferos (Ecuación 4), para diversas Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), de acuerdo a la pendiente, los tipos de suelo y cobertura vegetal de una cuenca.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{t=1}^t \hat{R}_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{wg} - Q_a \quad (4)$$

Donde SWt, es el contenido de agua en el suelo (mm) en el tiempo t; SW0, es el contenido inicial de agua del suelo para el día i (mm); t, es el tiempo; Rday, es la cantidad de precipitación (mm); Qsurf, es la cantidad de escurrimiento superficial (mm); Ea, es la cantidad de evapotranspiración (mm); Wseep, es la cantidad de agua que infiltra en el perfil del suelo (mm) y Qgw, es el flujo base (mm). Sin embargo, su calibración requiere de una gran cantidad de datos para garantizar su representación detallada a nivel de cuenca, los cuales limitaron su aplicación y debido al enfoque del estudio en una priorización de servicios a nivel de píxel, los cuales incluyen: la producción de biomasa anual, producción de escurrimientos mensuales, flujo de agua subterránea, la constante de recesión de flujo base, la conductividad hidráulica efectiva, el coeficiente de evapotranspiración del agua subterránea y el coeficiente de retraso de escorrentía en los límites superiores e inferiores del suelo (Arnold *et al.*, 2012; López-Ramírez *et al.*, 2021; Rivas-Torres *et al.*, 2020. Por lo que se optó por usar el modelo *Seasonal Water Yield* de InVEST.

El modelo de *Seasonal Water Yield*, estima la disponibilidad de agua bajo un esquema de SE, a partir de la simulación de variables determinantes del ciclo hidrológico por unidad de superficie (Hamel *et al.*, 2020) a partir de

datos mensuales de precipitación y evapotranspiración, para determinar con una mayor precisión los cambios entre flujo rápido y flujo base (cálculo de excedentes y déficit de agua de un mes en particular, con respecto al mes anterior), de acuerdo con la influencia de las épocas de lluvias y secas (Halder *et al.*, 2022). Al igual que SWAT, este modelo simula cuatro procesos principales: el flujo rápido mensual (QF), número de curva (CN), recarga local (L), evapotranspiración (ET) y el flujo base (B).

En el modelo el **flujo rápido** ocurre cuando la precipitación es mayor que la infiltración constante, la cual depende de las condiciones de humedad del suelo (Uribe *et al.*, 2010; Sahle *et al.*, 2019; Hamel *et al.*, 2020). La cantidad de QF es estimada con la metodología del **número de curva** (CN), que consiste una asignación de valor de escurrimiento, o proporción de la precipitación que será retenida, evapotranspirada y la que se convertirá en escurrimiento superficial, de acuerdo con las propiedades hídricas de los suelos (profundidad del suelo, textura, permeabilidad y humedad) [Arnold *et al.*, 2012]. Los valores altos de CN, representan un mayor potencial de escurrimiento (el suelo se encuentra en punto de marchitez) y los bajos tienen una mayor probabilidad de infiltración. La precipitación que no escurre y no es evapotranspirada por la vegetación, puede infiltrarse y convertirse en *recarga local* (L). La *evapotranspiración* es la suma de la evaporación y transpiración, que puede ser estimada por los métodos de Penman-Monteith (1965) y de Hargreaves y Sammami (1985). Finalmente, el flujo base está determinado por la cantidad de agua que llega hasta el cauce de los ríos desde las aguas subterráneas durante la estación seca. B, representa el flujo que mantiene agua en los ríos durante las épocas de baja precipitación.

A fin de parametrizar el modelo se hizo uso de la siguiente información cartográfica:

Mapas de precipitación y evapotranspiración media anual

Estos mapas en formato ráster (mm), fueron basados en los análisis de datos meteorológicos históricos para 13 estaciones. Se hizo uso de las capas ráster de la climatología promedio de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, para el periodo 1971-2020 (desarrolladas para este estudio), en una resolución espacial de 25 km². Para mejorar su representación espacial, se aplicó un “Downscaling” estadístico multivariado, basado en modelos de aprendizaje automático, por medio de la herramienta “*machispline*” y mediante el uso de las siguientes variables predictoras: Índice Topográfico de Hu-

medad (TWI), el DEM, la dirección de flujo, la pendiente, climatología de precipitación acumulada y climatología de temperatura promedio, para el periodo 1910-2010. Con ello se obtuvieron los mapas de precipitación acumulada mensual, en una resolución espacial de 30 metros. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se decidió emplear el método de Hargreaves debido a que requiere un menor número de insumos, como la radiación solar, la temperatura máxima, la temperatura mínima y la temperatura promedio. Además, se hizo uso del DEM, el conjunto de datos vectoriales de tipos de suelo hidrológico (A, B, C, D, que describen el potencial de escurrimiento) obtenidos del *World Soil Information* (ISRIC) y el número promedio de días del mes con lluvia, obtenidos de las bases de datos de las estaciones climatológicas.

5.9.4. Priorización de servicios ecosistémicos

La priorización espacial o identificación de áreas prioritarias, busca acotar las zonas de intervención, de modo que sea posible concentrar los esfuerzos donde se ha determinado que se obtendrán los mayores beneficios en la provisión de los servicios ecosistémicos. Al mismo tiempo que permite focalizar esfuerzos en áreas con un cierto grado de perturbación (baja prioridad), por la acción de las actividades humanas. Para identificar las áreas, se hizo uso de herramientas de correlación y concordancia espacial; mediante la estandarización (0-1) de los mapas individuales de provisión, dado que se encuentran en diferentes unidades métricas (mm, ton, etc.) y disímiles. Los valores de los ráster fueron estandarizados mediante el método de scaling, haciendo uso de la siguiente ecuación y fueron clasificados en 5 categorías (de muy baja, baja, media, alta, a muy alta). En donde *I* es el subíndice de la variable *P*, *I*_{obs} es el valor del subíndice para un píxel, *minI* es el valor máximo observado del conjunto de valores *IP* y *maxI* es el máximo valor observado del mismo conjunto de valores.

$$I_p = \frac{(I_{obs} - \min I)}{(\max I - \min I)} \quad (5)$$

La determinación de áreas prioritarias individuales, fue basada en la distribución de valores de provisión para cada píxel, seleccionando al cuarto y quinto cuantil con el fin de encontrar el número de píxeles con diferentes niveles de prioridad. Cabe resaltar que, para la interpretación de los mapas, se determinó que los valores más bajos representan un menor aporte de SE, mientras que los valores máximos de cada escala indicaron un mayor aporte. La función de superposición ponderada o concordancia espacial realizada en los análisis de idoneidad y planifica-

ción sistemática, permitió optimizar la selección de áreas de conservación, basado en un conjunto de características (por ejemplo, conservar al menos el 20% de los píxeles con valores altos para cada tipo de SE). Posteriormente se utilizó un análisis de índice de “Moran I” para medir el grado de relación entre SE; además, todos los mapas fueron integrados en la herramienta de análisis espacial *Fuzzy Overlay del Spatial Analysis*, la cual ubica los diferentes conglomerados con valores altos en la provisión de todos los SE o píxeles de alta y muy alta importancia que se presentan juntos a través del paisaje, de una cuenca o subcuenca, y explora la solución más efectiva.

5.9.5. Resultados de la modelación de servicios ecosistémicos

Con el propósito de analizar los patrones de distribución espacial de los niveles de provisión de cada SE (en unidades biofísicas), se describen primero la distribución y montos de provisión a nivel de paisaje o cuenca (píxel); y después, se describe el nivel de aprovisionamiento a nivel de cuenca y subcuenca.

Provisión superficial del agua.

Las alteraciones causadas por la actividad humana sobre la cobertura y el uso de suelo tienen una gran importancia sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, en repercusión de igual alcance sobre la provisión de los SE. Basado en el conjunto vectorial de cobertura vegetal y usos del suelo, se identificaron como tipos de vegetación a los humedales, manglar, matorrales, selva baja, selva mediana, bosque de pino, bosque de encino y bosque de pino-encino (**Figura 29**). Como sistemas productivos, a los cultivos agrícolas, cultivos de riego, cultivos perenes, potreros, pastizales y acuacultura. Por último, los otros usos del suelo incluyen a las zonas urbanas, suelo desnudo y los cuerpos de agua. La provisión superficial del agua es considerada como uno de los SE de mayor importancia, debido al enfoque del programa de PSA y por los diferentes Programas de Pagos Concurrentes. Este modelo generó diversos resultados biofísicos que permiten hacer comparaciones sobre la disponibilidad de agua superficial en el paisaje en mm año⁻¹ (**Figura 57**).

Basado en los datos históricos de precipitación, la precipitación osciló entre los 420 y los 1,400 mm año⁻¹ (entre los 21 y 77 mm día⁻¹), con una media anual de 854 mm año⁻¹, generando una provisión de agua de entre 40 y los 1,300 mm año⁻¹. Las zonas de mayor aporte o disponibilidad de

agua fueron aquellas que coinciden espacialmente con los bosques de pino (500 ± 96 mm año⁻¹; max: 1,086 mm año⁻¹; min: 174 mm año⁻¹), bosques de pino-encino (475 ± 89 mm año⁻¹; max: 1,327 mm año⁻¹; min: 171 mm año⁻¹), y los bosques de encino (473.4 ± 83 mm año⁻¹; max: 1,120 mm año⁻¹; min: 215 mm año⁻¹) ubicados al este de la parte media de la cuenca. Las áreas de menor producción de agua se ubicaron en los territorios de menor altitud, que coinciden con las zonas agrícolas de temporal (178 ± 77 mm año⁻¹; max: 758 mm año⁻¹; min: 139 mm año⁻¹), de riego (166 ± 71 mm año⁻¹; max: 642 mm año⁻¹; min: 122 mm año⁻¹) y en las zonas urbanas. En estas zonas la evapotranspiración es más alta, debido a las altas temperaturas y a la radiación solar. En el **Cuadro 36** se resumen varios estadísticos de la provisión superficial de agua, por subcuenca. Estos resultados resaltan un volumen total de producción de agua de 2,703 Millones de m³ dentro de la cuenca del río Presidio. Siendo la parte alta, la que contribuye con el mayor aporte de agua superficial (87.3%; 443.06 mm año⁻¹), y las cuencas con mayores porcentajes de uso de suelo urbano y agrícola, fueron aquellas que contribuyeron en menor medida, debido a la alta evapotranspiración y una baja precipitación (769 mm año⁻¹) en las partes bajas (**Cuadro 48**).

Retención de sedimentos. Los ecosistemas boscosos, sobre todo en pendientes pronunciadas y en las cercanías de los ríos, juegan un papel importante como barrera frente al desplazamiento de partículas de suelo y contaminantes, en los cauces de los ríos y, en particular, en las zonas montañosas, donde la lluvia y la pendiente de las laderas incrementa la erosión de los suelos y el escurrimiento (**Figura 58**). La retención de suelos se encontró entre las 0 y las 5.9 ton año⁻¹, ecosistemas como bosques y selvas pueden evitar que se pierdan 1 millón 100 mil toneladas de suelo por año (**Cuadro 48**), por efecto de la erosión hídrica (2.098 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Los bosques (1.4 ± 0.64 Mg ha⁻¹ año⁻¹; max: 2.098 Mg ha⁻¹ año⁻¹; min: 0.004 Mg ha⁻¹ año⁻¹), la selva media (1.3 ± 0.63 Mg ha⁻¹ año⁻¹; max: 2.32 Mg ha⁻¹ año⁻¹; min: 0.005 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y los bosques de encino (1.31 ± 0.66 Mg ha⁻¹ año⁻¹; max: 4.68 Mg ha⁻¹ año⁻¹; min: 0.002 Mg ha⁻¹ año⁻¹), jugaron un papel más relevante en la retención de sedimentos evitando su entrada a los cauces de los ríos en la parte media de la cuenca.

En las cercanías de los ríos se encontraron valores altos de retención de sedimentos, éstos se ven influenciados principalmente por la pendiente y los usos de suelo intensificados (con una menor cobertura vegetal). Dada la naturaleza del modelo, existe un mayor aporte en las partes bajas de cada subcuenca dada la suma de efectos de los píxeles cuenca arriba. Los resultados resaltan nuevamente un mayor aporte en la retención de sedimentos por parte

	Provisión superficial de agua (WY)	Retención de sedimentos (SR)	Almacenamiento de carbono (CS)	WY	SR	CS
	106 m3 año ⁻¹	106 Ton año ⁻¹	106 Mg	%	%	%
Mazatlán	78.53	0.054	3.87	2.90	1.23	2.41
Presidio	124.83	0.149	8.20	4.61	3.40	5.88
Caimanera	140.26	0.103	8.34	5.18	2.34	5.98
Parte alta	2,359.81	4.090	119.90	87.28	93.00	86.00

Cuadro 48. Provisión de servicios ecosistémicos por cuenca. Fuente: Pares A.C.

de la vegetación arbórea en las partes altas de la cuenca, contribuyendo en retener potencialmente un total de 4.4 millones de toneladas de suelo por año (93%).

Almacenamiento de carbono. Derivado del análisis se encontró que los diferentes usos de suelo y cobertura vegetal de la cuenca pueden almacenar un total de 140 Millones de Ton de Carbono, desagregados en los diferentes reservorios. El almacenamiento de carbono oscila entre las 3.16 y las 309 Mg ha⁻¹, siendo el Bosque de Pino la cobertura que presentó los mayores niveles (292.5 ± 53.3 Mg ha⁻¹; max: 309.6 Mg ha⁻¹; min: 4.9 Mg ha⁻¹), seguido por los bosques de pino-encino (264.2 ± 78.8 Mg ha⁻¹; max: 308 Mg ha⁻¹; min: 5 Mg ha⁻¹), y los manglares (248.1 ± 4.8 Mg ha⁻¹; max: 2.098 Mg ha⁻¹; min: 4.9 Mg ha⁻¹); a continuación por las selvas medianas (193.3 Mg ha⁻¹) y baja (202.7 Mg ha⁻¹); en síntesis, la vegetación de la parte alta contribuye con el 86% del total de Carbono almacenado. Por otro lado, las cuencas con mayor porcentaje de zonas urbanas (44.8 Mg ha⁻¹) y agrícolas (54.12 Mg ha⁻¹) son las que contribuyen con menores niveles de carbono y biomasa (Figura 59).

5.9.6. Resultados del balance hídrico

Los resultados de la lámina de escurrimiento superficial anual en la cuenca se determinaron con base en los excesos de agua mensuales que arrojó el Balance Hídrico. Los escurrimientos en la cuenca se presentan en gran parte del año, sin embargo, la lamina de escurrimiento entre los meses de febrero a junio es mínima, siendo la de menor cantidad la del mes de marzo debido a los cambios en precipitación (escasa lluvia), y al aumento en la temperatura y evapotranspiración, los cuales impactan principalmente la humedad del suelo en las partes baja y alta de la cuen-

ca. El escurrimiento anual generado o el aporte al flujo rápido, fue una lámina de 117 mm año⁻¹ (aporte promedio de los pixeles al flujo rápido dentro de la cuenca), siendo las subcuencas de la parte baja las que tuvieron un mayor aporte (Caimanera: 187 mm año⁻¹; Presidio: 156 mm año⁻¹; Mazatlán: 152.4 mm año⁻¹); estos escurrimientos extraordinarios pueden causar inundaciones principalmente en las áreas agrícolas y urbanas. En ese sentido, la cobertura boscosa también influye en la humedad del suelo, a través de la intercepción de las gotas de lluvia y transpiración, siendo la parte alta de la cuenca la que contribuye con el menor flujo (QF= 145.51 mm año⁻¹). Las zonas dominadas por bosques de pino, pino-encino, encino y manglares, son aquellas con un menor aporte al flujo rápido. La Figura 60 da un panorama más completo a nivel de paisaje y permite relacionar los valores de la lámina de QF directamente con los tipos de cobertura vegetal.

Por otra parte, la cobertura vegetal en la parte media y alta de la cuenca, contribuye con los mayores aportes al flujo base (291 mm año⁻¹), mientras que los diferentes usos de suelo en las subcuencas de la parte baja contribuyen en menor medida (Caimanera: 188.8 mm año⁻¹; R. Presidio: 192 mm año⁻¹; Mazatlán: 161.3 mm año⁻¹) (Figura 61). La cobertura vegetal en la parte media y alta de la cuenca puede ayudar a amortiguar las inundaciones de manera significativa y facilitar la infiltración del agua en el suelo. Las áreas con mayor aporte están determinadas por la curva numérica CN, donde los valores bajos reflejan un índice con tasas altas de infiltración, los cuales coinciden espacialmente con la distribución de los bosques de coníferas de la cuenca. Por su parte, la porción baja de la cuenca, en donde se distribuyen las áreas agrícolas de riego y temporal y las zonas urbanas presentaron los valores más altos en las tasas de escurrimiento, debido a la compactación de suelos, incre-

mento de la escurritia por baja presencia de vegetación y la baja precipitación (Figura 61).

5.9.7. Priorización de servicios ecosistémicos

A partir de los resultados anteriormente expuestos, se identificaron las áreas con alto y bajo aporte de servicios ecosistémicos. El 17.2% (116,458.54 hectáreas) del área de la cuenca del río Presidio coincidió espacialmente con las zonas de alta provisión superficial del agua (WY), ubicadas en la parte media de la cuenca, mientras que, el 42.6% presentó áreas de baja provisión, sobre todo, en la parte baja de la cuenca. Dentro de las subcuencas, el 98% del área de alta prioridad está comprendida en las partes altas de las mismas; esta zona representa el 21% de su superficie con niveles de alta provisión, mientras que el 28.5% tuvo niveles de baja provisión. Las subcuencas de la parte baja estuvieron dominadas por valores de baja prioridad en la provisión de agua (Cuadro 49).

En lo que respecta al servicio de retención de suelos, el 19.1% (129,429.79 hectáreas) de la superficie de la cuenca mostró alta capacidad de retención, considerando estas zonas como de alta prioridad, de ellas el 96% se ubican en la parte alta. En cuanto al almacenamiento de carbono, el 60.7% (410,777.19 hectáreas) de la superficie de la cuenca coincidió con las áreas prioritarias en almacenamiento de carbono, siendo las subcuencas de la parte alta y la del río Presidio, las que agrupan el 74.4% y 12.6% respectivamente. Siguiendo el mismo patrón, el 21% del área de la cuenca del río Presidio aporta valores altos de agua al flujo base y presentó altas tasas de infiltración en la parte media (Cuadro 49)

En términos metodológicos, para obtener el mapa de servicios ecosistémicos se identificaron las zonas donde coexisten los servicios de provisión superficial del agua, de

retención de suelos, de aporte al flujo base, de altas tasas de infiltración y de almacenamiento de carbono. La Figura 62, muestra el mapa resultante del análisis de concordancia espacial entre áreas prioritarias individuales y la identificación de áreas prioritarias por su alto valor en la provisión de los cinco SE, así como aquellas áreas que requieren atención, debido a la pérdida potencial de SE, en caso de que existan cambios futuros en los usos de suelo y en el clima. Las áreas consideradas críticas están representadas por su bajo nivel en la provisión de al menos tres SE, estas zonas se ubican en la parte baja de la cuenca donde coinciden espacialmente con las áreas de mayor actividad humana y en la parte alta de la cuenca, donde se distribuyen la vegetación arbustiva y los pastizales. De la superficie total de la cuenca del río Presidio, el 28.9% se identificó con las áreas de muy alta prioridad y el 18.9% con las áreas de muy baja y baja prioridad (Figura 62).

Priorización de servicios ecosistémicos en el entorno de la ciudad de Mazatlán

Como se planteó anteriormente, la priorización espacial o identificación de áreas prioritarias busca acotar las zonas de intervención, de modo que sea posible concentrar los esfuerzos donde se ha determinado que se obtendrán los mayores beneficios en la provisión de los servicios ecosistémicos. Al mismo tiempo, también permite focalizar esfuerzos en áreas con un cierto grado de perturbación (evaluadas con baja prioridad), por la acción de las actividades humanas.

El análisis de priorización de los SE para la totalidad de la cuenca del río Presidio muestra que las áreas consideradas críticas por su bajo nivel en la provisión de al menos tres SE se ubican en la parte baja de la cuenca, donde coinciden

Cuadro 49. Porcentaje de las zonas de alta prioridad en cada subcuenca. Fuente: Pares A.C.

Subcuenca	Áreas de alta prioridad (%)				
	Infiltración	B	WY	SR	CS
Mazatlán	1.82	4.76	1.51	1.55	35.5
Presidio	0.18	4.69	3.98	4.05	47.5
Caimanera	1.55	7.36	2.51	3.47	25.7
Parte alta	26.4	25.7	21.5	23.5	67.5

especialmente con las áreas de mayor actividad humana (urbana, turística y agrícola). Sin embargo, al hacer un acercamiento a detalle de esta porción de la cuenca considerada parte del centro de población se aprecia que todavía existen remanentes de vegetación primaria y secundaria con categorías de muy alta y alta prioridad en el entorno inmediato de la ciudad (**Figura 63**)

El mapa (**Figura 62**) indica que cada categoría de prioridad por los servicios ecosistémicos integrados abarca diferentes ecosistemas y usos del suelo con sus correspondientes superficies y porcentajes, como se muestra en el **Cuadro 50** y la **Gráfica 36**, donde se observa que la mayor superficie está ocupada por la categoría de alta prioridad con 13,856.3 hectáreas, seguida por la media prioridad con 9,382.6 hec-

Áreas de alta prioridad (%)	Infiltración
Muy Alta	3,479.0
Alta	13,856.3
Media	9,382.6
Baja	348.1
Muy Baja	7,920.2
En blanco	1,587.7
Total	36,574.1

Cuadro 50. Nivel de prioridad para la provisión de servicios ecosistémicos (Porcentaje). **Fuente:** Pares A.C.

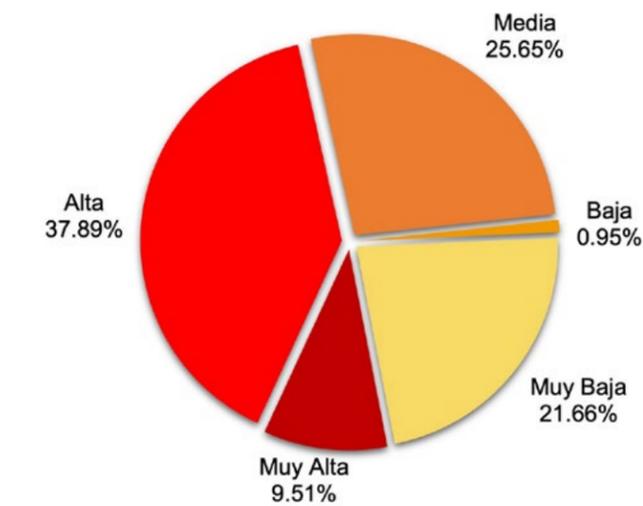
Muy Alta prioridad: La selva baja caducifolia y sus sucesiones secundarias concentran el 90% de la superficie en esta categoría, destacando la importancia de estos ecosistemas para la provisión de servicios esenciales.

Alta prioridad: La tendencia se mantiene, con la selva baja caducifolia y sus sucesiones representando el 84% de la superficie, reafirmando su relevancia en la provisión de servicios ecosistémicos.

Media prioridad: Aunque la proporción disminuye ligeramente, la selva baja caducifolia y sus sucesiones, junto con la vegetación secundaria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia, siguen siendo los tipos de vegetación predominantes, representando el 67% de la superficie.

táreas, mientras que la muy baja prioridad abarca 7,920.2 hectáreas. Posteriormente se describe el tipo de vegetación y usos del suelo que predominan en estas categorías y su importancia para la resiliencia de la ciudad.

Los resultados del análisis de los fragmentos de vegetación revelan una clara dominancia de la selva baja caducifolia y sus sucesiones secundarias (arbórea y arbustiva) en las categorías de muy alta, alta y media prioridad en términos de servicios ecosistémicos. (**Cuadro 51**).



Gráfica 36. Proporción del área por categoría de prioridad. **Fuente:** Pares A.C.

Baja prioridad: Los polígonos clasificados como de baja prioridad en cuanto a servicios ecosistémicos están predominantemente dedicados a actividades agrícolas. El cultivo de temporal anual (4,373.1 hectáreas), y el pastizal cultivado (2,872.7 hectáreas) y la agricultura temporal anual y permanente (1,783.6 hectáreas) representan el 65% de esta categoría, lo que sugiere una menor provisión de servicios ecosistémicos en comparación con otras áreas

Las áreas clasificadas como de Muy Baja prioridad para los servicios ecosistémicos están principalmente ocupadas por asentamientos humanos (5,801.6 hectáreas) y agricultura de temporal anual (984.5 hectáreas). Estos usos del suelo, que representan el 86% del total de esta categoría, suelen ofrecer una menor provisión de servicios ecosistémicos.

En el entorno de la ciudad de Mazatlán, también se identificaron otros tipos de vegetación que por las presiones que ha ejercido el desarrollo urbano-turístico y las actividades productivas se han reducido considerablemente y de los cuales aún se cuentan pequeños fragmentos, estos pueden consultarse en el **Anexo III**.

Cuadro 51. Categorías de priorización de servicios ecosistémicos por tipo de vegetación y uso (porcentaje). **Fuente:** Pares A.C.

Uso de suelo y vegetación	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	Total
Selva baja *	90.20	84.05	56.01	16.11	5.49	31.90
Agricultura	3.49	4.83	8.05	46.52	14.29	24.33
Asentamiento humano	3.50	1.95	5.55	9.93	73.25	22.23
Pastizal	1.78	3.96	3.85	20.89	2.71	10.33
Selva espinosa *	0.20	1.33	11.52	4.94	2.40	5.72
Manglar *	0.80	2.59	6.59	0.35	0.62	2.31
Acuícola	0.00	1.17	5.32	0.68	0.47	1.92
Cuerpo de agua	0.02	0.12	1.31	0.37	0.77	0.68
Vegetación halófila	0.00	0.00	1.81	0.20	0.00	0.57
*Agrupa vegetación natural y perturbada						3.007

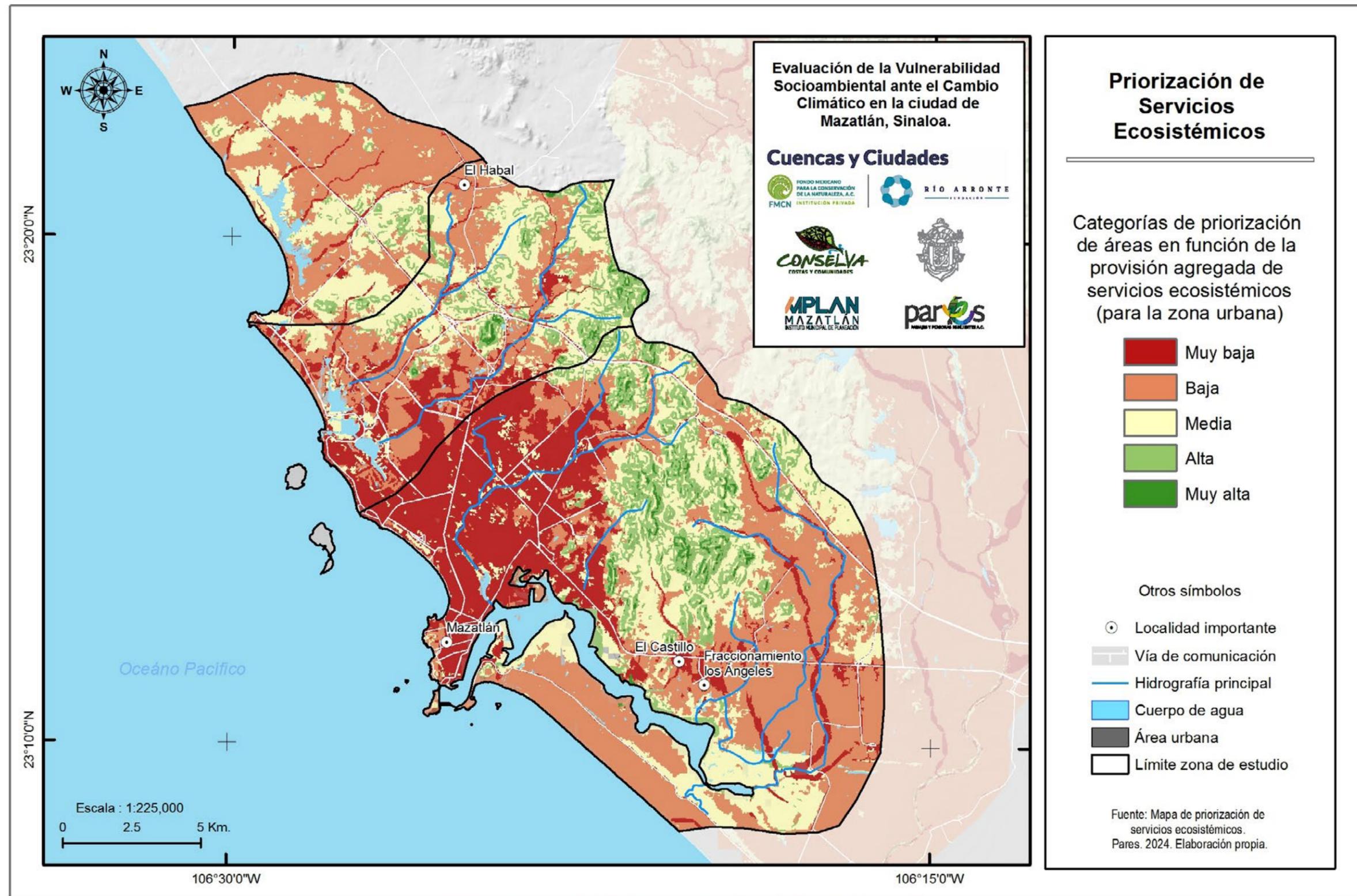


Figura 63. Áreas prioritarias para la provisión de servicios ecosistémicos en el entorno de la ciudad de Mazatlán. Fuente: Pares A.C.

Importancia de la vegetación en el entorno de la zona urbana de Mazatlán

La selva baja caducifolia es la vegetación predominante de Mazatlán; este tipo de vegetación aún puede observarse en la periferia de la ciudad y en los predios que no han sido intervenidos dentro de la mancha urbana (Zapien, 2022)., este tipo de vegetación es el hábitat de especies silvestres endémicas y/o de valor comercial, además ofrece servicios ecosistémicos de captura de carbono, conservación de suelos, de biodiversidad y de riberas, así como regulación de clima y mantenimiento de los ciclos minerales.

La deforestación a gran escala de estas selvas se disparó a partir de 1970 con el impulso al reparto agrario, la revolu-



La selva baja espinosa es otro tipo de vegetación nativa que ya no es común encontrar en Mazatlán porque la mancha urbana y las actividades agropecuarias prácticamente la han desaparecido. Según el especialista en etnobotánica, Juan Fernando Pío León, “el bosque espinoso de Mazatlán prácticamente se acabó, la planicie, la zona agrícola de riego antes era el bosque espinoso”. (citado por Zapien, 2022)

Por otra parte El Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población PDUCEP 2023 – 2050, indica que en los Municipios de Mazatlán se desarrollan el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). Además de vegetación halófila hidrófila la cual se refiere a las plantas tolerantes a la sal que crecen en zonas costeras inundadas periódicamente por las

ción verde y el fomento agropecuario que favorecieron la transformación de millones de hectáreas en distritos de riego, plantaciones y tierras de agostadero para la ganadería extensiva. Así mismo la infraestructura del turismo a gran escala ha contribuido a la pérdida de estas selvas (Figura 64). Por su parte, el Cambio Climático podría exacerbar las condiciones de aridez y desertificación. Actualmente los remanentes de selvas secas en México se siguen perdiendo y fragmentando. Este tipo de vegetación aún puede observarse en la periferia de la ciudad de Mazatlán y en los predios que no han sido intervenidos dentro de la mancha urbana.

Figura 64. Deforestación originada por el desarrollo inmobiliario con el área natural Paco's Reserva. Fuente: Son Playas, 2021.

mareas, adaptadas a crecer en suelos salinos y anegados, esta última juega un papel crucial en la estabilización de los suelos y la protección contra la erosión costera.

Entre los servicios ecosistémicos que brindan estos ecosistemas hídrico-terrestres, destacan un rol importante como barreras naturales contra los riesgos hidrometeorológicos protegiendo a los asentamientos humanos, así como en la regulación de inundaciones. De acuerdo con López Araiza, P. y J. R., Ramírez Sarabia (s/f), “los manglares contribuyen a la recarga de los acuíferos y mejorar su calidad ya que estos funcionan como un filtro biológico, previenen la erosión de la costa, regulan la captación de carbono, son zonas en donde se desarrollan crustáceos y otras especies de flora y fauna, son fundamentales para la adaptación de comunidades costeras al Cambio Climático y para la mitigación de los gases efecto invernadero (GEI)”.

Además, “contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio de flora y fauna silvestre, entre otros” (Escuela de Salud Pública de México, 2022).

Según Zapien (2020), “la expansión urbana, la contaminación y las actividades agropecuarias han reducido los manglares de Mazatlán, principalmente los correspondientes a los esteros de Urías y el Infiernillo, así como en los márgenes y boca del río Presidio, de acuerdo con los registros cartográficos del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México”

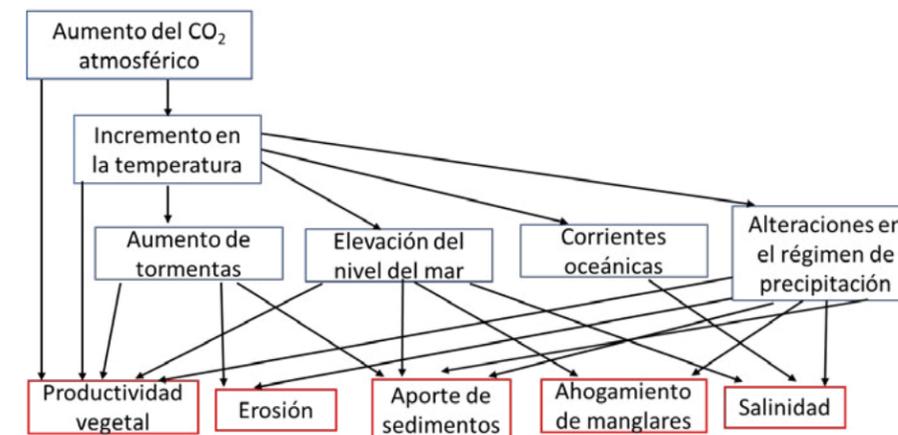
De acuerdo con datos publicados por Zapien (2020) durante el último siglo la extensión de manglar del estero Infiernillo se redujo de 300 a solo 96 hectáreas, lo que representa un 68% del total, mientras que la cobertura de agua se redujo un 75%. A su vez, la longitud de la desembocadura del estero disminuyó un 92% al pasar de 500 metros a solo 40 metros de ancho según comparativa a través de fotografías de satélite (Figura 65).

Figura 65 Pérdida de superficie de manglar en 40 años. Fuente: Son Playas Periodismo Ambiental, 2020.



De acuerdo con Ward et al. (2016) entre los impactos esperados del Cambio Climático hacia el ecosistema de manglar, destacan el aumento del nivel del mar, tormentas, precipitaciones y temperaturas extremas (Figura 66).

Figura 66. Cadena de impactos del Cambio Climático en manglares. Fuente: Tomada de Ward et al. (2016).



Los métodos de cuantificación, mapeo y análisis espacial de servicios ecosistémicos son herramientas útiles para entender como los diferentes usos de suelo y cobertura vegetal, afectan la provisión de SE en las zonas urbanas, periurbanas y rurales. Las zonas que fueron identificadas como de baja provisión de SE, coincidieron espacialmente con las zonas urbanas, resaltando la importancia de los ecosistemas (bosques y selvas) en mitigar los efectos de la pérdida de SE. Sin embargo, los tomadores de decisión, OSC y productores del campo tendrán que estar abiertos a nuevas estrategias que protejan y restauren la cobertura vegetal, como acciones para incrementar la provisión de SE y reducir así la vulnerabilidad ante los efectos del Cambio Climático.

Los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de adoptar enfoques de adaptación basados en ecosistemas. La cuantificación de servicios ecosistémicos permite identificar las áreas donde las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) pueden ser más efectivas para hacer frente al Cambio Climático. Al proteger y restaurar los ecosistemas, se fortalecen las capacidades de adaptación de las comunidades y se contribuyen a un futuro más sostenible.

5.10. Evaluación de la vulnerabilidad actual

5.10.1. Vulnerabilidad socioambiental integrada

Hasta el momento ha quedado demostrado que la combinación de la exposición ante peligros climáticos y la sensibilidad socioeconómica de una población permite cuantificar el impacto potencial ante eventos climáticos extremos en el territorio. Este peligro latente representa la probabilidad y la magnitud de que un evento adverso impacte a una comunidad, considerando tanto la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales como la vulnerabilidad social y económica de la población expuesta. Sin embargo, para obtener una comprensión integral de la vulnerabilidad, es fundamental evaluar la capacidad de los sistemas socio-ecológicos para resistir, absorber y recuperarse de estos impactos.

En este sentido, hemos incorporado la capacidad adaptativa como un componente clave en nuestro análisis. La capacidad adaptativa se define como la habilidad de un sistema para ajustar sus características o comportamientos en respuesta a estímulos cambiantes, con el objetivo de moderar los potenciales daños, aprovechar las oportunidades y mantener o mejorar su bienestar. Por lo anterior, hemos puesto un énfasis particular en la valoración

de los servicios ecosistémicos, como la provisión de agua superficial, la retención de sedimentos y la captura de carbono, ya que estos desempeñan un papel fundamental en el amortiguamiento de los impactos climáticos (ver apartado 5.9 Capacidad adaptativa).

La vulnerabilidad socioambiental se construye, por tanto, como la resultante de la interacción entre el impacto potencial y la capacidad adaptativa. Es decir, un territorio con un alto impacto potencial pero dotado de una elevada capacidad adaptativa gracias a la presencia de ecosistemas saludables y funcionales, experimentará una vulnerabilidad menor en comparación con otro territorio con el mismo impacto potencial, pero con una capacidad adaptativa limitada o incluso inexistente. En otras palabras, los ecosistemas actúan como auténticos escudos naturales, mitigando los efectos de los eventos extremos y contribuyendo a la resiliencia de las comunidades.

Al cuantificar tanto el impacto potencial como la capacidad adaptativa, se ha podido construir la vulnerabilidad socioambiental que nos permite identificar las áreas más expuestas y vulnerables de la zona de estudio. Este análisis proporciona una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas de adaptación al Cambio Climático específicas para cada contexto.

Procedimiento

Se calculó la vulnerabilidad socioambiental en un Sistema de Información Geográfica, combinando la información que representa el impacto potencial por eventos climáticos adversos con la capacidad adaptativa basada en los ecosistemas.

Para ello se utilizaron dos capas: a) la que representa el impacto potencial, que consiste en evaluar la ocurrencia de peligros relacionados con el clima (inundaciones, deslizamientos de ladera, entre otros) combinada con la sensibilidad socioeconómica en un área determinada; los valores de esta capa se asignan como negativos indicando un efecto adverso cuando la sensibilidad es mayor. Por otro lado, b) la capa que representa a la capacidad adaptativa (capacidad de los ecosistemas para mitigar los efectos negativos del Cambio Climático), a la que se le asignan valores positivos como indicativo de que puede aminorar/reducir los efectos adversos para los sistemas expuestos (población, sistemas productivos e infraestructura).

El marco conceptual de esta combinación de capas tiene como referencia una matriz de doble entrada inversa **Cuadro 52** donde se cruzan los valores cualitativos del impacto potencial con los de la valoración ecosistémica, y a partir de estos resultados se elabora el mapa de vulnerabilidad socioambiental (**Figura 67**).

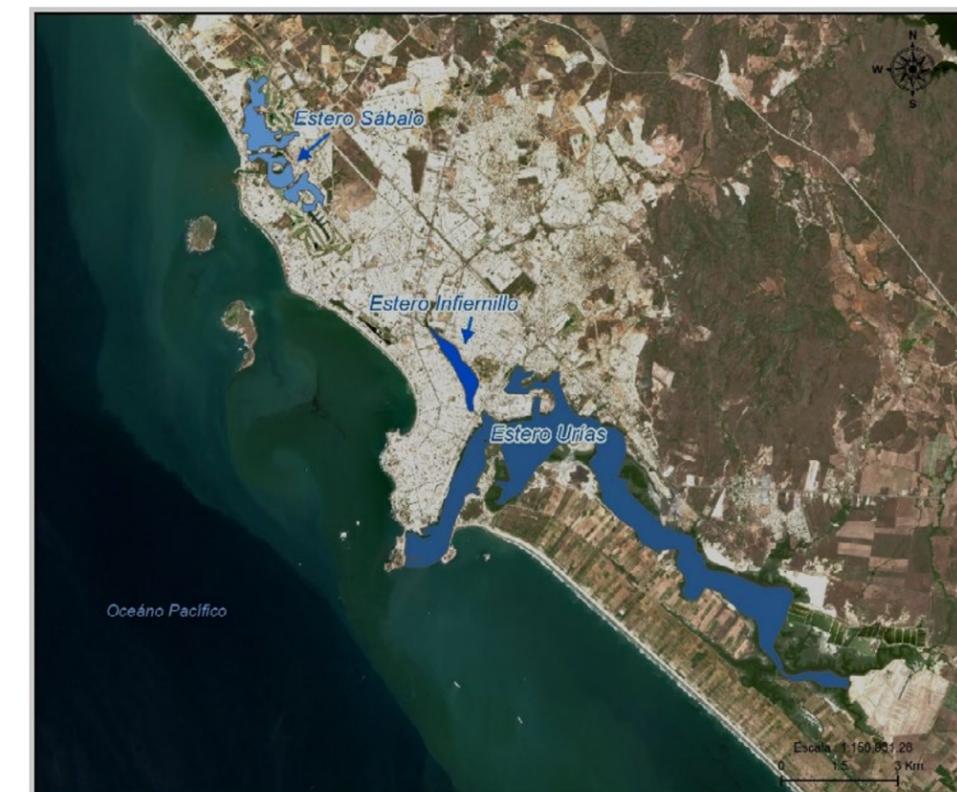
Cuadro 52 . Matriz de valoración de la vulnerabilidad socioambiental. Fuente: Pares, A. C.

Impacto Potencial	Valoración Ecosistémica				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy alto	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Media
Alto	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta	Media
Medio	Alta	Alto	Media	Medio	Media
Bajo	Alta	Media	Media	Media	Bajo

Por su ubicación en el mapa (**Figura 67**) destaca la mayor vulnerabilidad socioambiental en áreas próximas a los esteros El Infiernillo y Urías, incluyendo la zona centro cercana al canal de navegación y la desembocadura del río Jabalines al mar (**Figura 68**). De igual forma, buena parte de la

franja costera dedicada principalmente a la infraestructura turística y los márgenes del río Jabalines presentan valores de Alta vulnerabilidad.

Figura 68. Localización de los esteros Infiernillo, Urías y Sábalo. Fuente: Pares A.C.



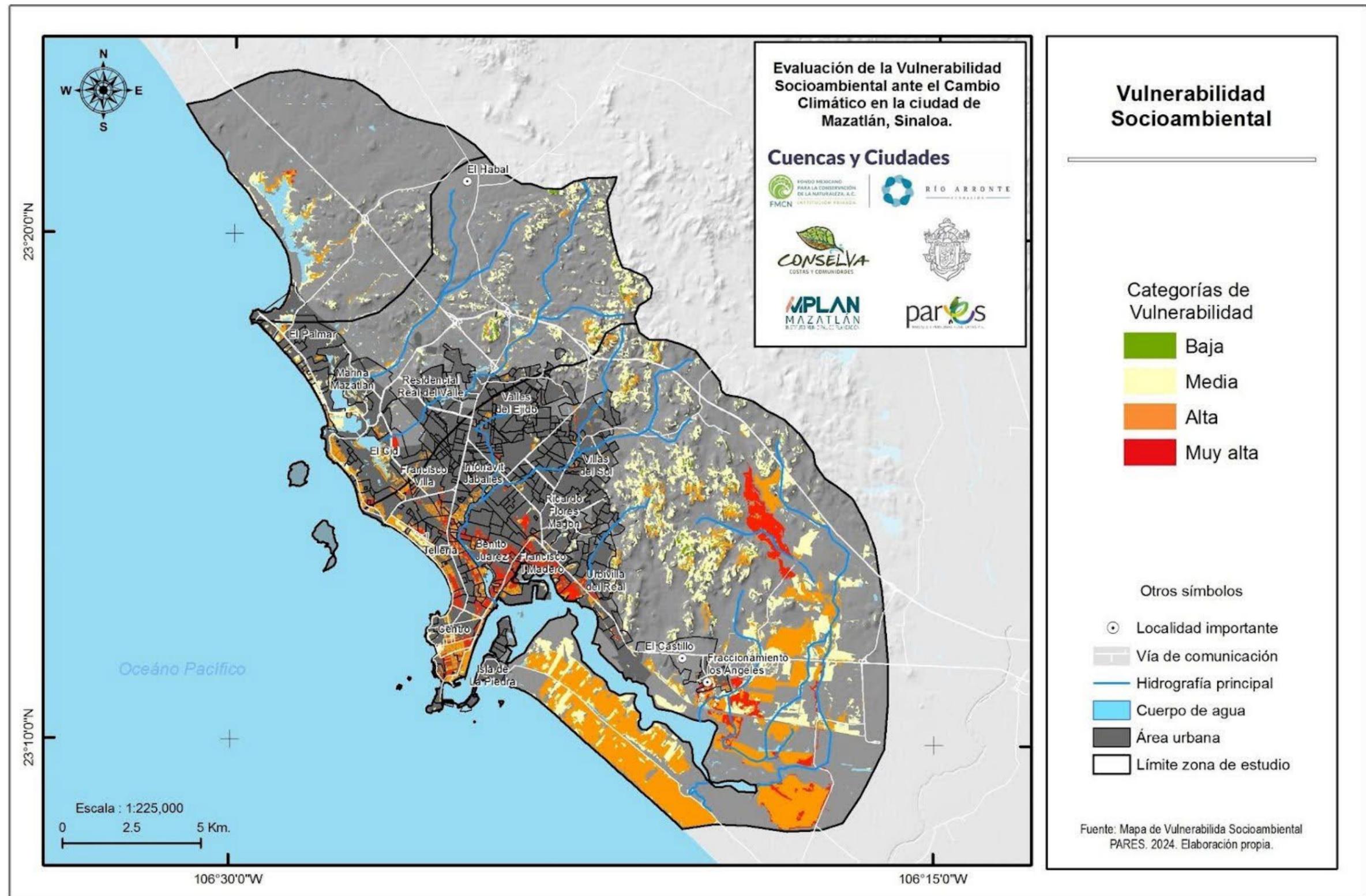


Figura 67. Mapa de Vulnerabilidad Socioambiental de Mazatlán. Fuente: Pares A.C.

Por otro lado, la zona productiva en la parte sur del estero Urías, entre las localidades El Habalito del Tubo y Palmillas, presenta valores intercalados de Muy Alta y Alta vulnerabilidad. También resaltan los valores altos en la barra de arena que separa el estero Urías del mar, dedicada fundamentalmente a actividades agrícolas (plantaciones). Por último, en la periferia de la zona urbana, las cimas de las partes serranas de las subcuencas que rodean a la ciudad presentan en general valores de Media vulnerabilidad.

En términos de las superficies vulnerables, el mapa muestra un territorio de 7,237.43 ha en alguna categoría de vulnerabilidad. Esta vulnerabilidad se distribuye de la siguiente manera, el 51% corresponde al sistema productivo, el 33% al sistema natural y el 16% restante al denominado centro de población urbano. Desde el punto de vista de las categorías de vulnerabilidad la distribución de esta superficie es la siguiente: la categoría Alta ocupa la mayoría del territorio vulnerable con 46% de la superficie, le sigue la categoría Media con el 41%, y en mucha menor proporción se encuentran las categorías de Muy Alta con el 11% y solo el 2% corresponde a la categoría de vulnerabilidad Baja.

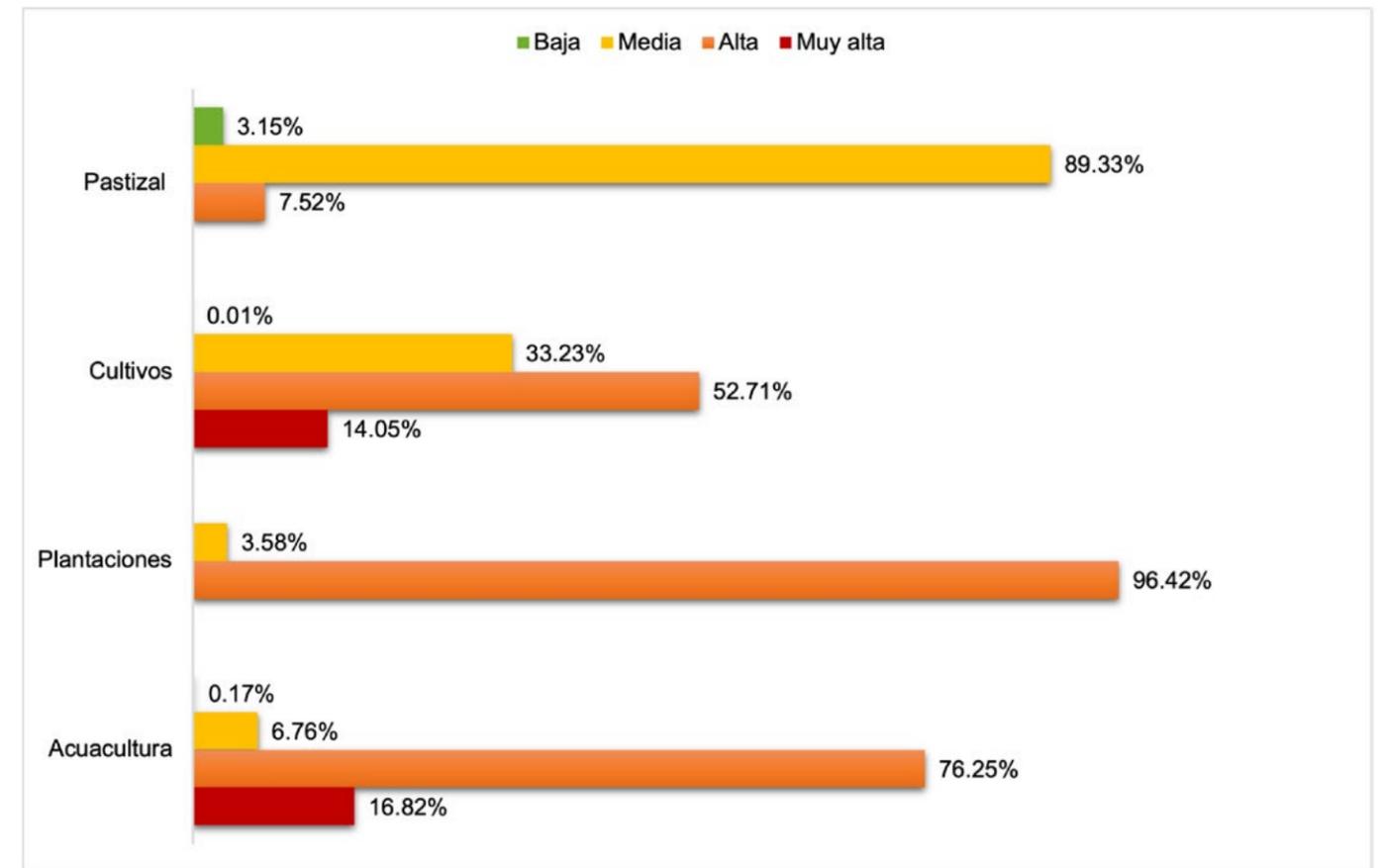
Los valores más importantes nos indican las siguientes dominancias: El sistema productivo tiene el 60% (2,194 ha) con vulnerabilidad Alta mientras que para el sistema natural el 70% (1,666 ha) se encuentra como categoría Media; finalmente el uso del suelo urbano, donde una superficie de 646 ha corresponde a un 64% que se ubican en categoría de Alta de vulnerabilidad **Cuadro 53** y **Gráfica 37**.

Para el sistema natural la mayor superficie vulnerable corresponde a los matorrales con 1.340 ha (19% de la superficie total de la zona de estudio) seguidos por las selvas (baja caducifolia y mediana subcaducifolia) con una superficie de 900.07 ha, ambos ecosistemas presionados por el crecimiento de la zona urbana y el desarrollo de infraestructura.

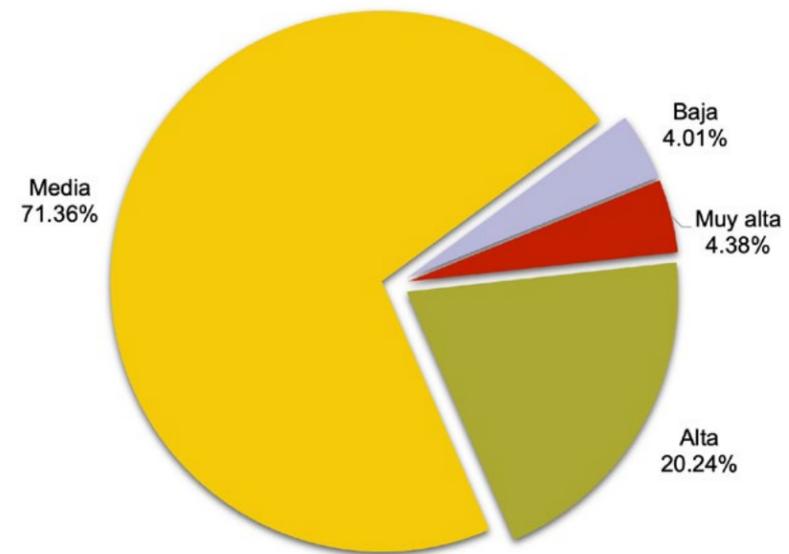
En el caso del sistema productivo la mayor superficie corresponde a los cultivos de riego y temporal con 1,521 ha que corresponden al 21% de toda la superficie vulnerable, mientras que el sector urbano presenta 1,193 ha (16%) vulnerables, **Gráfica 38**.

Cuadro 53. Superficies vulnerables de los sistemas productivo y natural.
Fuente: Pares A.C.

Subcuenca	Superficies vulnerables (ha)				Total general
	Muy alta	Alta	Media	Baja	
Sistema productivo	322.44	2,194.09	1,135.27	25.88	3,677.68
Acuacultura	108.79	493.07	43.71	1.25	646.82
Plantaciones		852.83	34.44		887.27
Cultivos (riego y temporal)	213.66	801.75	505.43	0.17	1,521.02
Pastizales		46.44	551.68	24.46	622.58
Sistema natural	100.80	473.67	1,666.60	124.85	2,365.91
Humedales	3.85	32.27	67.00	16.05	119.17
Manglar		1.85	3.92	0.51	6.27
Matorrales	73.99	296.48	912.41	57.52	1,340.40
Selvas	22.95	143.07	683.27	50.78	900.07
Urbano	399.86	646.18	147.69	0.10	1,193.84
Total general	823.10	3,313.94	2,949.55	150.83	7,237.43



Gráfica 37. Vulnerabilidad de los sistemas productivos (% superficie vulnerable acumulada). **Fuente:** Pares, A.C.



Gráfica 38. Vulnerabilidad del sistema natural (% de la superficie vulnerable). **Fuente:** Pares, A.C.

En el caso del sistema natural llama la atención la mínima superficie vulnerable del manglar, ecosistema que se desarrolla en la interfase tierra-mar, con especies resistentes a la alta salinidad y que por las características costeras de Mazatlán, aunadas a la presencia de escurrimientos de agua dulce provenientes de la cuenca del río Presidio, debería tener mucho mayor presencia. El hecho es que el crecimiento de la ciudad y la expansión de la infraestructura turística, así como el desarrollo agropecuario prácticamente han llevado a la desaparición de este ecosistema, que originalmente rodeaba a los esteros y a los márgenes y boca del arroyo Jabalines. De acuerdo con Zapien (2020)³, “estos cambios han sido documentados por el sistema de monitoreo de manglares (SMMM) de la CONABIO al comparar el estado que guardaban los manglares a finales de los años setenta y principios de los ochenta, con los años 2005, 2010 y 2015. Como ejemplo de estos cambios se ilustra el caso del estero El Infiernillo, donde la cartografía muestra

polígonos marcados en rojo y naranja para indicar los manglares perdidos en cuatro décadas; el amarillo se refiere a las fluctuaciones entre pérdida y ganancia. El verde pálido indica que hay una recuperación y el verde oscuro significa que se ha mantenido sin cambios”.

La pérdida de manglar registrada en el estero del Infiernillo está relacionada con la expansión urbana y la infraestructura carretera asociada como se aprecia en la **Figura 70**, que muestra los remanentes del estero El Infiernillo y los manglares asociados al humedal, el cual se conecta con el estero Urias y el canal de navegación.⁴

Figura 69. Pérdida de manglar en 40 años, estero El Infiernillo. **Fuente:** SMMM/Conabio (2020).



³ Zapien, R. 2020. Mazatlán pierde sus manglares. Son Playas. Disponible en: <https://sonplayas.com/medio-ambiente/mazatlan-pierde-sus-manglares/>

⁴ Zapien, R. 2020. Mazatlán pierde sus manglares. Son Playas. Disponible en: <https://sonplayas.com/medio-ambiente/mazatlan-pierde-sus-manglares/>



Figura 70. Remanentes del estero El Infiernillo y los manglares. **Fuente:** Son Playas (2020)

Ubicación de algunos sitios de interés por su grado de vulnerabilidad

Tomando como base la **Figura 29** que corresponde al mapa de vegetación y usos del suelo de Mazatlán hemos señalado con círculos de colores los sitios que por su condición de vulnerabilidad o ausencia de ésta (**Figura 67**) resultan de especial interés por ser susceptibles a que se implementen Soluciones basadas en Naturaleza enfocadas a la adaptación al Cambio Climático. A continuación se muestra un comparativo entre estos dos mapas señalando algunos sitios importantes a destacar y su ubicación en imágenes satelitales, **Cuadro 54**.

El análisis de vulnerabilidad socioambiental en el centro de población de Mazatlán revela una situación crítica. Un total de 102,337 habitantes, distribuidos en 2,347 man-

zanas, se encuentran en condiciones de vulnerabilidad. Destacan las categorías de Muy Alta (51.1%) y Alta (45.6%), lo que indica que la mayor parte de la población del centro de la ciudad se encuentra expuesta a riesgos socioambientales significativos.

Un análisis más detallado a nivel de colonia revela una heterogeneidad significativa en la vulnerabilidad socioambiental de Mazatlán. De las 206 colonias identificadas, 179 concentran una población superior a diez habitantes. Es importante destacar que, al interior de cada colonia, la vulnerabilidad puede variar considerablemente entre manzanas, lo que indica una complejidad espacial en la distribución del riesgo. La **Gráfica 39** muestra que la categoría de Alta vulnerabilidad predomina en el conjunto de colonias analizadas.

Sitio y ubicación
De acuerdo con la Figura 71.

Imagen satelital

Círculo Verde: Selvas mediana y baja caducifolia identificadas como **No vulnerables**. Referencias: Rancherías al Noroeste de la zona urbana: La Florida (Charco Puerco), El Palomar, Los Sámano, y remanentes de SM y SB al oriente de las rancherías.

En la imagen satelital se observa la presión del uso de suelo circundante que ejerce, en particular el crecimiento urbano-turístico, sobre estos remanentes de selvas.

Dado que en la actualidad no se encuentran en una situación de vulnerabilidad, estas selvas son de alto valor ecosistémico por los servicios que prestan a la zona urbana, por ejemplo, la provisión de agua al ayudar a la infiltración al acuífero, el control de inundaciones, y el almacenamiento de carbono, etc. A pesar de que este estudio no profundiza en el análisis de las aguas subterráneas, es fundamental conocer la situación del acuífero y considerar acciones de adaptación al Cambio Climático que apoyen la recuperación de este.



Círculo Amarillo: remanentes de selva mediana y baja con **vulnerabilidad Media**.

Ubicación: al oriente de la zona urbana por Las Higueras del Conchi y al sur de la localidad La Piedrera con acceso vía la carretera Mazatlán - Higueras del Cochi-Miravalles.

Similar condición de presión por el crecimiento urbano y en este caso también por los usos agropecuarios.



Círculo Naranja: uso agrícola con **vulnerabilidad Alta**.

Ubicación: al suroriente de la zona urbana incluyendo las localidades de El Habalito del Tubo y las rancherías de La Trinchera, Limoncito, La Guanera. Esta zona es de interés debido a la fuerte presión que ejercen los cultivos de riego en la zona.



Acuicultura. Al sur de las localidades mencionadas en el círculo naranja y al sureste del estero Urías, colindando con el aeropuerto, se ubican varias granjas acuícolas con **vulnerabilidad Alta**.



Cuadro 54. Sitios de interés por su grado de vulnerabilidad.

Sitio y ubicación
De acuerdo con la Figura 71.

Imagen satelital

Círculo rojo: Uso agrícola con **vulnerabilidad Muy Alta** en laderas con pendientes sujetas a movimientos erosivos.

Ubicación: abarca desde el norte de la localidad Palmillas hasta el sur en el Habalito del Tubo.



Uso agrícola (plantaciones) con **vulnerabilidad Alta**.

Ubicación: en la barra que separa al estero Urías del mar.



Humedales y remanentes de selva con **vulnerabilidad Muy Alta**.

Ubicación: entre el fraccionamiento Los Ángeles y el norte del estero Urías.



Gráfica 39. Número de colonias por categoría de vulnerabilidad. Fuente: Pares, A.C.

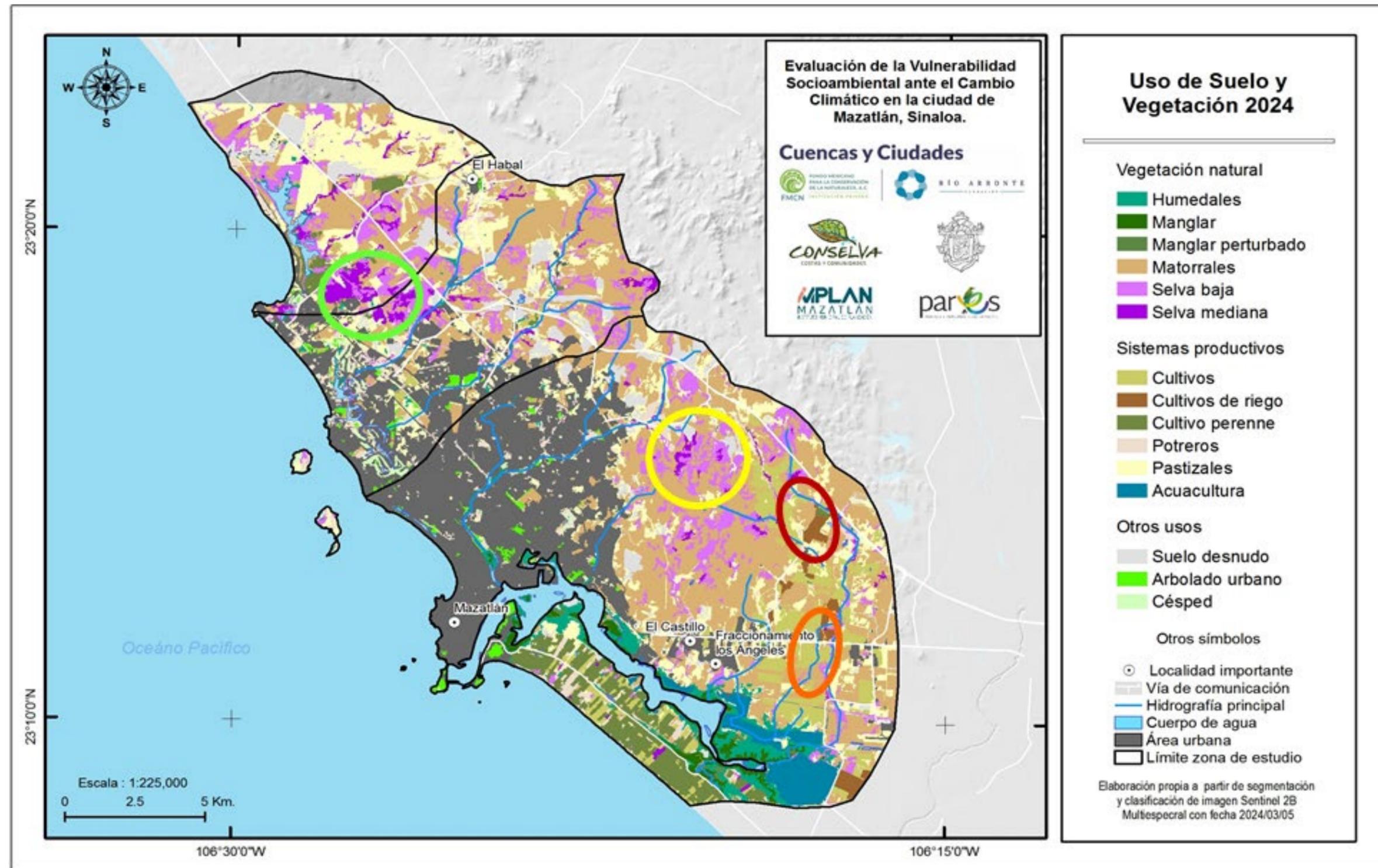


Figura 71. Mapa de usos del suelo y vegetación 2024 con sitios de interés. Fuente: Pares, A.C.

Las colonias con población más vulnerable (por arriba de mil personas) se enlistan en el **Cuadro 55**.

Cuadro 55. Colonias con la población más vulnerables/ número de habitantes.
Fuente: Pares, A.C.

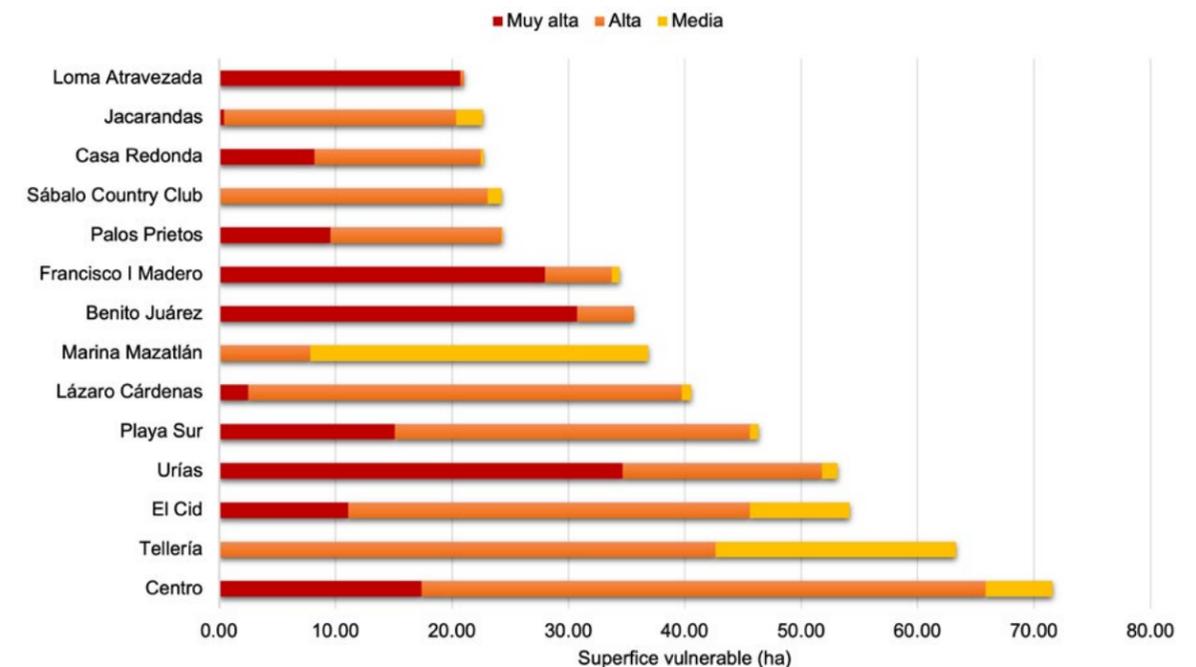
Colonia	Población vulnerable por categoría			Población total vulnerable por colonia
	Muy Alta	Alta	Media	
Benito Juárez	6,144	1,001	0	7,145
Francisco I Madero	4,561	573	89	5,224
Centro	1,280	3,041	155	4,476
Casa Redonda	1,491	1,643	9	3,143
Santa Fe Los Ángeles	862	1,514	244	2,620
Independencia	1,105	1,442	1	2,548
Jacarandas	52	2,141	213	2,406
Lázaro Cárdenas	586	1,818	1	2,405
Pradera Dorada	911	1,451	9	2,371
Insurgentes	1,500	748	57	2,305
Sánchez Celis	283	1,921		2,204
Playa Sur	987	1,159	35	2,182
Montuosa	1,849	309		2,158
Estero	996	950	2	1,948
Libertad	309	1,447	147	1,903
Del Bosque	1,816	39		1,855
Reforma	1,709	23		1,732
Loma Atravezada	1,634	34		1,668
El Cid	52	1,281	301	1,634
Urías	1,248	267	9	1,524
Rafael Buelna	1,330	168	0	1,498
Olímpica	1,379	112		1,491
Francisco Alarcón	685	773		1,458
Adolfo López Mateos	822	630		1,452
Azteca	1,338	87	1	1,426

Colonia	Población vulnerable por categoría			Población total vulnerable por colonia
	Muy Alta	Alta	Media	
Federico Velarde	117	1,246	33	1,396
Rubén Jaramillo	1,267	10	4	1,281
12 de Mayo	1,111	150	7	1,268
Antonio Toledo Corro	541	667		1,208
Gabriel Leyva	1,186	17		1,203
El Toreo	319	881		1,200
20 de Noviembre	206	915	25	1,146
Francisco Solís	543	599		1,142
Francisco Villa	55	1,015	57	1,127
Jesús García	1,041	42		1,083
Obrera	674	407		1,081
Pueblo Nuevo	229	791		1,020

Al analizar la extensión territorial afectada por la vulnerabilidad, se observa que 108 de las 206 colonias presentan al menos un 10% de su superficie clasificada en alguna categoría de riesgo. Sin embargo, para una comprensión más profunda de la magnitud del problema, se identificaron las 14 colonias con las mayores áreas vulnerables, es

decir, aquellas que superan las 20 hectáreas. La **Grafica 40** detalla la distribución de estas áreas por categoría de vulnerabilidad (Muy Alta, Alta y Media)

Gráfica 40. Colonias de la zona urbana con mayores niveles de vulnerabilidad por superficie. Fuente: Pares, A.C.

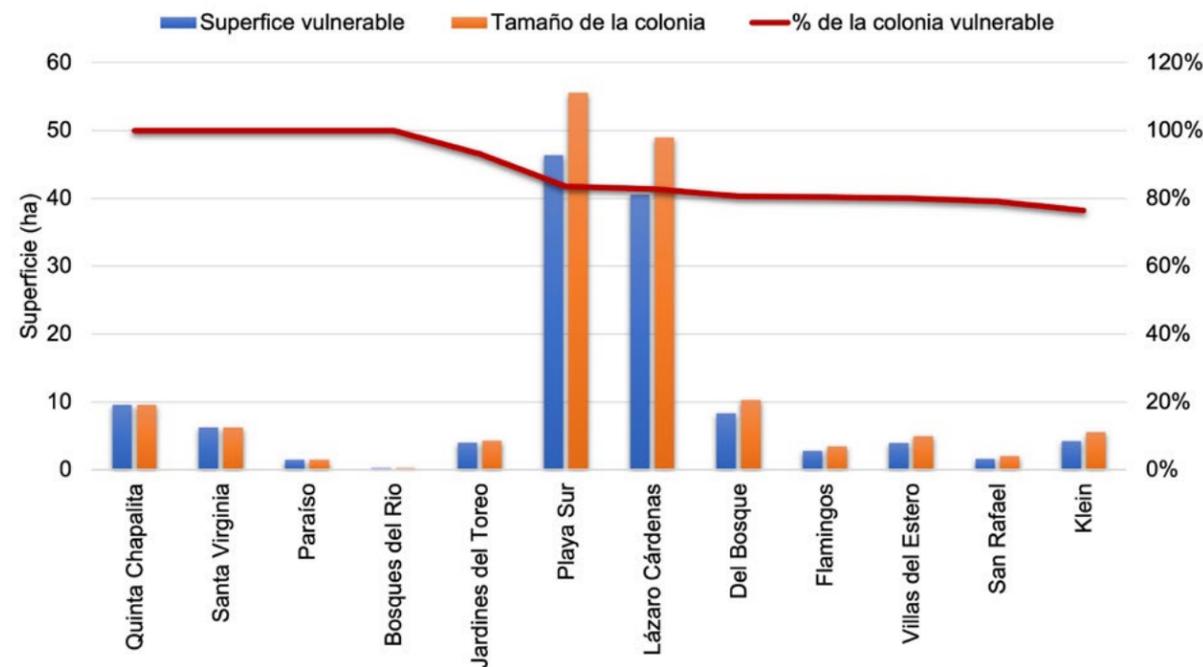


Otras 16 colonias presentan superficies vulnerables importantes (entre 10 a 20 hectáreas):

Las Gaviotas	Montuosa	Santa Fe Los Ángeles
Emiliano Zapata	El Toreo	Lomas de Mazatlán
Estero	Sánchez Celis	Independencia
Insurgentes	Rafael Buelna Jesús García	Adolfo López Mateos
Obrera		Quinta Chapalita

Al considerar el porcentaje de superficie de cada colonia afectada por niveles de vulnerabilidad Muy Alta, Alta y Media, se observa que las colonias más pequeñas presentan, proporcionalmente, los mayores índices de riesgo. La **Gráfica 41** evidencia esta situación, mostrando las 10 colonias donde al menos tres cuartas partes de su superficie se encuentran en una situación de vulnerabilidad significativa.

Gráfica 41. Relación entre el porcentaje de la superficie de la colonia con vulnerabilidad y la superficie ocupada. **Fuente:** Pares, A.C.



Además, otras 21 colonias con superficie entre 50 y 70 por ciento en categoría de vulnerabilidad son:

Francisco Solís	Bahías	Casas Económicas
Libertad	Rubén Jaramillo	Casa Redonda
Estero	Cerritos Resort	Insurgentes
Infonavit Jabalines	Antonio Toledo Corro	12 de Mayo
Azteca	Las Gaviotas	Pino Suarez
Rafael Buelna	El Toreo	Periodista
Estero	Francisco I Madero	Playas del Sol

5.10.2. Vulnerabilidad por sectores

El análisis de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático por sectores es fundamental para comprender y abordar de manera efectiva los riesgos que enfrenta una ciudad como Mazatlán. Al descomponer la vulnerabilidad en componentes sectoriales como el turismo, la infraestructura, la agricultura y las vías de comunicación, se obtienen perspectivas cruciales para diseñar estrategias de adaptación más precisas y eficientes.

De acuerdo con Echeverría Bonilla, J. (2011)⁵, “el Cambio Climático afecta de manera distinta a cada región y sus habitantes, así como a los diferentes sectores productivos y a los ecosistemas que nos brindan bienes y servicios. Algunos grupos o sectores están mejor capacitados que otros para adaptarse y hacer frente a los impactos esperados (especialmente a los cambios en la temperatura y la precipitación”.

Cada sector posee características y dinámicas propias que lo hacen más o menos vulnerable a los impactos del Cambio Climático. Por ejemplo, el sector turístico es altamente sensible a eventos extremos como huracanes y sequías, ya que estos pueden dañar la infraestructura turística y afectar la percepción de seguridad de los visitantes. Por otro lado, el sector agrícola depende en gran medida de condiciones climáticas estables y del acceso a recursos hídricos, por lo que es especialmente vulnerable a cambios en los patrones de precipitación y temperatura.

Al analizar la vulnerabilidad sectorial, podemos detectar las áreas más vulnerables dentro de cada sector y las interconexiones entre ellos, focalizar los esfuerzos de adaptación en aquellos sectores y componentes más críticos, asignar recursos de manera más eficiente, maximizando el impacto de las medidas de adaptación y aumentar la capacidad de los diferentes sectores para resistir y recuperarse de los impactos del Cambio Climático.

Hasta ahora se observa una escasa vinculación al tema de los impactos del Cambio Climático en los proyectos de desarrollo local y regional; sin embargo, sabemos que, en términos generales, “...el Cambio Climático puede provocar escasez de recursos vitales como el agua, incertidumbre y mayor vulnerabilidad humana y de los ecosistemas naturales, creando mayores conflictos sociales. También puede traer oportunidades como un incremento en la productividad de ciertos cultivos debido al cambio en las variables climáticas y los ecosistemas. Pero si no se toma en cuenta el Cambio Climático en los programas sectoriales o las inversiones y el gasto público, se puede incurrir en un riesgo de mala adaptación, es decir, aumentar la vulnerabilidad de ciertas comunidades” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010)⁶.

Por lo anterior, resulta imprescindible promover y difundir la identificación geográfica de la vulnerabilidad actual y futura (integrada y por sectores) para poder vincularla con las oportunidades del Cambio Climático en los proyectos y las políticas de desarrollo de la zona

⁵ Echeverría Bonilla, J. (2011). Evaluación de la Vulnerabilidad Futura del Sistema Hídrico al Cambio climático. Costa Rica.

⁶ Banco Interamericano de Desarrollo, 2010. Vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica

de estudio. En este capítulo se aborda la vulnerabilidad de los principales sectores productivos asociados a la ciudad de Mazatlán.

Procedimiento

En el caso del análisis de vulnerabilidad del sector **infraestructura urbana** (que incluye escuelas, hospitales, oficinas de gobierno y energía eléctrica), desde un sistema de información geográfica se parte de las unidades económicas expuestas del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), y se realiza una operación de unión (*Join*) entre esta capa y la capa de la vulnerabilidad socioambiental actual utilizando el tributo común de identificación (Clave AGEB-Manzana). De esta manera la infraestructura urbana adquiere el valor de la vulnerabilidad correspondiente a la manzana donde se localizan.

Por su parte, en el **sector agropecuario** se eligieron los polígonos vulnerables del sistema productivo, y en el caso del sector **infraestructura vial** se realizó a partir de dos capas de información que corresponden a las carreteras (de la red de caminos) y la capa de vialidades (de las cartas topográficas). En el caso de las carreteras se consideró solo la porción fuera de los límites urbanos. El primer paso consistió en usar como base la capa de vulnerabilidad y a partir de ésta se aplicó a cada categoría un buffer de 20 m (derecho de vía); enseguida se cruzó mediante la herramienta *identity* con la capa de carreteras; como resultado los tramos de coincidencia de las carreteras con los buffers, tomaron el valor de la vulnerabilidad correspondiente.

Para asignar la vulnerabilidad a las vialidades urbanas, se estableció una relación de vecindad entre las calles y las manzanas (10 metros). Se consideró que una calle adquiriría la vulnerabilidad de las manzanas que se encontraban en sus inmediaciones. Este proceso se realizó de manera gradual, comenzando por las calles más cercanas a las manzanas menos vulnerables y avanzando hacia aquellas cercanas a las manzanas más vulnerables, asegurando así una asignación coherente y progresiva.

Resultados

Vulnerabilidad en las instalaciones del sector urbano

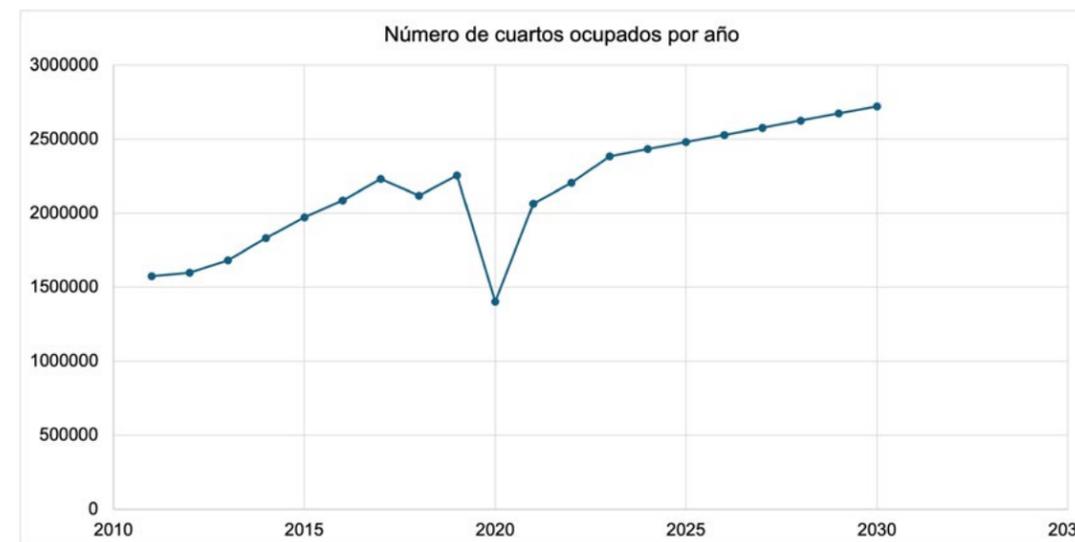
Como se muestra en la **Figura 72**, en la zona urbana de Mazatlán se analizó la vulnerabilidad actual ante eventos relacionados con el Cambio Climático de los siguientes sectores:

- Infraestructura urbana, que incluye escuelas, hospitales, oficinas de gobierno y energía eléctrica.
- Turismo, que incluyen servicios de alojamiento, bares, restaurantes y discotecas.
- Instalaciones de acuicultura.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos de ocupación hotelera y del estado de la infraestructura urbana, revelan una compleja interrelación entre el crecimiento del sector turístico y las demandas de servicios públicos esenciales. Por un lado, el incremento en la oferta hotelera ha impulsado la economía local y generado empleos, pero también ha puesto a prueba la capacidad de la infraestructura urbana para atender las necesidades de una población flotante cada vez mayor. En este sentido, se pueden observar que en el periodo 2011 a 2013 se presentó un incremento de alrededor de 800,000 cuartos ocupados a excepción del año 2020 derivados de la pandemia de COVID 19 (**Gráfica 42**). Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura turística y urbana que permita adaptarse ante posibles carencias en el suministro de agua potable durante los picos turísticos, insuficiencias en el sistema de transporte público para atender la demanda, deterioro de las instalaciones educativas y de salud en zonas turísticas, entre otros aspectos. Estos resultados evidencian la necesidad de una planificación urbana más integral y sostenible, que considere tanto las demandas del sector turístico como las necesidades de la población local.

Los resultados de la vulnerabilidad de estos sectores urbanos se muestran en el **Cuadro 56**, donde destaca que de 755 Instalaciones en alguna categoría de vulnerabilidad el 64.6% (488 instalaciones) corresponden al sector turismo (bares, discotecas, restaurantes y servicios de alojamiento), seguido por infraestructura urbana (escuelas, oficinas de gobierno, hospitales e instalaciones relacionadas con el suministro de energía eléctrica) con el 33.4% (252 infraestructuras) y finalmente la acuicultura (instalaciones acuícolas y oficinas del ramo) cercana a la zona urbana con el 2.0% (15 instalaciones).

Un análisis sectorial detallado permite identificar con mayor precisión las infraestructuras críticas que presentan mayor vulnerabilidad. La vulnerabilidad de la infraestructura urbana se concentra principalmente en el área central, adyacente al canal de navegación, así como en las colonias Benito Juárez, Francisco I. Madero, Tellería y Francisco Villa, y en las zonas aledañas a los cauces fluviales que atraviesan la ciudad.



Gráfica 42. Ocupación de cuartos de hotel en el periodo 2011 a 2023. Fuente: CIEGSIN, 2024. Disponible en: https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/It_Turismo.aspx

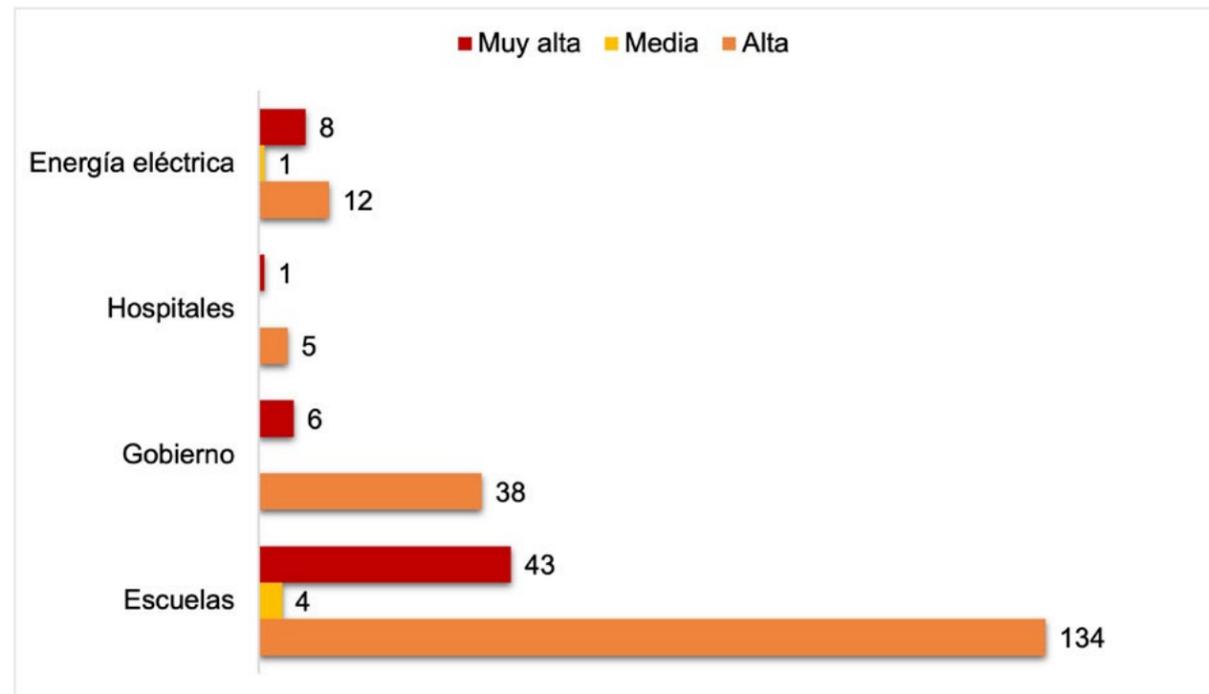
Sector	Vulnerabilidad sectorial zona urbana			
	Alta	Media	Muy Alta	Total general
Acuicultura	14		1	15
Acuicultura	14		1	15
Infraestructura urbana	189	5	58	252
Escuelas	134	4	43	181
Gobierno	38		6	44
Hospitales	5		1	6
Energía eléctrica	12	1	8	21
Turístico	362	18	108	488
Bares y discotecas	55	3	21	79
Restaurantes	190	5	78	273
Servicio Alojamiento	117	10	9	136
Total general	565	23	167	755

Cuadro 56. Vulnerabilidad de la infraestructura urbana en Mazatlán. Fuente: Pares A.C.

Los datos obtenidos ponen de manifiesto la alta vulnerabilidad de un gran número de escuelas en la región 43 en categoría de Muy Alta vulnerabilidad y 134 en categoría de Alta vulnerabilidad (**Gráfica 43**). Esta situación resulta especialmente preocupante si consideramos el papel crucial que desempeñan estos espacios como refugios durante eventos climáticos extremos. El hecho de que muchas escuelas se encuentren ubicadas en zonas vulnerables compromete su capacidad para ofrecer un entorno seguro a la comunidad en momentos de crisis. Es importante priorizar acciones para mitigar la vulnerabilidad en estas instituciones, garantizando así la protección de los estudiantes y su entorno.

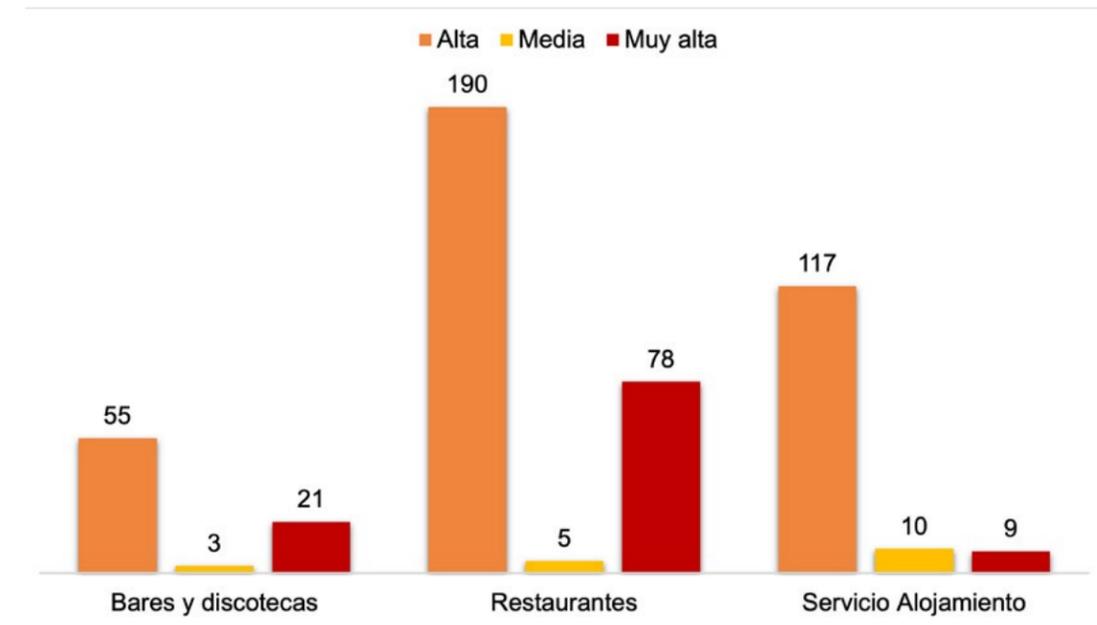
El sector gubernamental y las infraestructuras energéticas sobresalen como puntos críticos en términos de vulnerabilidad. Con 6 edificios gubernamentales en categoría de vulnerabilidad Muy Alta, 38 Oficinas de gobierno en categoría Alta y 20 instalaciones eléctricas clasificadas como de alta y muy alta vulnerabilidad, principalmente ubicados en el centro de la ciudad, la continuidad de los servicios públicos y el suministro eléctrico se encuentran en peligro, lo que podría tener consecuencias significativas para la población en caso de emergencia.

Gráfica 43. Número de instalaciones urbanas bajo categoría de vulnerabilidad. Fuente: Pares, A.C.



Por su parte en el sector dedicado a las actividades turísticas (servicios de alojamiento, bares y discotecas y restaurantes), se identificaron un total de 488 instalaciones como vulnerables, la mayoría de ellas se localizan en la franja costera. Las ubicadas como de muy Alta vulnerabilidad se localizan en la franja cercana a la costa de la zona centro, abarcando principalmente las colonias Benito Juárez y Francisco I. Madero. Mientras que las ubicadas en categoría de Alta vulnerabilidad se localizan prácticamente en la línea de costa.

En lo que respecta al número de unidades económicas vulnerables, los restaurantes son los que tienen el mayor número con 273, de los cuales 78 clasifican en categoría Muy Alta y 190 en categoría de Alta vulnerabilidad, respectivamente. Los servicios de alojamiento (hoteles, Airbnb, etc.) presentan 136 instalaciones vulnerables, destacando 117 con Alta vulnerabilidad. Finalmente, los bares y discotecas con 79 vulnerables, 21 en Muy Alta y 55 en Alta vulnerabilidad (**Gráfica 44**).



Gráfica 44. Número de instalaciones turísticas bajo categoría de vulnerabilidad. Fuente: Pares, A.C.

En cuanto a las instalaciones, el sector de la acuicultura que se clasificaron como vulnerables se localizan principalmente en la zona centro y la colonia Urbivilla del Real, colindando con el estero Urias. Se identificaron 15 instalaciones vulnerables, de las cuales 1 en se encuentra en categoría Muy Alta y 14 en categoría Alta.

Vulnerabilidad del sector agropecuario

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2023)⁷, en Mazatlán los productos agrícolas bajo modalidad de riego que resultaron los más destacados en 2023 –tanto por el volumen, como por el rendimiento y el valor de la producción– fueron el chile verde y el tomate rojo. La producción de mango también obtuvo un alto valor de producción y se encuentra en ambas modalidades (riego y temporal), y en la misma situación estuvo el agave, aunque con volúmenes de producción menores, obtuvo un alto valor de producción.

Otros productos agrícolas que requieren de riego y que en 2023 alcanzaron valores importantes de producción fueron los siguientes: papaya, aguacate, maíz grano, durazno, sorgo,

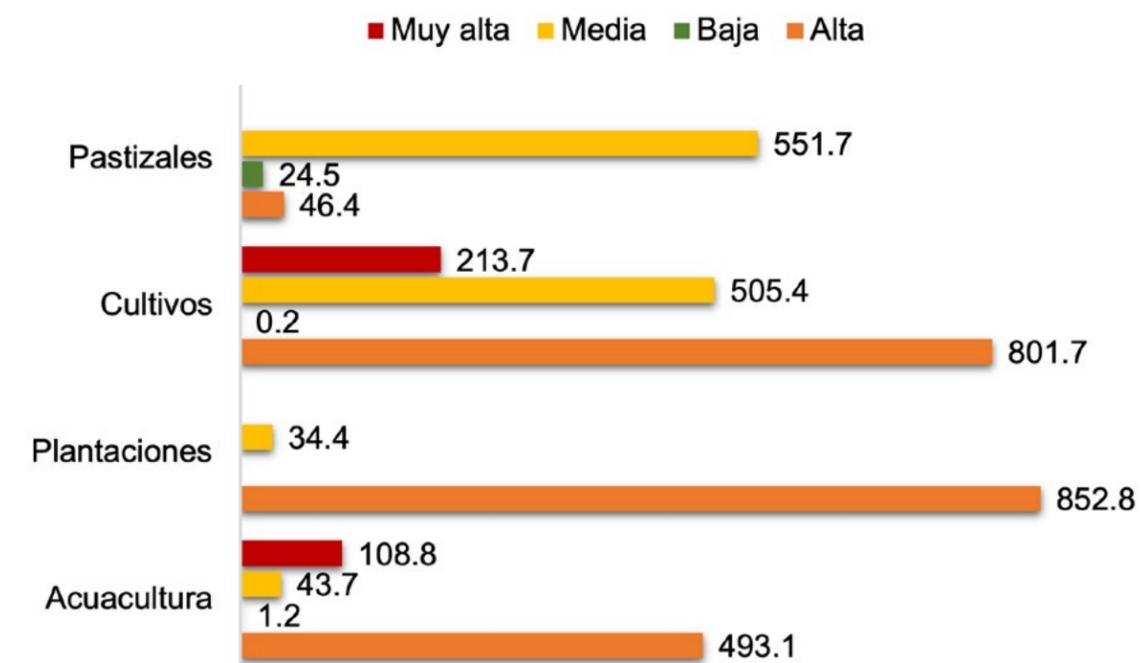
calabacita y sandía, estas dos últimas con altos rendimientos. Mientras que los productos de temporal que destacan en 2023 por su valor de producción fueron: maíz grano, coco fruta, frijol, pastos y praderas, sorgo forrajero y durazno. La evaluación de la vulnerabilidad del sector agropecuario de Mazatlán ante el Cambio Climático resulta crucial para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico de la región. Considerando la relevancia de cultivos como el chile, tomate, mango y aguacate, así como la dependencia de muchos de ellos al riego, es imperativo comprender cómo los eventos climáticos extremos y la variabilidad climática están afectando la producción agrícola.

Los resultados de este análisis muestran que las actividades del sector agropecuario que se identifican como vulnerables se localizan en la zona oriental y suroriental del centro de población de Mazatlán (**Figura 73**) e incluyen plantaciones, cultivos, pastizales y acuicultura. La mayor proporción de superficie vulnerable corresponde a la identificada como de Alta vulnerabilidad con 59.7%, en segundo lugar, la categoría de vulnerabilidad Media (30.9% de la superficie) y la categoría Muy Alta con una superficie equivalente a 8.8% del área (**Cuadro 57 y Gráfica 45**).

⁷ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://info-siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php

	Vulnerabilidad sectorial zona urbana				
	Alta	Baja	Media	Muy Alta	Total general
Acuacultura	493.1	1.2	43.7	108.8	646.8
Plantaciones	852.8		34.4		887.3
Cultivos	801.7	0.2	505.4	213.7	1,521.0
Pastizales	46.4	24.5	551.7		622.6
Total general	2,194.1	25.9	1,135.3	322.4	3,677.7

Cuadro 57. Vulnerabilidad de las actividades del sector agropecuario (superficie).
Fuente: Pares, A.C.



Gráfica 45 Superficie vulnerable de las actividades del sector agropecuario.
Fuente: Pares A.C.

Los cultivos son la actividad productiva con mayor superficie vulnerable con 1,521 hectáreas, de las cuales 213.7 hectáreas, se encuentran en muy Alta vulnerabilidad, en Alta 801.7 hectáreas, y en Media se identifican 505.4 hectáreas. También en las plantaciones encontramos 887.3 hectáreas, vulnerables, la mayoría (852.8) con vulnerabilidad Alta, estas se localizan principalmente en la barra que

separa al estero Urías del mar. Por otro lado, las instalaciones vulnerables dedicadas a la acuacultura abarcan 646.8 hectáreas y de éstas 108.8 hectáreas con Muy Alta y 493.1 con Alta vulnerabilidad. Finalmente, los pastizales ocupan un área de 622.6 hectáreas en su mayoría clasificados en categoría de vulnerabilidad Media.

Vulnerabilidad del sector Infraestructura Vial

Como se describió en el procedimiento, la infraestructura vial se dividió para analizar las carreteras fuera de la zona urbana y las vialidades al interior de ésta.

La infraestructura vial evaluada fuera de la zona urbana incluye: carreteras pavimentadas y terracerías. Al interior de la zona urbana se analizaron las avenidas, calzadas, boulevard, calles y callejones considerando el orden de las vialidades (**Figura 74**).

Carreteras federales, estatales y municipales

Las vialidades evaluadas fuera de la zona urbana incluyen carreteras pavimentadas y terracerías bajo administración de los tres niveles de gobierno abarcando en total 56.64 km en alguna categoría de vulnerabilidad, de las cuales 28.25 km son carreteras estatales de asfalto, 27.23 km son Federales (13.80 asfalto y 13.43 concreto) como puede verse en el **Cuadro 58 y la Figura 74**.

Administración/ recubrimiento	Carreteras				Total general
	Muy Alta	Alta	Media	Baja	
Estatal	5.11	14.89	8.24		28.25
Asfalto	5.11	14.89	8.24		28.25
Federal	0.14	16.92	10.12	0.04	27.23
Asfalto	0.05	9.90	3.85		13.80
Concreto	0.09	7.02	6.27	0.04	13.43
Municipal		0.43	0.73		1.16
Asfalto		0.08	0.16		0.92
Concreto		0.36	0.57		56.64
Total general	5.25	32.25	19.09	0.04	56.64

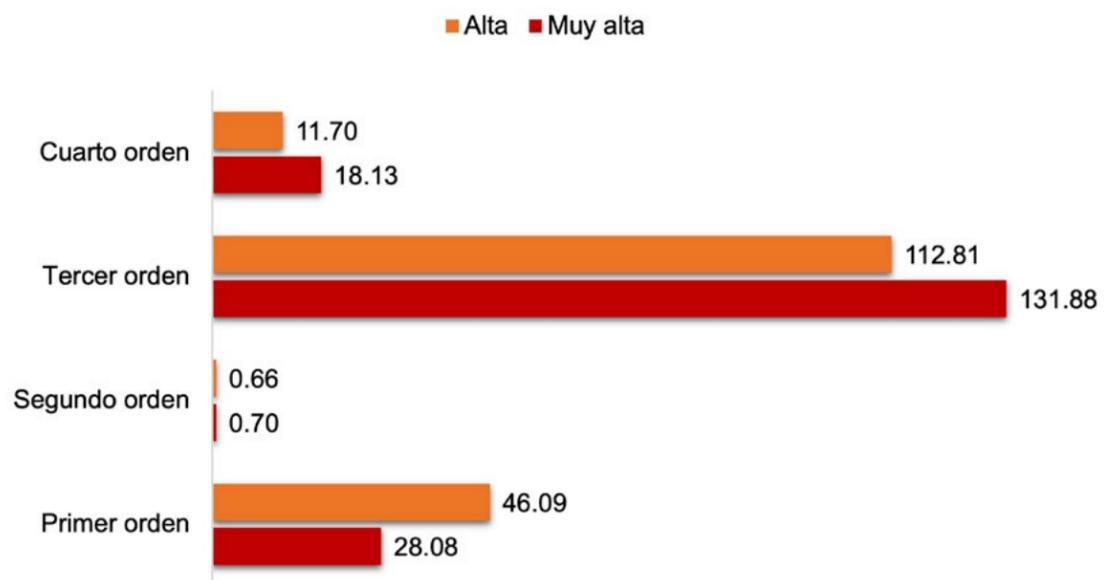
Cuadro 58. Vulnerabilidad de la infraestructura vial (Km). Fuente: Pares A.C.

Vialidades en la zona urbana

Para la evaluación de vulnerabilidad de las vialidades urbanas se tuvo en cuenta el siguiente orden:

1. **Primer Orden**
Avenida
Boulevard
Calzada
Circuito
Viaducto
Circunvalación
2. **Segundo Orden**
Prolongación
3. **Tercer Orden**
Calle
Retorno
Callejón
4. **Cuarto Orden**
Andador
Cerrada
Peatonal
Privada

El análisis reveló que las vialidades de tercer orden presentan la mayor extensión en categoría de vulnerabilidad, con 251.26 km, seguidas por las de primer orden (76.34 km), cuarto orden (30.45 km) y, en menor medida, las de segundo orden (1.36 km), según se detalla en el **Cuadro 59** y la **Gráfica 46**. Entre las vialidades de primer orden, las avenidas destacan por su longitud en categoría de vulnerabilidad, con 60.77 km, lo cual puede generar severas afectaciones a la movilidad urbana en caso de eventos extremos. Por su parte, las calles de tercer orden, principalmente concentradas en la zona centro y colonias aledañas, presentan la mayor extensión de vías vulnerables, con 243.57 km, lo que podría comprometer la accesibilidad en estas áreas.



Gráfica 46. Vialidades urbanas en categoría de vulnerabilidad Muy Alta y Alta (longitud Km). **Fuente:** Pares A.C.

Vulnerabilidad vías urbanas (km)					
Orden y tipo de vía	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Total general
Primer Orden	28.07	46.09	2.11	0.08	76.34
Avenida	24.71	33.96	2.11		60.77
Boulevard	0.86	2.68		0.08	3.61
Calzada	1.73	4.21			5.94
Circuito	0.76	5.23			5.99
Viaducto		0.01			0.01
Circunvalación	0.01				0.01
Segundo orden	0.70	0.66			1.36
Prolongación	0.70	0.66			1.36
Tercer orden	131.88	112.81	6.67		251.36
Calle	126.78	110.36	6.43		243.57
Retorno	0.10	0.06			0.16
Callejón	5.00	2.38	0.24		7.63
Cuarto orden	18.13	11.70	0.62		30.45
Andador	5.29	2.56	0.01		7.87
Cerrada	0.12	0.70	0.03		0.85
Peatonal	0.32	0.27	0.03		0.61
Privada	12.40	8.17	0.55		21.12
Total general	178.78	171.25	9.39	0.08	359.51

Cuadro 59. Vulnerabilidad de las vialidades urbanas (longitud Km). **Fuente:** Pares A.C.

5.11. Evaluación de la vulnerabilidad futura

5.11.1. Capacidad adaptativa en escenarios de Cambio Climático

Escenarios de Cambio en la provisión de Servicios Ecosistémicos

El Cambio Climático (CC) representa una de las principales amenazas para las ciudades, por lo que durante esta fase el proyecto se enfocó en la aplicación de diferentes herramientas de análisis espacial ante los cambios en el paisaje (usos del suelo; cobertura vegetal y servicios ecosistémicos hidrológicos) ante escenarios de cambio en la temperatura y precipitación. Si bien se consideraron los modelos SSP2 RCP 4.5 y SSP5 RCP 8.5 a 2030 y 2050, en este estudio se optó por analizar únicamente el escenario SSP2 RCP 4.5 en los horizontes temporales mencionados. No dejamos de considerar que es cierto que los escenarios más extremos como el SSP5 RCP 8.5 pueden arrojar resultados interesantes, sin embargo, el análisis se centró en el escenario SSP2 RCP 4.5. porque presenta una serie de ventajas estratégicas y metodológicas:

El escenario SSP2 RCP-4.5 representa un escenario de emisiones intermedias, lo que lo convierte en un punto de referencia más realista y probable en comparación con escenarios extremadamente optimistas o pesimistas. Esto permite una evaluación más realista de los riesgos y oportunidades. Finalmente, al centrarse en un escenario y un horizonte temporal más cercano, se reduce la complejidad del análisis, se facilita la interpretación de los resultados y los modelos climáticos, además de que las proyecciones de servicios ecosistémicos suelen ser más robustas y confiables para horizontes temporales más cercanos.

Por otro lado, el periodo modelado 2030 y 2050 se alinea con los objetivos de muchos acuerdos climáticos internacionales y nacionales, como el Acuerdo de París, lo que hace que los resultados sean relevantes para la toma de decisiones políticas y la planificación a mediano plazo.

En esa tónica, en este análisis se realizó una nueva parametrización de los modelos de mapeo de los servicios ecosistémicos (SE), que incluyen a la provisión superficial del agua, retención de sedimentos y almacenamiento de carbono. Así como a los componentes del balance hídrico derivados del sub-modelo “*seasonal water yield*” de la herramienta de modelación espacialmente explícita *InVEST*.

El objetivo de esta sección consiste en la predicción de los cambios en las variables biofísicas para cada uno de los sub-modelos, con el fin de analizar el impacto potencial del CC y los cambios en el uso del suelo y en la cobertura vegetal sobre la provisión de los SE dentro de las cuencas que rodean a la ciudad de Mazatlán. Los escenarios de Cambio Climático (basados en datos históricos de estaciones climatológicas) y de cambios en los usos de suelo (realizados en el software *TerrSet*), proveen un marco simple y flexible que permite evaluar una variedad de escenarios plausibles, así como de estrategias de respuesta y de las diferencias en los procesos biofísicos que afectan la provisión de los SE, siendo este uno de los temas de mayor preocupación en las ciudades.

El análisis comprendió el uso de varios modelos estadísticos y herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), para construir los insumos necesarios de la parametrización de los sub-modelos bajo escenarios de cambios futuros. Cabe mencionar que estos insumos cartográficos fueron manipulados en la proyección UTM Zona 13 Norte, con datum WGS84. Así, las actividades principales incluyeron:

- La generación de escenarios de cambio en los usos de suelo y cobertura vegetal para los años 2030 y 2050, basados en las tendencias de cambios o transiciones históricas del año 2000 al 2020.
- El proceso de re-escalamiento (*downscaling*) de los escenarios de cambios en la temperatura y precipitación generados por este estudio para los años 2030 y 2050.
- Parametrización de modelos y generación de escenarios de cambio en la provisión de los SE.

Metodología para la evaluación de cambios en los SE

Proyección de cambios en los usos de suelo y cobertura vegetal

Para la evaluación de los cambios en los usos del suelo y la cobertura vegetal (CUSCV), inicialmente se utilizaron los conjuntos vectoriales generados por el INEGI, para el 2001, 2009 y 2021 (Series II, IV y VI, respectivamente). Sin embargo, las diferencias entre el número de clases de cada capa (41, 48 y 52, respectivamente), sumado al hecho de que *TerrSet* sólo puede hacer la proyección de mapas con un máximo de 14 clases, dificultó su uso en la generación de proyecciones futuras. Por ello, se hizo la búsqueda

de mapas con un mismo número de clases para diferentes años y generados bajo la misma metodología. Por lo que se usaron los mapas de USCV para los años 2000 y 2020, de las bases de datos de la *Land Cover and Land Use Change Datasets*, derivados de imágenes Landsat (*GLAD Landsat Analysis Ready Data*), corregidos por la CONABIO y obtenidos del Portal de Información Geoespacial (www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), en septiembre del 2024. Estos mapas están clasificados en 12 categorías (comprendidas en la cuenca del río Presidio), en una resolución espacial de 30 m.

El análisis de los cambios en el uso del suelo y tasas de deforestación se hizo a partir de la sobreposición cartográfica de los mapas, mediante el cálculo de matrices de transición para el periodo evaluado (2000-2020) y utilizando el método de tabulación cruzada (Patapov *et al.*, 2022). Como resultado del análisis, se obtiene una matriz de transición o una tabla de arreglo simétrico, que contiene en uno de sus ejes las categorías de USCV para el año 2000, mientras que en el otro tiene la información proveniente del 2020. La diagonal de la matriz presenta la superficie de cada categoría de USCV que permaneció sin cambios. Mientras que el resto muestra la superficie que experimentó cambios hacia alguna otra categoría. Con estas tendencias de cambios (análisis retrospectivo) se generaron los escenarios de CUSCV para los años 2030 y 2050.

Los mapas de los años 2000 y 2020 y los modelos espaciales de cadenas de Markov fueron utilizados para calcular el cambio total, cambio neto, ganancia, pérdida, persistencia y estimación de trayectorias de cambios inter-categorías, de una categoría de cobertura hacia otra específica (Chang-Martínez *et al.*, 2015). Donde, la variabilidad espacial de los cambios de una categoría específica en un tiempo t , depende directamente del estado anterior del modelo t^{-1} , en función de los factores predictivos (humanos y biofísicos) como los cambios en la precipitación (2000-2020), la altitud (m), pendiente (%), la cercanía a caminos (m), cercanía a zonas urbanas, cercanía a cultivos agrícolas, cercanía a las zonas deforestadas y la densidad poblacional, que explican los cambios del 2000 al 2020.

Para el cálculo de la deforestación (pérdida de la cobertura vegetal) las categorías fueron agrupadas en forestal y no forestal, y fue entendida como el remplazo de cobertura forestal por una no forestal a nivel de pixel. Las distancias fueron estimadas por medio del cálculo de distancias euclidianas a los polígonos de los cultivos agrícolas, zonas urbanas y zonas de deforestación para el año 2020, así como al conjunto vectorial de caminos del INEGI, mediante la herramienta *distance* del *Spatial Analysis en Arcmap*.

Los mapas de probabilidad de transición y CUSCV, se generaron con el módulo *Land Change Modeler (LCM) del Terrset (Geospatial Monitoring and Modeling System [www.clarklabs.org])*. Con el objetivo de explicar los cambios de uso del suelo y proyectar el cambio potencial, se modelaron las transiciones usando un enfoque de *Red Neuronal Artificial* basado en el modelo de Percepción de Múltiples Capas (PMC), una de las arquitecturas de red más usadas (Kavzoglu y Mather, 2003). El PMC es un conjunto de unidades de entrada (predictores), con nodos de cálculo (capas ocultas) y nodos de salida (capa de salida) unidos por una red de conexiones que funcionan como un grupo de pesos. La red de entrenamiento se basó en el algoritmo *Backpropagation*, que extiende los errores de la capa de salida a la capa de entrada de forma iterativa para ajustar los valores de los pesos, usando un 50% de sitios de entrenamiento, un factor de movimiento fijo a 0.5 y una tasa de aprendizaje dinámica (Pontius Jr. y Malason, 2005).

Finalmente, el modelado de los CUSCV se desarrolló por medio de la aplicación de cadenas de Markov, con los mapas del 2000-2020 y la probabilidad de cambio calculada con las variables explicativas de los cambios. Esta proyección, mediante autómatas celulares y cadenas de Markov, parte del supuesto de que la dinámica de los elementos espaciales (píxeles que representan cierta superficie de una clase de USCV) resulta de las tendencias históricas de cambio, más un factor de proximidad por el estado de sus vecinos inmediatos (píxeles que representan una superficie de tierra adyacente sujeta a cambios para los años 2030 y 2050).

Las **Figuras 75, 76, 77 y 78** presentan los mapas de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal, modelados como escenarios tendenciales que reflejan las tendencias observadas del periodo 2000-2020 y las cuales se extienden a los años 2030 y 2050.

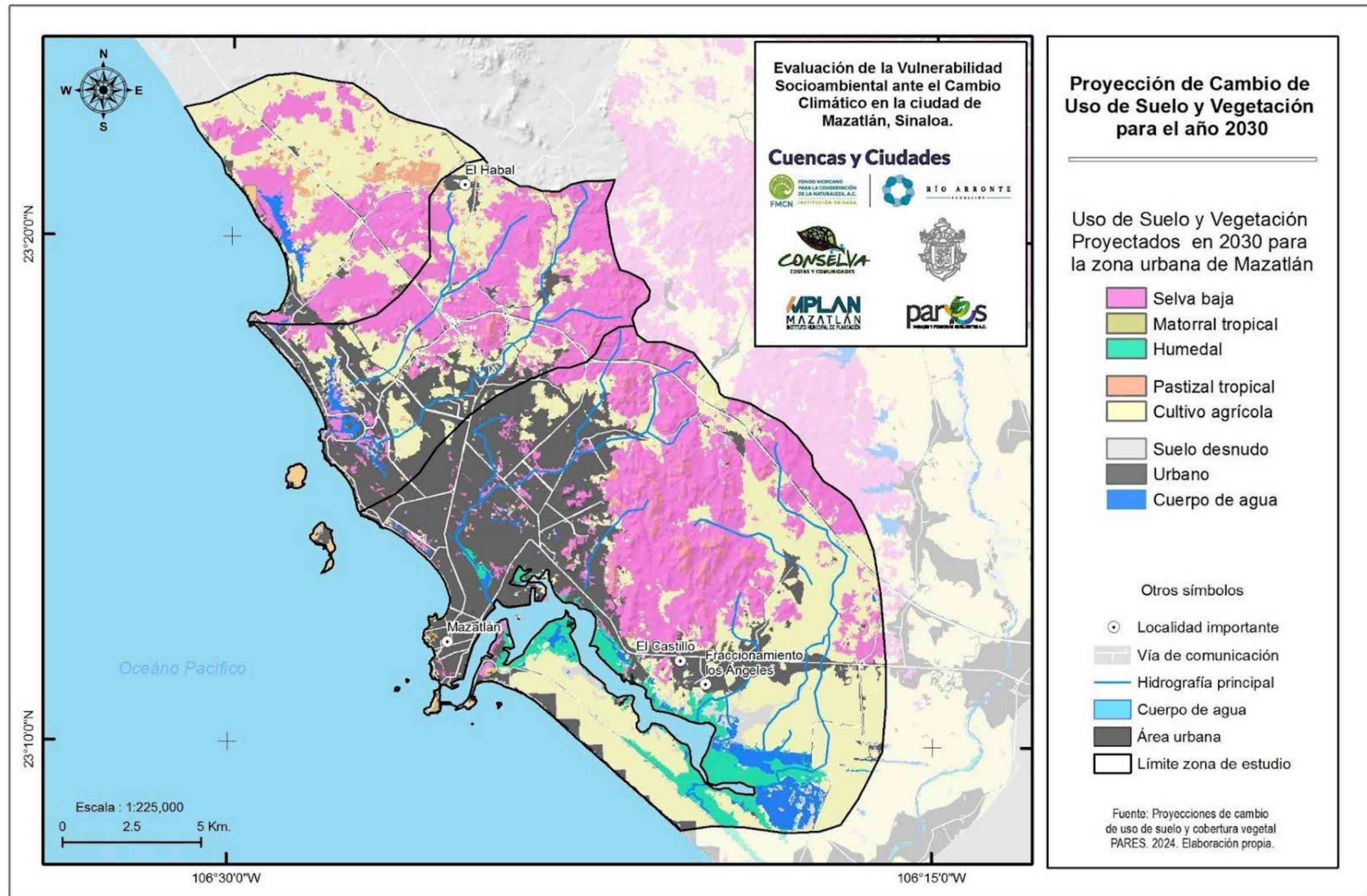


Figura 75. Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2030 (entorno urbano). Fuente: Pares A.C.

Proyección de cambios en la provisión de servicios ecosistémicos y balance hídrico

Los análisis tuvieron como insumo los escenarios de Cambio Climático desarrollados en la sección 4.2. de este documento. En esta fase fueron parametrizados los sub-modelos de *annual water yield*, *sediment delivery ratio*, *carbon storage* y *seasonal water yield* de InVEST, usados en el mapeo de SE y la estimación de la capacidad adaptativa. Los parámetros básicos fueron representados por el uso de las proyecciones de CUSCV. El cálculo de la evapotranspiración potencial (PET), estimado mediante el uso de la paquetería “*randomForest*” en R, integrando los datos históricos de temperatura máxima, temperatura mínima y de radiación solar, dividiendo los datos en dos conjuntos (de 1971 a 2000 para el entrenamiento; de 2000 a 2020 para la validación) [Shi et al., 2020]. Posteriormente, aplicando el modelo predictivo a las capas re-escaladas de temperatura promedio mensual, derivados de los escenarios para los años 2030 y 2050. La estimación del índice de erosividad de la lluvia o factor R, mediante el uso de un modelo de regresión no paramétrica ($R^2 = 0.71$) entre los datos históricos de precipitación mensual, el índice modificado de Fournier para los años 2000 y 2020, y las coordenadas del centroide de cada pixel (Patriche et al., 2023) Finalmente, mediante el uso de los escenarios de precipitación mensual para los años 2030 y 2050 en los escenarios SSP2 RCP 4.5. y SSP5 RCP 8.5. Es importante mencionar que las proyecciones de los servicios ecosistémicos en el escenario extremo 8.5 no se presentan en este documento, pero están disponibles en el Sistema de Información Geográfica para consulta u otros análisis.

Estimación de los cambios en la provisión de SE y en la priorización de áreas

Se cuantificaron las diferencias netas en la magnitud de provisión de cada servicio y en los componentes del balance hídrico (porcentaje de cambios porcentuales), mediante la resta aritmética de los valores de provisión de cada SE por pixel, bajo las condiciones de cambio futuras, con los valores correspondientes en la línea base (2024), y posterior estimación del cambio proporcional en cada pixel en el *Spatial Analysis* de ArcMap. Ello con el fin de identificar los cambios espaciotemporales de las cuencas que rodean a la ciudad de Mazatlán. Posteriormente, los mapas resultantes de provisión bajo los escenarios de cambios en los usos del suelo y Cambio Climático fueron estandarizados (0-1) en función de los valores máximos y mínimos para cada SE y de los componentes del balance

hídrico durante la línea base, mediante el uso del método de *scaling* y *Fuzzi Overlay* propuestos en la sección de “Priorización de SE” del análisis de capacidad adaptativa del presente estudio. Finalmente, el análisis de superposición espacial de áreas proyectadas y de la línea base, fue utilizado para estimar la superficie de cambio de un nivel con priorización (muy baja, baja, media, alta, y muy alta) a otro en particular para los años 2030 y 2050.

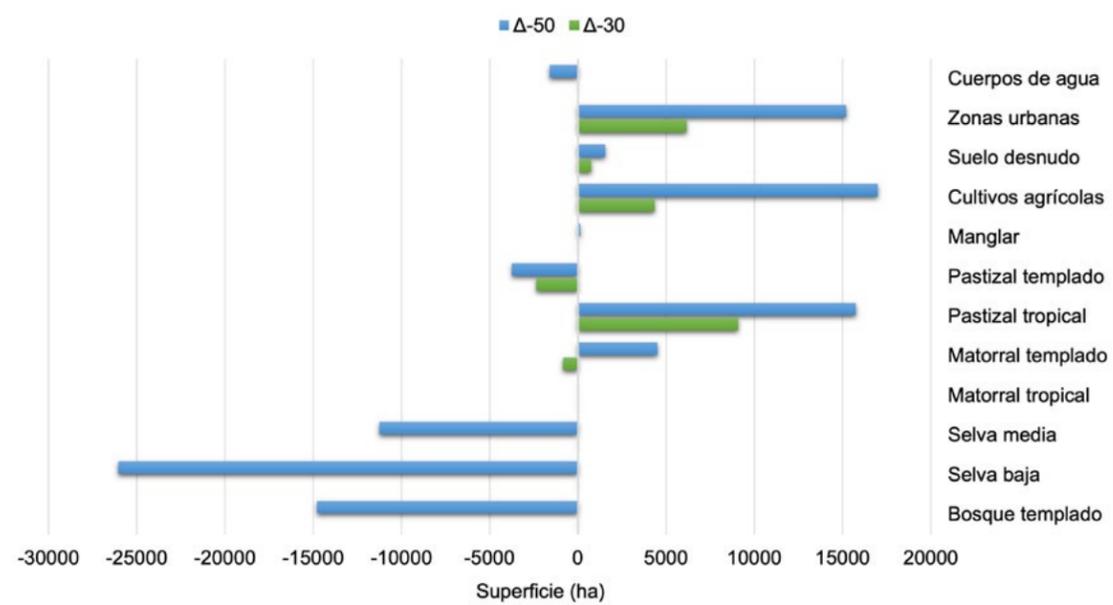
Resultados del análisis de cambio en el uso del suelo y cobertura vegetal

Las principales clases de USCV utilizadas fueron: bosque templado, selva baja, selva media, matorral tropical, matorral templado, pastizal tropical, pastizal templado, manglar, los cultivos agrícolas, el suelo desnudo, las zonas urbanas y los cuerpos de agua. De acuerdo con la evaluación retrospectiva realizada, en la cuenca del río Presidio se perdió un total de 21,683 hectáreas de superficie forestal durante el periodo 2000-2024. Además, se encontró una reducción de 8,265 ha en los bosques templados, mientras que la selva baja, la selva media y los matorrales presentaron una reducción de 6,606; 5,203 y de 1,075 ha, respectivamente. Donde la principal razón de deforestación fueron fundamentalmente las transiciones a pastizales (6,597 ha; 1.06%), cultivos agrícolas (6,883 ha; 1.11%) y a zonas urbanas (5,168 ha; 0.83%), respectivamente. Estas pérdidas totales representaron el 4.11% del área forestal y el 3.5% del área total de la Cuenca. El **Cuadro 60** presenta los cambios más importantes para el periodo 2000-2020.

De igual forma que en el escenario anterior, las proyecciones que se presentan en los **Anexos**, para el periodo 2020-2050 resulta un crecimiento acelerado de las zonas urbanas en un 2.45% (15,192 ha), de los cultivos agrícolas en un 2.74% (16,995 ha) y de los pastizales tropicales en 2.54% (15,741 ha). Donde se espera que los bosques templados (-14,779 ha), selva baja (-26,057 ha) y la selva mediana (-11,261 ha) sean convertidos a otros usos del suelo con una pérdida estimada de la cobertura vegetal de 52,097 ha (103% de la cobertura forestal en el 2020 y el 8.4% de la superficie de la cuenca).

USCV	Ha			%		
	2000	2013	Δ	2000	2013	Δ
Bosque templado	216,573	208,308	-8,265	34.89	33.56	-1.33
Selva baja	180,248	173,642	-6,606	29.04	27.98	-1.06
Selva media	98,962	93,759	-5,203	15.95	15.11	-0.84
Matorral tropical	67.77	10.89	-56.88	0.011	0.002	-0.009
Matorral templado	30,953	208,308	-1,018	4.99	4.82	-0.17
Pastizal tropical	15,043	29,935	4,265	2.42	3.11	0.69
Pastizal templado	5,265	7,597	2,332	0.85	1.22	0.37
Manglar	1,742	1,208	-534	0.28	0.19	-0.09
Cultivos agrícolas	61,351	68,234	6,883	9.87	10.99	0.11
Suelo desnudo	303.48	1,756	1,453	0.05	0.28	0.23
Zonas urbanas	7,672	12,833	5,168	1.24	2.07	0.83
Cuerpos de agua	2,394	3,976	1,582	0.39	0.64	0.25

Cuadro 60. Cambios de uso de suelo y cobertura vegetal (2000-2020).
Fuente: Pares A.C



Gráfica 47. Cambios en la superficie (ha) de usos del suelo y cobertura vegetal (2030 y 2050). Fuente: Pares A.C

Resultados del cambio en la provisión de los servicios ecosistémicos

De manera general, de acuerdo con los escenarios de Cambio Climático, específicamente en el régimen de precipitación para el año 2030, se podría esperar un rango de precipitación promedio anual de los 626 mm a los 1,500 mm año⁻¹ bajo el RCP 4.5 y de los 686 mm a los 1,705 mm año⁻¹ bajo el RCP 8.5. Con una reducción promedio anual de hasta 54 mm año⁻¹ en la parte baja de la cuenca (específicamente en los alrededores de Mazatlán) y en la parte más alta de la cuenca; además de un aumento de 177.8 mm en la parte media (entre los -4.21 y 11.48 mm día⁻¹); con una media de 835 mm año⁻¹ (-2.2%, con respecto al 2020), bajo el RC 4.5.

Con respecto al RCP 8.5, se podrían presentar incrementos de 33 mm año⁻¹ en la parte baja y un aumento de 302 mm año⁻¹ en la parte media de la cuenca, específicamente en las zonas que coinciden con los bosques templados (bosque de pino, encino y pino-encino), con una media anual de 930 mm año⁻¹ (+8.9%, con respecto al 2020). Mientras que para el año 2050, se pueden esperar cambios en la precipitación promedio anual de los 590 mm a los 1,300 mm año⁻¹ bajo el RCP 4.5 (con una media de 712 mm año⁻¹; -16.6%, con respecto al 2020) y de los 712 mm a los 1,540 mm año⁻¹ (con una media de 838 mm año⁻¹; +0.35%, con respecto al 2020). Bajo este escenario, se podría presentar una reducción promedio anual de 57.6 mm año⁻¹

(-4.8 mm día⁻¹) en las partes bajas, de 210 mm año⁻¹ (-10 mm día⁻¹) en la parte media y de 207 mm año⁻¹ (-17.3 mm día⁻¹) en las partes altas. Finalmente, se podría esperar una reducción de 4.2 mm año⁻¹ (-0.35 mm día⁻¹) en las partes bajas, un incremento de 41 mm año⁻¹ (3.36 mm día⁻¹) en la parte media y un incremento de 79 mm año⁻¹ (-6.5 mm día⁻¹) en la parte alta.

En lo que respecta a la temperatura promedio anual, los escenarios encontraron un posible incremento de 0.92°C en la parte baja, un incremento 1.04°C en la parte media y un incremento de 0.88°C en las partes altas bajo el RCP 4.5, para el año 2030 (con un rango de 10.8 a los 26.79 °C año⁻¹). Mientras que se podrían presentar incrementos de 0.77°C en la parte baja, de 0.65°C en la parte media y de 0.54°C en las partes altas (con un rango entre los 10.7 y los 25.8°C año⁻¹), bajo el RCP 8.5. Por su parte, para el año 2050, bajo el RCP 4.5 se encontraron posibles aumentos en la temperatura promedio anual de 1.78°C en la parte baja, de 1.74°C en la parte media y de 1.70°C en las partes altas (con un rango de 11.6 a 27.6 °C). Finalmente, bajo el RCP 8.5, se obtuvieron posibles aumentos de 1.62°C en la parte baja, de 1.87°C en la parte media y de 2.10°C en las partes altas (con un rango 11.6 a 27.4 °C C año⁻¹).

Las alteraciones causadas por la actividad humana o los cambios de uso del suelo, en conjunto con los cambios en el clima, tienen un gran impacto en los procesos ecológicos que dan origen a los servicios ecosistémicos (SE).

Por lo que se parametrizaron los sub-modelos de InVEST mediante la combinación de dos escenarios de los CUSCV y de los RCP 4.5 y 8.5, para los años 2030 y 2050, con el fin de cuantificar e identificar las áreas que potencialmente pueden experimentar cambios en la provisión de servicios ecosistémicos.

Cambios en la provisión superficial del agua

Dados los cambios en los USCV y CC descritos, para el año 2030 los escenarios indican un posible cambio en la provisión superficial del agua de entre 0 y los 1,420 mm año⁻¹; con una media anual de 264.4 mm año⁻¹ (-14.9%, con respecto al 2024). Se espera una reducción de hasta 512 mm año⁻¹ en las partes baja y media de la cuenca bajo el RCP 4.5 (coincidiendo espacialmente con las áreas dominadas por zonas urbanas, cultivos agrícolas, pastizales y selva baja); además de un incremento generalizado en la parte media-alta de 113 mm año⁻¹ y un incremento de hasta 954 mm año⁻¹ en las áreas que coinciden con los bosques de pino (Figura 79 y 80). Con respecto al RCP 8.5, para el mismo año y bajo el mismo escenario de CUSCV, los escenarios indican un posible cambio en la provisión superficial de agua entre 15 y los 1,544 mm año⁻¹, con una media anual de 321 mm año⁻¹ (+3.5%, con respecto al 2024). Al igual que en el escenario anterior, se podría esperar una reducción de 478 mm año⁻¹ en las partes baja y media; y con un aumento de hasta 251 mm año⁻¹ en la parte alta.

Dado el rápido crecimiento de las zonas urbanas, y la expansión de los cultivos agrícolas y pastizales en la parte baja, los cambios potenciales esperados en la provisión superficial del agua bajo el escenario de CUSCV y CC bajo los dos RCP's, indican una posible disminución promedio anual del 37.7% (193 mm año⁻¹; con un rango entre 0 y los 1,186 mm año⁻¹) bajo el escenario RCP 4.5. en el año 2050 podría presentarse una reducción generalizada de 169 mm año⁻¹ a largo de la cuenca e incrementos localizados de hasta 719 mm año⁻¹ en algunas regiones de la parte media y alta (Figuras 81 y 82). Bajo el RCP 8.5, se encontró una posible disminución promedio anual del 14% (266 mm año⁻¹; con un cambio en el rango de 7.2 a 1373 mm año⁻¹). Finalmente, se espera una posible reducción de 588 mm año⁻¹ en las partes baja y media; y un aumento generalizado de 130 mm año⁻¹ en la parte alta.

En el Cuadro 61 y las Gráficas 48 y 49 se resumen varios estadísticos de la provisión superficial del agua por sub-cuenca. Estos resultados resaltan una reducción en el volumen total de producción de agua del 9.5% bajo el RCP 4.5

(2,337.3 Millones de m³), con respecto al año 2024 (2,584.1 Millones de m³) y contrario a lo esperado, un aumento del 23.1% (3,182 Millones de m³) bajo el RCP 8.5. La parte alta la que contribuye con el mayor aporte de agua (96%; 2,485 Millones de m³) y las cuencas con mayores porcentajes de suelo urbano, agrícola y pecuario serían aquellas que contribuirán en menor medida, debido al incremento en la temperatura y evapotranspiración. Para el 2050, se espera una reducción del 28.1% bajo el RCP 4.5 y del 0.45% bajo el RCP 8.5, con respecto al 2024. Debido a los posibles incrementos en la precipitación en la parte alta.

Cambios en la retención de sedimentos

La sustitución de la cubierta vegetal sobre todo en pendientes pronunciadas, en las cercanías de los ríos y en las zonas con incrementos en la intensidad de las lluvias, jugarían un papel importante en la pérdida potencial del suelo, donde la vegetación sirve como barrera frente al desplazamiento de partículas de los suelos y contaminantes a los cauces de los ríos.

De acuerdo con los escenarios analizados para el año 2030, en el escenario RCP 4.5, se podrían presentar cambios en el rango de retención de suelos entre 0 y las 47.5 ton año⁻¹ (Figura 83), con una media de 3.81 ton año⁻¹ (de 0 a 48.1 ton año⁻¹ en el 2024) y una disminución del 7.8% en la capacidad de retención de sedimentos (Figura 84). Donde se espera una reducción de 16.3 ton año⁻¹ en las partes baja y media de la cuenca, y un aumento de hasta 21.4 ton año⁻¹ en las partes altas de la cuenca debido a los incrementos en la precipitación promedio anual. Por otro lado en el escenario RCP 8.5, se podría experimentar un cambio en el rango de retención de suelos entre 0 y las 52 ton año⁻¹, con una media de 4.2 ton año⁻¹ y un aumento de 6.8%. En las partes bajas y medias de la cuenca se podría presentar reducciones de hasta 15.4 ton año⁻¹, y un aumento de hasta 25.3 ton año⁻¹ en la parte alta.

Por otro lado, en el escenario de CUSCV para el año 2050 en el escenario RCP 4.5, se podrían presentar cambios en el rango de retención de sedimentos de entre 0 y 40.2 ton año⁻¹ y una disminución en la media anual del 18% (3.15 ton año⁻¹; Figura 85). Disminuciones de hasta 22 ton año⁻¹ en las partes baja y media, e incrementos de hasta 15.7 ton año⁻¹ en la capacidad de retención de sedimentos, por parte de la cubierta vegetal en la parte alta de la cuenca.

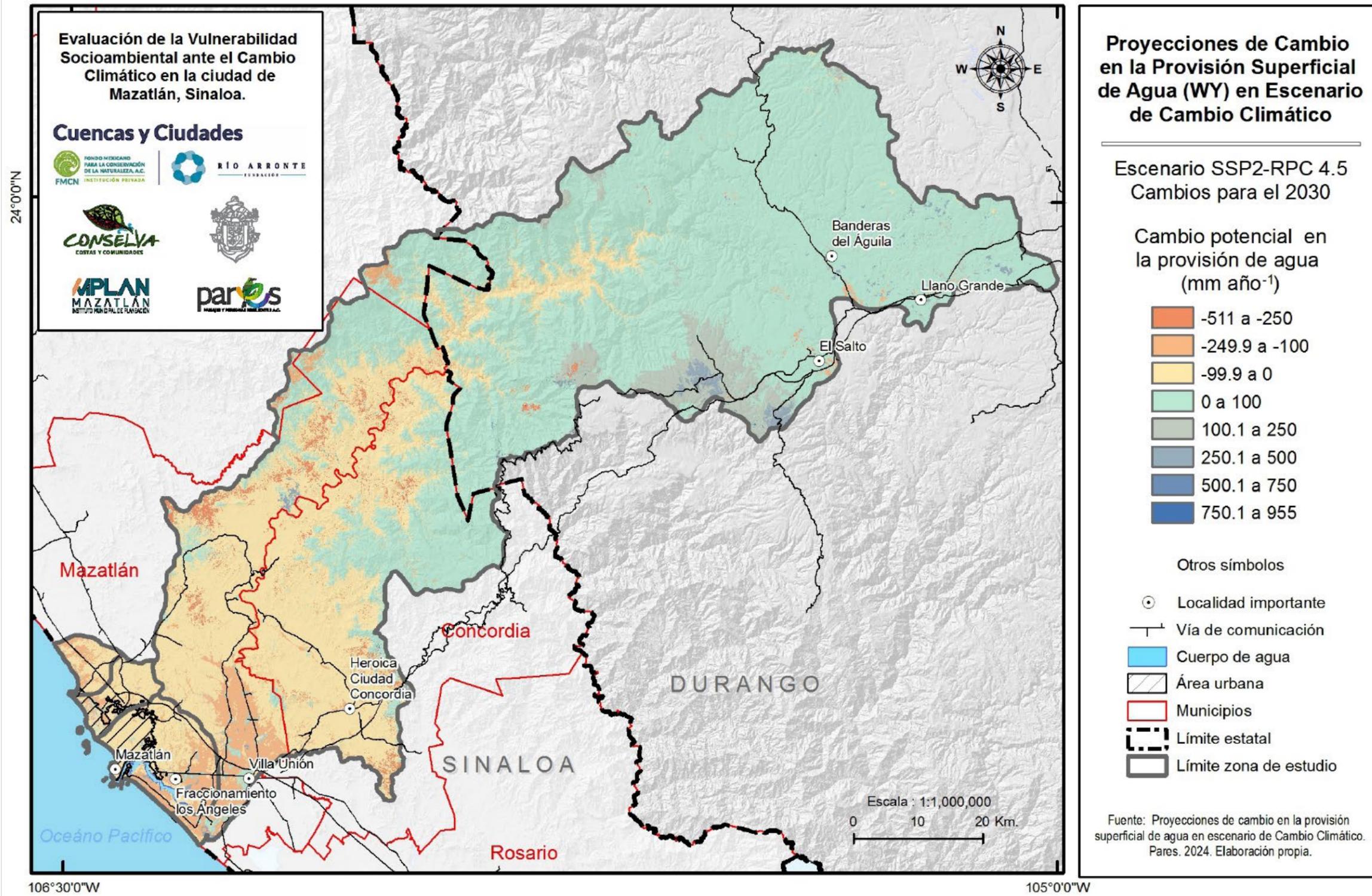
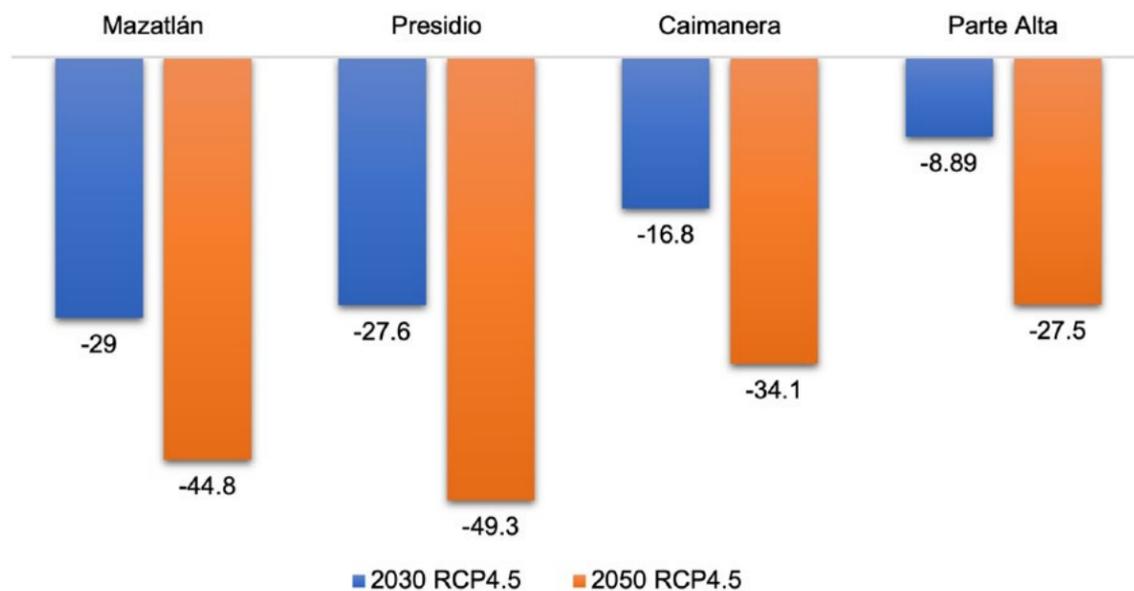


Figura 80. Cambios potenciales en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C

Subcuenca	Provisión superficial de agua (10 ⁶ m ³ año ⁻¹)				Cambio (%)			
	2030		2050		2030		2050	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
Mazatlán	44.8	55.5	34.8	47.3	-29.0	-12.1	-44.8	-25.0
Presidio	9.7	12.4	6.8	9.9	-27.6	-7-46	-49.3	-26.1
Caimanera	18.8	23.1	14.9	20.1	-16.8	2.21	-34.1	-11.1
Parte alta	2,264	3,091	1,801	2,495	-8.89	24.4	-27.5	0.40

Cuadro 61. Cambios potenciales en la producción superficial del agua por subcuenca, bajo los escenarios de cambio de uso del suelo para el 2030 y 2050, y bajo los RCP's 4.5 y 8.5. **Fuente:** Pares A.C.

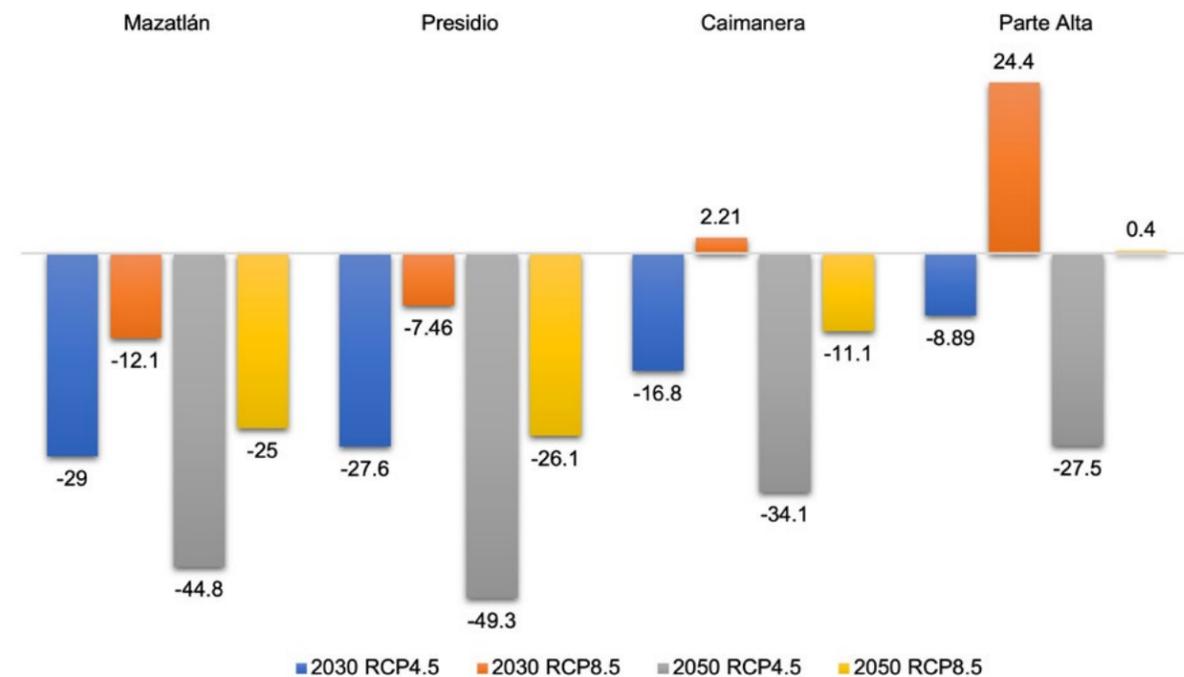
Provisión superficial del agua Cambio %



Gráfica 48. Cambios (%) en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2030 y 2050). **Fuente:** Pares A.C.

Con respecto al escenario RCP 8.5, podrían presentarse potenciales cambios en el rango de retención de 0 a 46.2 ton año⁻¹ y una disminución en la media anual de 3.6% (3.7 ton año⁻¹). Reducciones de hasta 21.1 ton año⁻¹ en las partes baja y media, y posibles incrementos del orden de 21 ton año⁻¹ en la parte alta (**Figura 86**).

Provisión superficial del agua Cambio %



Gráfica 49. Cambios (%) en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 y 8.5 (2030 y 2050). **Fuente:** Pares A.C.

Cambios en el almacenamiento de carbono

El cambio en el almacenamiento de carbono a lo largo del tiempo, se obtuvo mediante el cálculo de la diferencia entre los valores, pixel a pixel, del mapa actual (2024) y cada uno de los escenarios alternativos (2030 y 2050). Donde las transiciones de la cobertura vegetal a otros usos del suelo para el 2030, pueden resultar en una posible reducción en el almacenamiento de carbono del 8.2% para el año 2030 (11.5 Millones de Ton de C), con respecto al 2024 (**Figura 87**), podrían presentarse disminuciones de hasta 151 Mg ha⁻¹ (**Figura 88**). Por su parte en 2050 podría presentarse una reducción del 11.3% (15.8 Millones de Ton de C) a nivel general y en la parte media y baja de la cuenca hasta 287 Mg ha⁻¹ (**Figuras 89 y 90**).

Resultados del cambio en el balance hidrológico

Los cambios en la cobertura vegetal para el 2030 y los cambios en el clima bajo el escenario RCP 4.5, indican un posible aumento en la lámina de escurrimiento anual o aporte al flujo rápido del 2.3% (116.95 mm año⁻¹), con respecto al 2024 (114.1 mm año⁻¹) (**Figura 91 y 92**). Con incrementos generalizados

de 10 a 20 mm a lo largo de la cuenca y con aumentos puntuales de hasta 799 mm año⁻¹ en las partes bajas. Contrario a lo esperado, en el escenario RCP 8.5, se podría presentar una disminución del 21.1% (95 mm año⁻¹); con aumento generalizado de 35 mm año⁻¹ a lo largo de la cuenca, y con reducciones de hasta 675 mm año⁻¹ en la parte media. Mientras que para el 2050, en el escenario RCP 4.5 se determinó un posible aumento de 7.32% (122.4 mm año⁻¹) (**Figura 93 y 94**) a nivel general, y en la parte media y baja de la cuenca de hasta 833 mm año⁻¹. Finalmente, bajo el RCP 8.5, se podría esperar una disminución del 9.9% (102.8 mm año⁻¹), con una reducción generalizada a lo largo de la cuenca y con aumentos de hasta 693 mm año⁻¹ en la parte baja y media.

En lo que respecta a los cambios en el flujo base para el 2030, bajo el RCP 4.5 los resultados indican que en la cuenca del río Presidio se podría presentar una disminución del 1.2% en el promedio anual (198.6 mm año⁻¹), en comparación con la línea base 2024 (201 mm año⁻¹); con disminuciones de hasta 216 mm año⁻¹ en la parte baja e incrementos de hasta 90 mm año⁻¹ en las partes media y alta (**Figura 95 y 96**). Mientras que en RCP 8.5, el flujo base disminuye en promedio un 35.1% (130.4 mm año⁻¹), con disminuciones de 147 mm año⁻¹ a lo largo de la cuenca.

Para el 2050, en el escenario RCP 4.5 podría ocurrir un aumento promedio en el flujo base del 22.4% (246.4 mm año⁻¹), con reducciones de 103 mm año⁻¹ en las partes baja y media, e incrementos de hasta 616 mm año⁻¹ en la parte media (**Figura 97 y 98**). Por su parte el escenario RCP 8.5, se indica una posible reducción promedio del flujo base de 31.5% (137.7 mm año⁻¹), con reducciones generalizadas de hasta 158 mm año⁻¹ a lo largo de la cuenca e incrementos de hasta 491 mm año⁻¹ en las partes media y alta.

Resultados del cambio en la priorización de los SE

En el año 2024, el 32.2% de la superficie (198,367 hectáreas) de la cuenca del río Presidio fue clasificada como de "muy alta" prioridad, seguida por el 31.9% como "alta" (196,720 hectáreas). Por otro lado, el 21.9% se categorizó como de "media" prioridad (134,973 hectáreas), mientras que el 10.4% y el 3.5% correspondieron a las categorías de "baja" (64,103 hectáreas) y "muy baja" prioridad (21,774 hectáreas), respectivamente

Derivado del análisis de escenarios alternativos para el año 2030, en el caso RCP 4.5, se podría presentar un incremento del 10.9% (67,263 hectáreas) en la superficie clasificada como de media prioridad para 2030, concentrándose principalmente en el centro de la cuenca y asociado a la expansión de la selva baja. Paralelamente, se espera una disminución del 2.7% y 10% en las superficies de alta y muy alta prioridad, respectivamente, debido a la conversión de bosques templados a pastizales y zonas agrícolas, especialmente en los alrededores de Mazatlán y en las zonas de mayor altitud (**Figuras 99 y 100**).

El análisis bajo el escenario RCP 8.5 se podría presentar un incremento del 3.3%, 1.82% y 9.98% en las superficies clasificadas como de muy baja, baja y media prioridad, respectivamente. Estos cambios se atribuyen a la intensificación de los efectos del Cambio Climático, como el aumento de la temperatura y la reducción de la precipitación, lo que favorece la transformación de los ecosistemas hacia estados más degradados y con menor capacidad de provisión de servicios ecosistémicos (**Cuadro 62**).

En el análisis para el año 2050, bajo los escenarios RCP 4.5 y 8.5, se podría presentar un incremento en las áreas clasificadas como de media prioridad de 14.6% y 11.56%, respectivamente. Paralelamente, se espera una disminución del 1% y 19.1% en las áreas de alta prioridad bajo el RCP 4.5, (**Figuras 101 y 102**), mientras que bajo el RCP 8.5 se proyecta un incremento del 3.4% en las áreas de alta prioridad y una disminución del 20.6% en las de muy alta prioridad. Estos cambios posiblemente puedan atribuirse a la intensificación de las presiones antropogénicas y climáticas sobre los ecosistemas.

Cuadro 62. Porcentaje de la cuenca comprendido por cada nivel de prioridad en la provisión de SE bajo los escenarios de cambio en el uso del suelo y Cambio Climático. **Fuente:** Pares A.C.

Prioridad	2030		2050	
	RCP 4.5.	RCP 8.5	RCP 4.5.	RCP 8.5
Muy baja	0.61	0.33	1.53	2.11
Baja	1.15	1.82	3.74	3.49
Media	10.9	9.99	1.46	11.6
Alta	-2.71	-3.69	-0.80	3.42
Muy alta	-9.95	-8.45	-19.1	-20.6

5.11.1. Vulnerabilidad socioambiental futura (2030)

Los peligros e impactos relacionados con el Cambio Climático están en aumento tanto en ciudades como en sus entornos rurales. A pesar de la incertidumbre en el comportamiento futuro de las variables climáticas, las proyecciones indican que los peligros asociados al Cambio Climático pueden causar impactos adversos aún mayores que en la actualidad. Entre estos peligros destacan: el incremento en las olas de calor, precipitaciones extremas, inundaciones, incendios, sequías, aumento de la aridez y la escasez de agua, cuyos impactos se generalizan sobre los medios de subsistencia y la salud de las poblaciones, así como sobre los ecosistemas y las economías locales y regionales.

En escenarios a futuro, las ciudades concentrarán muchos de los peligros asociados al Cambio Climático, lo que tendrá profundos impactos en un amplio espectro de funciones, servicios e infraestructura del medio urbano. Estos efectos serán especialmente evidentes en el abastecimiento de agua, el saneamiento, la energía, la agricultura, la alimentación y los sectores del transporte y las comunicaciones, debido al carácter estrechamente acoplado de dichos sistemas.

Las proyecciones climáticas señalan que el porcentaje de población mundial afectada por la escasez de agua y por grandes inundaciones fluviales aumentará con el nivel de calentamiento durante el presente siglo. Se estima que el Cambio Climático reducirá los recursos de agua superficial y subterránea de manera significativa en la mayoría de las regiones subtropicales secas, lo que supondrá una intensificación de la competencia por el agua. En las zonas rurales, los principales impactos previstos guardan relación con la disponibilidad y el suministro de agua, la seguridad alimentaria y los ingresos agrícolas, incluyendo cambios en las áreas de producción de cultivos alimentarios y no alimentarios (Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación, 2014).

Por su parte, y como consecuencia de la elevación del nivel del mar, los sistemas costeros y las zonas bajas experimentarán, cada vez con más frecuencia e intensidad,

eventos hidrometeorológicos extremos que expondrán a la población, la infraestructura y los sistemas productivos a mareas de tormenta, inundaciones y erosión costera.

Este análisis evaluó la vulnerabilidad socioambiental de Mazatlán en el escenario de Cambio Climático SSP2 RCP-4.5 en el corto plazo (2030), enfocado en obtener resultados que permitan tomar medidas encaminadas a incrementar la resiliencia de la ciudad y de sus habitantes a través de la implementación de acciones de adaptación, Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y promoción de políticas públicas sensibles a los impactos del Cambio Climático.

Procedimiento

Para determinar la vulnerabilidad futura a 2030, se adoptaron dos enfoques principales: el primero se centró en el crecimiento poblacional, mientras que el segundo se basó en la proyección de cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal para 2030 (véase la sección 5.11.1 de este estudio).

En cuanto al primer componente, se estimó la Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) exclusivamente para la ciudad de Mazatlán como localidad, utilizando la población censal registrada en 2010 y 2020. La TCMA resultante fue de 1.48. Con base en esta tasa, se estimó la población para 2030, lo que arrojó una cifra de 511,925 habitantes. Esto implica un incremento de cerca de 70.000 habitantes con respecto a 2020.

No obstante, considerando que la ciudad de Mazatlán muestra una tendencia a disminuir su TCMA y con el propósito de no sobreestimar la magnitud de su población futura al aplicar la misma tasa de crecimiento (2010-2020), se procedió a estimar la TCMA 2030-2040 a nivel municipal, basándose en proyecciones de población de CONAPO. El resultado para este nuevo periodo fue una TCMA de 0,003 (**Cuadro 63**).

Cuadro 63. Proyección del crecimiento de la población de la ciudad de Mazatlán a 2030. **Fuente:** Pares A.C. con datos de CONAPO, 2024.

Localidad	Población censal		Tasa de crecimiento		Población estimada	
	2010	2020	2010-2020	2030-2040	2040	2050
Mazatlán	381 583	441 975	1.48	0.003	511 925	512 196

Para evaluar la superficie y ubicación geográfica del crecimiento de la zona urbana sobre otros usos del suelo, se tomaron como base las proyecciones del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal descritas anteriormente (sección 5.11.1 de este estudio). Para enfocarse en la zona urbana, únicamente se seleccionó la clase denominada como "Urbano" de la capa proyectada para el 2030. Con la finalidad de conocer las áreas y ubicación de las áreas de crecimiento de la ciudad, se consideró la zona urbana 2024 y a esta se le superpusieron los polígonos de crecimiento proyectado a (2030).

De acuerdo con Blanco *et al.* (2012), las periferias de la ciudad son zonas de nueva construcción que crecen en el perímetro de la ciudad para dar cobijo a la población que llega desde el campo (o desde otros lugares urbanos) o a aquellos colectivos que por alguna razón se desplazan desde el propio núcleo de la ciudad. En ese sentido Bazant (2001) indica que las ciudades suelen crecer preferentemente de la siguiente manera:

Franjas de expansión urbana incontrolada en la periferia: Es un territorio en proceso de ocupación por asentamientos irregulares que cubre una gran superficie de conversión territorial de suelo urbano o rural.

Franjas de transición rural-urbano en la periferia: Las franjas de transición son las áreas agrícolas con fuerte presión de ocupación por asentamientos irregulares y, generalmente, son tierras agrícolas de temporal con baja productividad, aunque a veces también pueden ser tierras de alta productividad –como en el caso de Mazatlán– que por su localización céntrica y próxima a la mancha urbana están en proceso de conversión.

Finalmente, las ciudades crecen también hacia zonas de alto riesgo; al expandirse incontroladamente sobre las periferias, van cubriendo el territorio independientemente de su aptitud para la urbanización. Tal es el caso de la ciudad de Mazatlán, cuyo crecimiento urbano proyectado a 2030 se dará a costa del ecosistema de selva baja y de terrenos agrícolas, se identificó un mayor crecimiento hacia el suroriente de la ciudad, asociado principalmente a zonas relativamente planas de uso actual agrícola y con facilidad en cuanto a la presencia de importantes vías de comunicación de primer orden hacia la ciudad de Mazatlán (**Figura 103**).

Para evaluar la vulnerabilidad futura de Mazatlán, se combinaron dos aspectos clave: el crecimiento de la población y su distribución en las nuevas áreas de expansión urbana.

Se ponderó la cercanía a la zona urbana actual, partiendo de la premisa de que los nuevos desarrollos de población procuran ubicarse dentro o cerca de la ciudad por la facilidad de acceso a servicios (Bazant, 2001 y Blanco *et al.*, 2012).

La diferencia de población encontrada entre el censo de 2020 y la proyección para 2030 es de 69,950 habitantes, los cuales se distribuyeron en 1,560 hectáreas de polígonos de crecimiento urbano proyectado, de acuerdo con las consideraciones incluidas en el **Cuadro 64**.

Es crucial destacar que este crecimiento poblacional, sumado al asentamiento en zonas irregulares y de riesgo, podría incrementar la vulnerabilidad de los habitantes de la ciudad de Mazatlán ante el Cambio Climático. La ocupación de áreas no aptas para la urbanización, como zonas inundables o con alta susceptibilidad a deslizamientos, expone a la población a mayores peligros y dificulta la implementación de medidas de adaptación efectivas. Asimismo, la falta de planificación y la precariedad de los servicios en asentamientos irregulares pueden agravar la vulnerabilidad de sus habitantes. Por lo tanto, es fundamental considerar estos factores al diseñar estrategias de adaptación que promuevan un desarrollo urbano sostenible y resiliente.

Para obtener el mapa de Vulnerabilidad Socioambiental futura proyectada al 2030 para Mazatlán, se llevó a cabo un proceso que integró diversos factores clave. En primer lugar, se identificaron y delimitaron los polígonos de crecimiento urbano proyectado, que representan las áreas donde se espera que la ciudad se expanda en el futuro. Estos polígonos fueron analizados en detalle, considerando su ubicación y características.

Una vez obtenida la categoría de vulnerabilidad de los polígonos de crecimiento, se procedió a integrarla con la vulnerabilidad socioambiental actual de Mazatlán. Para ello, se utilizó un enfoque de superposición de mapas que combinó la información de la vulnerabilidad actual con la de los polígonos de crecimiento proyectados a 2030. Este proceso permitió identificar las áreas de la ciudad que presentan la mayor vulnerabilidad futura, considerando tanto las condiciones actuales como los cambios esperados por el crecimiento urbano.

El resultado de este análisis integrado es el mapa de Vulnerabilidad Socioambiental futura proyectada al 2030 (**Figura 104**). Este mapa muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad en Mazatlán, destacando las zonas que requieren mayor atención y donde se deben priorizar las acciones de adaptación al Cambio Climático.

Superficie de crecimiento estimada 2030		Población estimada para el 2030		Vulnerabilidad
Consideración de cercanía al límite urbano 2024	Superficie (ha)	% ponderación	Número de habitantes proporcionales	
Zonas interiores y periferias colindantes con el límite de la ciudad de hasta un kilómetro	1,005	60%	41,970	Alta
Zonas medianamente alejadas de entre 1 a 2.5 km del límite de la ciudad	183	25%	17,488	Media
Zonas muy alejadas mayores a 2.5 km y hasta 5km.	372	15%	10,492	Baja
Superficie total de crecimiento urbano	1,560	Diferencia de la población 2020-2030	69,950	

Cuadro 64. Distribución de la población en los polígonos de crecimiento urbano proyectados a 2030. **Fuente:** Pares A.C.

Para evaluar la vulnerabilidad futura de Mazatlán, se combinaron dos aspectos clave: el crecimiento de la población y su distribución en las nuevas áreas de expansión urbana. Se ponderó la cercanía a la zona urbana actual, partiendo de la premisa de que los nuevos desarrollos de población procuran ubicarse dentro o cerca de la ciudad por la facilidad de acceso a servicios (Bazant, 2001 y Blanco *et al.*, 2012).

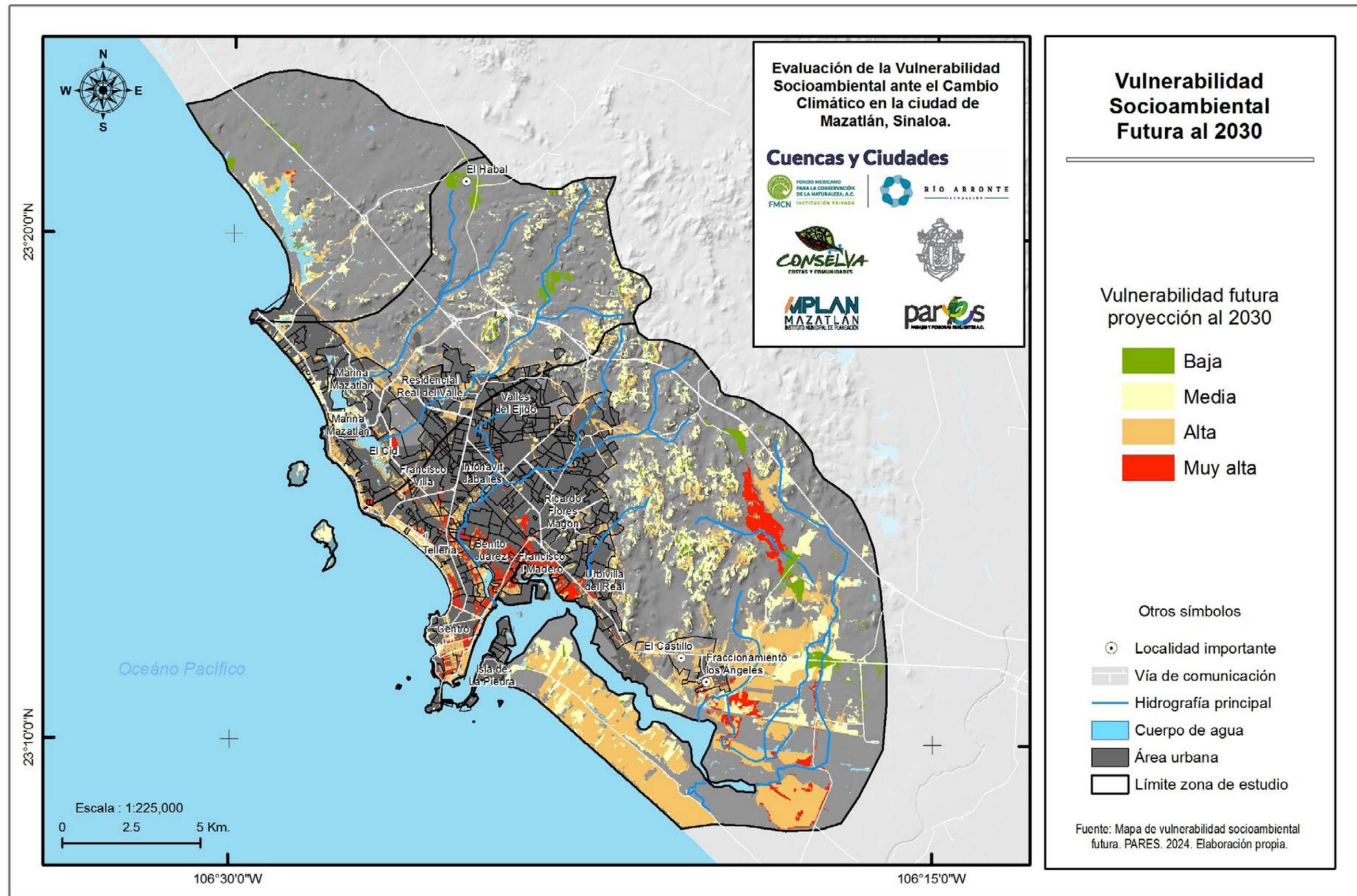


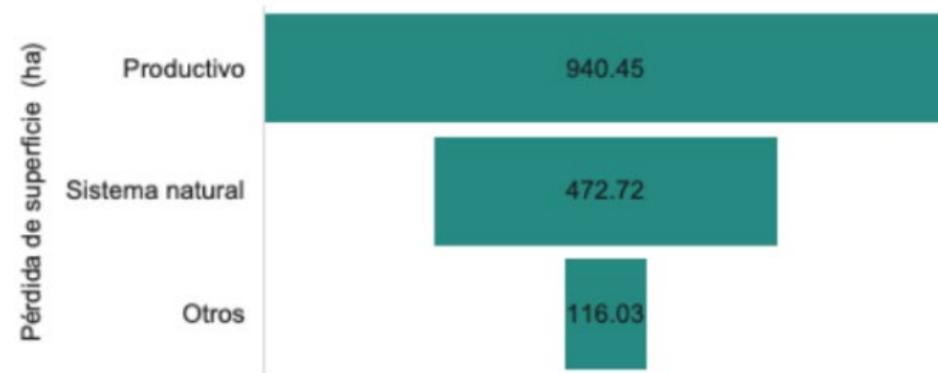
Figura 104. Vulnerabilidad socioambiental futura de la ciudad de Mazatlán (Proyección a 2030). Fuente: Pares A.C.

Según los resultados del análisis de la proyección de cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal para el año 2030 (véase la sección 5.11.1 de este estudio), se identificó un crecimiento acelerado de las zonas urbanas de 6,152 hectáreas. Este crecimiento tendrá un impacto significativo en diversos sistemas, como se muestra en la **Gráfica 50**. Los resultados indican que el sistema productivo será el más afectado, con una pérdida de 904,45 hectáreas, lo que representa una disminución importante en la superficie destinada a actividades productivas como la agricultura.

En segundo lugar, el sistema natural también se verá afectado por el avance de la mancha urbana, con una pérdida de 472,72 hectáreas. Esta reducción implica una disminución en la superficie de ecosistemas importantes como la selva baja, lo que puede tener consecuencias negativas para la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación hídrica y la captura de carbono.

Es fundamental destacar que la pérdida de suelo productivo y natural no solo tiene impactos directos en la economía y el medio ambiente, sino que también puede generar una serie de problemas sociales y económicos a largo plazo. La disminución de la producción agrícola puede afectar la seguridad alimentaria y los ingresos de las comunidades rurales, mientras que la pérdida de ecosistemas naturales puede aumentar la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y reducir la capacidad de adaptación al Cambio Climático.

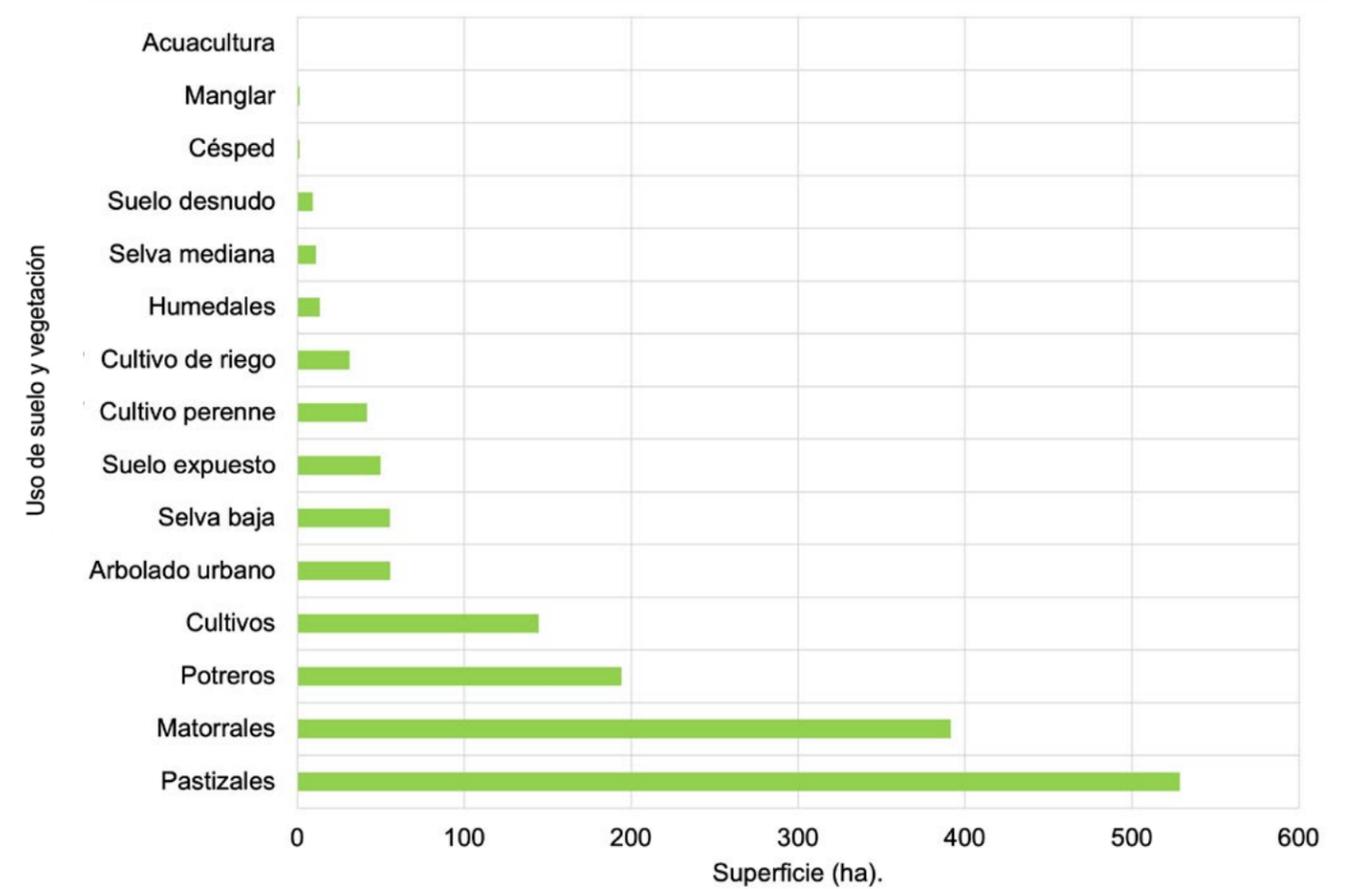
Gráfica 50. Crecimiento de la zona urbana proyectada a 2030 sobre otros ecosistemas. **Fuente:** Pares A.C.



La **Gráfica 51** desarrolla las posibles pérdidas de suelo según su uso y el tipo de vegetación presente en las áreas de crecimiento urbano proyectadas. Dentro del sistema productivo, los pastizales y potreros son los más vulnerables, abarcando conjuntamente una superficie de 723 hectáreas. La expansión urbana sobre estas áreas representa una pérdida significativa para actividades como la ganadería y la producción de forraje, con posibles impactos económicos para los productores y la región.

En cuanto a los cultivos, las pérdidas potenciales ascienden a 217.6 hectáreas, afectando tanto cultivos anuales, cultivos de riego como cultivos perennes. Esta reducción en la superficie cultivable puede tener consecuencias en la producción de alimentos, y los ingresos de los agricultores.

Dentro del sistema natural, la mayor pérdida se observa en los matorrales, con 391.4 hectáreas, seguidos por la selva baja, con 55.4 hectáreas. Es importante mencionar que la categoría de "arbolado urbano" en la gráfica se refiere a predios arbolados dentro de la zona urbana. Se debe tener precaución con esta cifra, ya que puede incluir parques urbanos u otras áreas verdes que no necesariamente se perderán debido al crecimiento urbano. No obstante, la pérdida de arbolado urbano, en general, puede contribuir a la disminución de la calidad ambiental y la exacerbación de las islas de calor.



Gráfica 51. Crecimiento de la zona urbana proyectada a 2030 sobre los distintos tipos de uso de suelo y vegetación. **Fuente:** Pares A.C.

5.11.3. Vulnerabilidad sectorial futura (2030)

Sistema urbano e infraestructura

El crecimiento urbano en el contexto de Cambio Climático impacta a las zonas urbanas de forma diferenciada. No todos los segmentos demográficos de las poblaciones urbanas se ven igualmente afectados por los peligros que el Cambio Climático podría exacerbar. La capacidad de las diferentes poblaciones urbanas para saber adaptarse a esta nueva situación está influenciada no solo por la edad y el género, sino también por una combinación de otros muchos factores incluyendo el capital humano, económico, físico, natural y social. Es un hecho que, mientras los grupos más ricos son menos vulnerables, las mujeres, los ancianos, los niños, los grupos minoritarios y los pobres urbanos son especialmente vulnerables (ONU-Hábitat, 2011).

El sistema urbano de Mazatlán y su futuro crecimiento se verán impactados por diversos efectos del Cambio Climático (adaptado de PNUD, 2024 y ONU-Hábitat - Earthscan, 2011), entre los que destacan:

- Aumento de fenómenos hidrometeorológicos extremos: La ciudad estará cada vez más expuesta a eventos extremos como inundaciones y tormentas, con consecuencias devastadoras para vidas, medios de subsistencia e infraestructura.
- Incremento del nivel del mar y riesgo de inundaciones: El aumento de las temperaturas puede intensificar las lluvias e incrementar el riesgo de inundaciones extremas. La zona costera es especialmente vulnerable al aumento del nivel del mar y a la erosión, con la consecuente pérdida de playas e impacto negativo en el turismo y sus instalaciones asociadas. La mayoría de los hoteles en Mazatlán se ubican en la franja costera, aumentando su exposición a estos eventos.
- Olas de calor y contaminación atmosférica: El "efecto isla de calor urbana", intensificado por actividades humanas e infraestructura, puede exacerbar las olas de calor. Las olas de calor empeoran la calidad del aire y plantean riesgos específicos para la salud en zonas urbanas.
- Amenazas para alimentos y agua: Las amenazas climáticas ponen en riesgo la salud, la calidad de vida, la seguridad de los sistemas alimentarios, la

disponibilidad de alimentos y la escasez de agua, subrayando la importancia de reforzar los vínculos entre zonas urbanas y rurales.

- Aumento de desigualdades: Los impactos del Cambio Climático tienden a profundizar las desigualdades sociales y económicas, impulsando la migración de zonas rurales a urbanas. El aumento de la desigualdad, la pobreza urbana y la exclusión coincidirá con el incremento de asentamientos informales, donde los riesgos climáticos también serían más graves.
- Impacto en la infraestructura: La infraestructura de la ciudad (edificios, carreteras, sistema de alcantarillado, sistemas de energía, escuelas y hospitales) se verá afectada, repercutiendo en el bienestar y los medios de subsistencia de los habitantes. En la ciudad de Mazatlán, la zona costera baja es particularmente vulnerable, con riesgo de erosión, intrusión salina y la posibilidad de que algunas zonas resulten inhabitables.
- Afectación de carreteras y puentes: El aumento del nivel del mar podría inundar carreteras y erosionar las bases de puentes, mientras que las fuertes precipitaciones podrían dañar infraestructuras críticas como autopistas, puertos y puentes.
- Impacto en la disponibilidad de agua: Los cambios en la precipitación, la reducción de caudales de ríos, podrían disminuir la disponibilidad de agua. El aumento de las temperaturas incrementará la demanda de agua en la ciudad y su entorno rural.

Sistema natural

El Cambio Climático se erige como un factor clave en la pérdida y degradación acelerada de los servicios ecosistémicos, esenciales para el bienestar humano. Estos servicios abarcan desde la producción de oxígeno y la captura de carbono, hasta la infiltración y almacenamiento de agua, y la protección contra inundaciones, especialmente en zonas costeras (ONU-Hábitat-Earthscan, 2011). La creciente urbanización de Mazatlán intensificará la demanda de espacio y recursos naturales, alterando los procesos ambientales que sustentan estos servicios ecosistémicos.

En Mazatlán, la pérdida de matorrales por el crecimiento urbano agudizará la vulnerabilidad de la ciudad. Estos ecosistemas actúan como barreras naturales contra

la erosión, estabilizan laderas, preservan la calidad del suelo y los recursos hídricos. Su función es crucial para la regulación del ciclo del agua, manteniendo la humedad ambiental y recargando acuíferos subterráneos, servicios vitales en un escenario de Cambio Climático con temperaturas en aumento y mayor evaporación.

La selva baja caducifolia, vegetación predominante en los alrededores de la zona urbana de Mazatlán, aún está presente en la periferia y en predios no intervenidos, esta se verá reducida por el avance urbano y los desarrollos turísticos y habitacionales, situación que ya ha empezado a ocurrir. La disminución de este ecosistema podría intensificar la vulnerabilidad del sistema natural, afectando las áreas de expansión urbana de Mazatlán. Se podrían perder servicios ecosistémicos fundamentales como la captura de carbono, la conservación de suelos y biodiversidad, la protección de riberas y la regulación climática. El Cambio Climático amenaza con exacerbar las condiciones de aridez y desertificación⁸.

A pesar de este panorama, existen experiencias valiosas de conservación de la selva baja caducifolia que deben promoverse y expandirse. Un ejemplo es Paco's Reserva, un área natural privada de 10 hectáreas (**Figura 105**) destinada voluntariamente a la conservación de este importante ecosistema. Este predio, con un valor de 80 millones de pesos, ya sufre la presión del desarrollo inmobiliario registrando conteos de biodiversidad menores que hace algunos años, esta presión del uso de suelo en Mazatlán destaca aún más que los impulsores de este proyecto priorizaron la recuperación de la selva baja caducifolia, y han demostrado que es posible un modelo de desarrollo más sostenible⁹.

Lo anterior destaca la importancia de actuar ahora para implementar medidas de adaptación que protejan el sistema natural de Mazatlán.

Sistema agropecuario

El sector productivo de Mazatlán más vulnerable ante el crecimiento urbano es el agropecuario. Dentro de este sistema, los pastizales y potreros serían los más afectados, con una pérdida potencial de 723 hectáreas, impactando negativamente la ganadería y la producción de forraje.

⁸ Disponible en: <https://cienciasnaturalesecosistemas.blogspot.com/p/selvas-secas.html>

⁹ Disponible en: <https://terceravia.mx/2022/05/pacos-reserva-el-desarrollo-inmobiliario-que-termino-siendo-un-santuario-de-especies-en-peligro/>

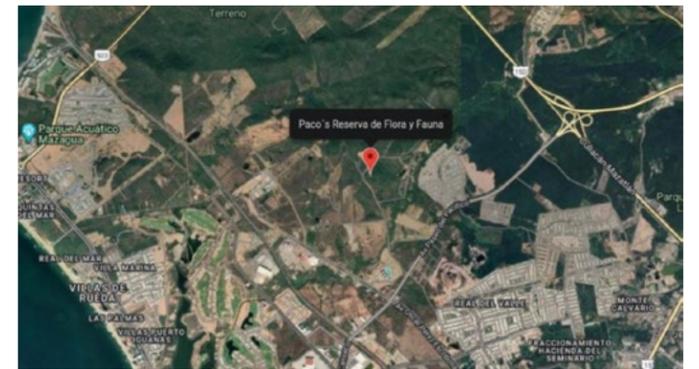


Figura 105. Ubicación de Paco's reserva. Fuente: Tomada de Google Maps, 2024.

La superficie destinada a cultivos también se reducirá en 217.6 hectáreas, afectando cultivos anuales, de riego y perennes, con posibles consecuencias para la producción de alimentos y los ingresos de los agricultores.

Es importante destacar que los sistemas agropecuarios que no se vean afectados directamente por el crecimiento urbano en 2030, también enfrentarán los efectos adversos del Cambio Climático, como cambios en los patrones de precipitación, aumento de temperaturas y eventos climáticos extremos. Estos impactos pueden disminuir la productividad, aumentar los costos de producción y afectar la rentabilidad de las actividades agropecuarias en general.

En efecto, la agricultura se reconoce como uno de los sectores más vulnerables ante el Cambio Climático, dada su alta sensibilidad a las variaciones de temperatura y a los regímenes de precipitación (Viguera *et al.*, 2017). Los modelos climáticos proyectan cambios significativos en las condiciones climáticas, incluyendo alteraciones en la temperatura y precipitación, así como un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías y huracanes. Estas modificaciones tendrán efectos sustanciales en el rendimiento y distribución de los cultivos, en la variación de precios, producción y consumo, además de impactar en el bienestar de los productores.

- Algunos efectos directos del Cambio Climático sobre la agricultura que se anticipan serían:
- Reducción de productividad y rendimiento asociados a menor disponibilidad de agua, incremento de la concentración de contaminantes, pérdida de humedad del suelo, etc.

- Impactos directos sobre las plantas y cosechas por efecto de los fenómenos extremos (huracanes, tormentas, etc.).
- Impacto sobre la fenología de la planta, manifestándose a través de floraciones erráticas, o cosechas discontinuas.
- Erosión y degradación de la tierra, sedimentación en cauces y reservorios de agua, desbordamientos, inundaciones, deslizamientos y derrumbes provocados por lluvias inesperadas, lluvias torrenciales y otros eventos extremos como huracanes.
- Incremento de la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos (incluidas las que afectan durante la post-cosecha y almacenamiento). Algunos hongos, insectos y virus se verán favorecidos por las nuevas condiciones climáticas, más calientes y de humedad variable y por el debilitamiento de los enemigos naturales, así como por la introducción de nuevos patógenos asociados a nuevas variedades.
- Reducción de polinizadores. La distribución y abundancia de polinizadores, esenciales para la producción de ciertos cultivos, podrán verse afectados por las nuevas condiciones climáticas, especialmente las abejas por condiciones de sequía y los cambios en la época de floración, sincronizada con las lluvias.

Como consecuencia de los impactos antes descritos se pueden esperar aumentos en los precios de los principales cultivos, tales como maíz, trigo y soja, lo que implicaría un aumento en los costos de la alimentación animal, esta situación podría tener efectos negativos en la dieta de los habitantes de la ciudad limitando el acceso a proteína de origen animal tal como lo anticipaba Nelson, G.C., *et. al.*, (2009) cuando indicaba que como consecuencia del Cambio Climático se podría reducir el acceso a la proteína animal y al consumo de cereales.

Sin embargo, el sector agropecuario también tiene un gran potencial para adaptarse a los impactos negativos del Cambio Climático.

Según Viguera, B., *et. al.* (2017) La selección de la estrategia de adaptación más adecuada dependerá de diversos factores a escala local, incluyendo las opciones disponibles, la tenencia de la tierra, el apoyo gubernamental, la información disponible, el interés del productor y los costos económicos asociados a la implementación de medidas de adaptación (como la reducción de ganancias y los costos adicionales derivados del cambio de variedades hasta que estas entran en producción). Las estrategias o planes de adaptación deberán ser diseñados a escala local, considerando el contexto social, económico y ecológico específico del sistema agropecuario de Mazatlán, los cambios esperados y los recursos disponibles, y deberán estar orientados hacia resultados a largo plazo.

Algunas de las medidas que se podrían implementar podrían ser: tecnificación del riego (incrementando incluso su eficiencia), uso de cultivos climáticamente resistentes, agricultura climáticamente inteligente y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), impulso a la conservación de los ecosistemas naturales, acciones de conservación de suelos en la cuenca, y ganadería regenerativa, entre otras.

Portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)

Las ciudades, como centros de actividad humana y económica, son particularmente vulnerables a los impactos del Cambio Climático. El aumento de las temperaturas, los eventos climáticos extremos y la escasez de agua, entre otros desafíos, ponen en riesgo la calidad de vida de sus habitantes y la sostenibilidad de su desarrollo.

La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), según PNUMA (s/f):

“Es una estrategia de adaptación al Cambio Climático que aprovecha las soluciones que se apoyan en la naturaleza y los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, la protección de los hábitats costeros, como los manglares, aporta defensas naturales contra las inundaciones; la reforestación puede contener la desertificación y reponer las reservas de agua subterránea en épocas de sequía; y las masas de agua, como los humedales, ríos y los lagos, proporcionan un drenaje natural para reducir las inundaciones”.

Por su parte, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se definen como:

“Las acciones dirigidas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible ecosistemas naturales o modificados, que hacen frente a retos de la sociedad de forma efectiva y adaptable, proporcionando simultáneamente bienestar humano y beneficios de la biodiversidad” (UICN, 2016).

Es así que se puede afirmar que tanto la AbE y las SbN pro-

tegen a las comunidades vulnerables de los fenómenos meteorológicos extremos, brindando resultados ventajosos para todos, y al mismo tiempo que proporcionan una serie de beneficios ecológicos imprescindibles para el bienestar humano como son el agua limpia y los alimentos. Aunque se trata principalmente de un enfoque de *adaptación*, también puede contribuir a la *mitigación* del Cambio Climático mediante la reducción de las emisiones que se producen a raíz de la pérdida de hábitats y la degradación de los ecosistemas.

Dado que la adaptación al Cambio Climático es un desafío multifactorial, las intervenciones de adaptación deben abordar tanto los impactos climáticos negativos actuales como ayudar a las personas a enfrentar el Cambio Climático futuro. En este sentido, la adaptación debe abordar diversas incertidumbres, como por ejemplo la incertidumbre científica sobre los cambios e impactos proyectados, especialmente a nivel local; la incertidumbre técnica sobre la eficacia de las medidas para abordar las vulnerabilidades identificadas ahora y en el futuro; la incertidumbre socioeconómica sobre los impactos y las opciones en los medios de vida y las capacidades necesarias para adaptarse; la incertidumbre política sobre los cambios estructurales e institucionales inmediatos y a largo plazo necesarios; y la incertidumbre financiera sobre la financiación y el sostenimiento del cambio a largo plazo. Sin embargo, es posible y necesario avanzar para afrontar el desafío de la adaptación a pesar de estas incertidumbres (PNUMA (s/f)).

Dado que la vulnerabilidad de las personas ante el Cambio Climático está directamente relacionada con su dependencia de los ecosistemas y los servicios que estos brindan, esta vulnerabilidad se agudiza cuando los ecosistemas se ven afectados por procesos de degradación, ya sean causados por el Cambio Climático o por otras actividades humanas.

Ante esta situación, las decisiones sobre cómo adaptarnos al Cambio Climático implican elegir entre dos tipos de medidas: 1) Medidas que protegen o se basan en los servicios de los ecosistemas: Estas medidas buscan fortalecer la capacidad de los ecosistemas para seguir brindando sus servicios, como la regulación del agua, la protección contra inundaciones o la provisión de alimentos, 2) Medidas que imitan o complementan las funciones de los ecosistemas: Estas medidas utilizan enfoques de ingeniería o soluciones híbridas para replicar o sustituir los servicios que los ecosistemas ya no pueden proporcionar de manera óptima.

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2000), “los beneficios de adaptación que brinda el trabajar con los ecosistemas incluyen:

- Amortiguar a las comunidades de los impactos directos del Cambio Climático o reducir el riesgo de que se produzcan.
- Garantizar que los servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades persistan y satisfagan sus necesidades a pesar de los impactos del Cambio Climático
- Apoyar los medios de vida existentes y la generación de ingresos a pesar de las pérdidas financieras relacionadas con el clima.
- Crear nuevas opciones de medios de vida para reemplazar a los amenazados por los impactos del Cambio Climático”.

Los distintos aspectos del Cambio Climático tienen numerosos impactos biofísicos, que pueden afectar directamente a los ecosistemas (lo que lleva a su degradación) y a las personas (causando la pérdida de vidas, bienes y producción). También pueden desencadenar impactos indirectos. La degradación de los ecosistemas inducida por el clima afecta la capacidad del ecosistema para proporcionar bienes y servicios, reduciendo su suministro disponible para las personas. Como resultado, además de sufrir daños directos por los impactos del Cambio Climático,

las personas también pueden sufrir escasez de bienes y servicios vitales que aportan los ecosistemas. La escasez puede significar que el uso y la gestión continuos de estos bienes y servicios pueden reducir aún más la capacidad de los ecosistemas para proporcionarlos, aumentando la vulnerabilidad de las personas al Cambio Climático.

Al mismo tiempo ocurren procesos de degradación no climática impulsados en última instancia por el crecimiento demográfico y los cambios en el uso del suelo y en el estilo de vida, así como otros factores de economía política y gobernanza que interactúan con los inducidos por el clima. Por un lado, la creciente demanda de tierras y otros recursos naturales conduce a una gestión y un uso insostenibles de los ecosistemas y de sus bienes y servicios, lo que provoca una mayor degradación de los mismos. Por otro lado, el crecimiento demográfico y los cambios en el estilo de vida conducen a una demanda creciente e insatisfecha de recursos naturales, lo que puede aumentar la pobreza y reducir el bienestar humano. Esto, a su vez, afecta a la demanda de bienes y servicios ecosistémicos por parte de las personas, lo que impulsa aún más el uso y la gestión insostenibles del ecosistema, degradándolo y reduciendo su capacidad para suministrar los bienes y servicios necesarios.

Ante este panorama, las Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) emergen como herramientas clave para fortalecer la resiliencia de las ciudades frente al Cambio Climático. Al aprovechar los servicios ecosistémicos que nos brinda la naturaleza, las SbN ofrecen una alternativa innovadora y efectiva para abordar los desafíos urbanos de manera integral.

Desde la creación de infraestructura verde que regula la temperatura y reduce el riesgo de inundaciones, hasta la restauración de ecosistemas que protegen contra la erosión costera y mejoran la calidad del aire, las SbN ofrecen una amplia gama de soluciones adaptadas a las necesidades específicas de cada ciudad.

Además de sus beneficios ambientales, las SbN también generan impactos positivos en la economía, la salud y el bienestar social de las comunidades urbanas. Al promover la creación de empleos verdes, mejorar la calidad del aire y ofrecer espacios de recreación y convivencia, las SbN contribuyen a construir ciudades más sostenibles, resilientes y equitativas.

El Portafolio de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se basa en diversas experiencias del grupo consultor, así como en las propuestas e intereses planteados por los ac-



tores locales que participaron a lo largo de este proceso y en el taller de presentación de resultados.

De acuerdo con PNUD (2025) se requieren Condiciones habilitadoras para la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), estas condiciones están enfocadas a mejorar el éxito de la implementación de las acciones propuestas en este portafolio de SbN.

Gobernanza. Se deben proponer acciones de fortalecimiento institucional, participación ciudadana y rendición de cuentas. Las SbN se implementan bajo una base de procesos de gobernanza inclusivos y transparentes donde se involucran los actores clave y se fortalecen los espacios de toma de decisiones:

- Garantizar que previo a la definición de las zonas de intervención (conservación, restauración o manejo sostenible) se difundan los resultados del estudio de vulnerabilidad y garantizar que se lleven a cabo consultas incluyentes con participación de las comunidades, para asegurar que se alineen con sus necesidades e intereses.
- Implementar procesos para fortalecer capacidades a partir de consultas que permitan identificar las necesidades e intereses de las comunidades para la implementación de la SbN, de manera que las poblaciones se vean beneficiadas y sean incluidas en el diseño e implementación de soluciones.

- Establecer estrategias de colaboración multisectoriales que vinculen instrumentos de política pública y programáticos de diversos sectores y aseguren una planeación territorial integral que integre los análisis de vulnerabilidad ante Cambio Climático y con enfoque de cuenca.
- Promover estrategias comunitarias de monitoreo de las acciones y de la gestión de riesgos.

Fortalecimiento de Capacidades. Se proponen acciones que fortalezcan las capacidades de todas las partes involucradas (comunidades, funcionarios públicos, estudiantes). Las SbN consideran las capacidades institucionales, políticas, financieras, técnicas y sociales necesarias para la implementación y sostenibilidad.

- Promover que el aporte del estudio de vulnerabilidad ante el Cambio Climático y la propuesta del Portafolio de Soluciones sea utilizado en la actualización/generación de Programas de Ordenamiento territorial y urbano, así como en los Programas de Ordenamiento Ecológicos estatales y municipales.
- Generar y fortalecer las capacidades técnicas de los distintos actores clave en el sector ambiental, en materia de gestión de riesgos, planeación con perspectiva climática y SbN.

g) Generar reglas de operación para mecanismos financieros ya existentes que prioricen el financiamiento de acciones con enfoque SbN sobre otros enfoques menos eficientes y más costosos.

h) Desarrollar mecanismos financieros multisectoriales.

i) Implementar programas de educación ambiental en escuelas de educación básica y media superior e involucrar a las autoridades educativas en la definición de temas prioritarios.

j) Fortalecer las capacidades de gestión del territorio a las comunidades, particularmente en negociación con múltiples actores y la resolución de conflictos.

Desarrollo económico. Se proponen acciones encaminadas a involucrar a los sectores productivos en el diseño e implementación de las SbN, que generen beneficios en la calidad de vida de las personas y favorezcan la generación de empleos. Las SbN generan mayor impacto sobre medios de vida al promover el desarrollo económico de la población donde integran incentivos y se aprovecha las oportunidades y co-beneficios.

k) Incluir acciones con enfoque SbN en proyectos productivos que mejoren las condiciones de vida de la población.

l) Generar estímulos económicos para el involucramiento de la población, visibilizando los beneficios de las SbN con transparencia y comunicación.

m) Fortalecer las capacidades de asociaciones de productores.

n) Generar alianzas con las cámaras empresariales y el sector privado en general.

o) Promover esquemas de economía circular que permitan generar empleos y disminuir el impacto en los ecosistemas.

Género e interculturalidad. Se proponen acciones que promueven el enfoque de género y de pertinencia cultural para asegurar la sostenibilidad de las acciones y la participación incluyente en las diferentes estrategias para la adaptación al Cambio Climático y la resiliencia hídrica y urbana. Las SbN se implementan bajo un enfoque de equidad donde se defiende los derechos de las personas logrando disminuir las brechas sociales, contribuir al empoderamiento de las mujeres y asegurando la integración de la diversidad étnica y cultural.

p) Planear las actividades con perspectivas de género y pertinencia cultural, considerando los horarios y días adecuados para mujeres y representantes de pueblos originarios.

q) Integrar los saberes ancestrales sobre el cuidado del medio ambiente y la seguridad hídrica.

r) Diseñar programas de inversión en actividades productivas con perspectiva de género e interculturalidad.

s) Implementar acciones específicas dirigidas exclusivamente para las mujeres y otros grupos vulnerados y excluidos.

t) Asegurar que las mujeres y otros grupos vulnerados sean receptores de beneficios derivados de la implementación de acciones SbN.

u) Diseñar y evaluar los proyectos desde una perspectiva de género, con el apoyo de personas expertas en la materia.

v) Identificar capacidades y necesidades de las mujeres y grupos vulnerables, para establecer acciones género responsivas que las atiendan.

x) Garantizar la representación en consejos, comités, juntas y otros organismos de participación.

y) Involucrar a las mujeres en las acciones de implementación de las acciones en territorio, así como en las tareas de inspección, vigilancia y monitoreo.

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Inestabilidad de laderas, derrumbes, deslaves y erosión asociados a eventos hidrometeorológicos extremos.	Estabilización de laderas con Bioingeniería y enfoque Miyawaki.	<p>Reducir la erosión del suelo: mediante los sistemas radiculares de las plantas que pueden proveer una clase de red que mantiene el suelo junto (Sanchez-Castillo, 2023).</p> <p>Reducción de costos económicos en el tratamiento de erosión y desplazamientos de ladera y facilitar la recuperación de los servicios ecosistémicos a un muy bajo costo (Mickovski, S; Hallet, P; Bransby, M; Davies, M; Sonnenberg, R; Bengough, 2009)</p> <p>Regulación Regulación de la erosión y deslizamiento de laderas. Moderación del impacto de los eventos extremos</p> <p>Aprovisionamiento Recarga de agua Si se considera la siembra de especies frutales, puede proporcionar alimentos orgánicos.</p> <p>Culturales Belleza escénica Recreación y ecoturismo</p> <p>Sostenimiento Formación de suelo Ciclo de nutrientes Fotosíntesis</p>	<p>Por unidad de área (m²)</p> <p>201.2 USD (Angón, S., 2024)</p>	<p>En laderas identificadas como sujetas a peligro de inestabilidad (derrumbes, deslaves, erosión).</p> <p>Se utiliza para estabilizar grandes superficies sujetas a la acción erosiva del viento y agua.</p> <p>Se puede utilizar en pendientes abruptas debido a que por su forma de implementación el talud se secciona en terrazas.</p>	<p>La selección del sitio requiere una caracterización físico-geográfica para conocer las particularidades del área, incluyendo un mapa de curvas de nivel lo más preciso posible</p> <p>Un mapa de pendientes y su orientación para determinar hacia donde escurre el agua y verificar la exposición a la humedad y a la luz solar para elegir la paleta vegetal.</p> <p>Diagnóstico de las propiedades físicas y químicas del suelo.</p>	<p>Número de veces que los ecosistemas restaurados reducen la inundación por desborde de ríos (N°).</p> <p>Resistencia a la penetración de las capas superficiales (Kg/cm²)</p> <p>Costos evitados debidos a la implementación de la medida (USD).</p>

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Inundación por desborde de ríos urbanos y erosión de cauces.	Parques lineales basados en naturaleza: Empalizada viva de madera Revegetación y estabilización de laderas. Ciclovía permeable (Angón, S. 2024)	Estabilizar y proteger los bordes del río urbano mediante su revegetación. Evitar el azolve del cauce y mantener las condiciones para un flujo adecuado de agua para prevenir inundaciones, en condiciones climáticas normales y ante eventos hidrometeorológicos y de calor extremos. Restaurar el hábitat ripario promoviendo la restauración del germoplasma nativo y la sucesión natural de especies que ayudan a proteger a la población ante los desbordos del río e inundaciones. Embellecer espacios para que sirvan como zonas recreacionales. La planificación y gestión adecuada de los espacios riparios favorece ampliamente el paisaje y la belleza escénica Regulación Regulación de la erosión y el azolve del cuerpo de agua. Regulación del microclima. Incremento en la evapotranspiración. Regulación de la calidad del aire mediante la absorción de partículas PM10 y PM2.5 por medio de la vegetación (Steinparzer et al., 2023) Aprovisionamiento Agua potable mediante la infiltración Alimentos (cuando se incluyen especies aromáticas y frutales) Culturales Belleza escénica Espacios para la educación ambiental Soporte Formación de suelo Ciclo de nutrientes Fotosíntesis	Por unidad de área (m²) Empalizada viva de madera: 149.27 USD Revegetación y estabilización de ladera: 63.7 USD Ciclovía Permeable 89.04 USD (Angón, S. 2024)	Cuando se requiere: Estabilizar y proteger los bordes de ríos en zonas vulnerables ante inundaciones. Evitar el azolve del cauce, manteniendo las condiciones para un flujo adecuado de agua.	Empalizada viva de madera Caracterización físico-geográfica para conocer las características del talud y el suelo, para evaluar el nivel de deterioro y erosión. Revegetación y estabilización de laderas Caracterización físico-geográfica del área y establecer una línea base de la composición biológica, estado, tipos de suelo, nivel de deterioro del ecosistema ripario y diseño de la intervención utilizando microtopografía y diámetros máximos de copa para seguridad cuando los árboles tengan su máximo desarrollo. Ciclovía Permeable Proyecto ejecutivo, incluye levantamiento topográfico, cálculos y planos de ingeniería.	Porcentaje de rebrote de la empalizada viva en el margen del cauce (%). Porcentaje de compactación que se mejora debido al sistema radicular de las especies utilizadas para la revegetación comparado con superficies no intervenidas (%). Cantidad de agua que puede desalojar un metro cuadrado de concreto permeable (mm/hora). Mejora en la plusvalía de las propiedades próximas al sitio de intervención una vez la medida se ha establecida (%).

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Inundación en zonas urbanas Isla de calor	Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS): Jardines de microcuenca urbana para el control de inundaciones (Angón, S. 2024)	Crear ciudades más respetuosas con el ciclo natural del agua mediante sistemas que reduzcan la impermeabilización a base de espacios verdes con más naturaleza y biodiversidad que faciliten la infiltración del agua de lluvia. Captar agua de lluvia en el sitio donde se precipita mediante el uso de materiales filtrantes (superficies porosas, agregados granulares, galerías filtrantes, etc). Reducir la escorrentía pluvial en las ciudades (agua de lluvia que no se absorbe en el terreno), mediante la infiltración en jardines, o puede almacenarse en tanques para su posterior uso en el riego. Impulsar el reúso del agua como un recurso que tiene valor, que se capta y gestiona de manera sustentable y que permite aprovecharla en los espacios verdes, usos paisajísticos como cursos de agua o fuentes y en última instancia la recarga de acuíferos, etc. Regulación y soporte Regulación del agua de lluvia. Infiltración y recarga de acuíferos. Regulación del microclima. Reducción de la isla de calor urbano. Captura de contaminantes mediante la vegetación como partículas PM10 y PM2.5. Proceso de fotosíntesis Culturales Belleza escénica Provee espacios para la educación ambiental Aprovisionamiento: Agua de calidad para consumo en riesgo	USD 200 / m² CityAdapt 2023.	En zonas urbanas vulnerables a la inundación En vialidades que frecuentemente se inundan debido a la impermeabilización del suelo. En áreas verdes urbanas sujetas a inundación.	Jardines de microcuenca: Identificación del sitio: elegir una superficie con pendiente (entre 0 y 2 grados), suelo con alta capacidad de infiltración. Levantamiento con georradar para evitar daños a la infraestructura subterránea. Diseño del sistema de filtros para la sustitución de suelo por agregados granulares para que sirva de drenaje y almacenamiento temporal del agua que se infiltrar en el terreno. Paleta vegetal adecuada que se sembrarán con método Miyawaki.	Volumen de agua infiltrada (m³) Potencial de captación de agua del jardín infiltrante (m³) Número y tipo de especies de fauna que se benefician con la presencia de la diversidad de especies vegetales en los jardines de infiltración (Número y tipo). Disminución de la temperatura en el interior del jardín infiltrante (°C).

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Estrés hídrico por cambios en los patrones de lluvia.	Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)	Captar y almacenar el agua de lluvia para su uso durante época de sequías, reduciendo la demanda de agua a los cuerpos de agua de los que se abastece la ciudad.	Habilitar un SCALL con almacenamiento en un tanque de 2,500 litros de capacidad y una superficie de captación de 50 a 100 m ² , suficiente para proporcionar agua de lluvia a una familia de 3 integrantes durante cinco días, con una dotación de 150 litros/hab/día.	Colonias urbanas con problemas de abastecimiento de agua.	Financiamiento accesible para la población.	Cantidad de agua recolectada por el sistema (m ³)
Inundación	Los SCALL pueden integrarse con otras soluciones para una mejor gestión del recurso hídrico en la ciudad:	Promover la seguridad hídrica. Disminuir la cantidad de agua que corre por las superficies urbanas, reduciendo el riesgo de inundación y la erosión del suelo.	Precio unitario: 1519.5 USD	Se utiliza en ámbitos urbanos, en casas habitación y edificios públicos (escuelas, oficinas de gobierno, estacionamientos techados, etc.)	Para su instalación se requiere: contar con el material necesario, el recurso humano capacitado y las condiciones ambientales para la instalación.	Número de personas que mejoran su higiene por efecto de la implementación del SCALL (Personas).
Sequía	Jardines infiltrantes. Parques lineales. Concretos permeables (Angón, S. 2024)	Utilizar el agua de lluvia para riego, limpieza y otras aplicaciones no potables. Gestionar de manera efectiva el agua pluvial en áreas urbanas para evitar problemas relacionados con la saturación de drenajes y alcantarillas.	(Angón, S., 2024)	Requiere de mantenimiento, sistema de filtros y otros componentes.		Calidad del agua: Características fisicoquímicas del agua, olor, sabor, turbiedad, ph y sólidos disueltos presentes en el agua (de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021)
		Aprovisionamiento Abastecimiento de agua.				
		Regulación Control de inundaciones. Mejora la calidad del agua. Regulación del ciclo hidrológico.				
		Culturales Educación ambiental. Bienestar social.				
		Sostenimiento Ciclo del agua. Recarga de acuíferos.				

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Islas de calor urbanas	Bosques de bolsillo urbanos Sistema Miyawaki (Angón, S. 2024)	La presencia de arbolado urbano disminuye las olas de calor al proporcionar sombra y reducir la temperatura superficial. La vegetación urbana actúa como un filtro natural que captura y absorbe contaminantes atmosféricos mejorando la calidad del aire. Las áreas verdes funcionan como corredores ecológicos que facilitan la conectividad entre ecosistemas. La restauración ayuda a conservar especies nativas y/o clave para la provisión de servicios ecosistémicos. Las plantas capturan y reciclan nutrientes del suelo, manteniendo su fertilidad y apoyando la salud del ecosistema. Reducir el riesgo de inundaciones al gestionar el volumen y la velocidad del agua de lluvia y controlar la erosión del suelo. Mejorar el paisaje urbano. Incrementar la resiliencia frente a eventos hidrometeorológicos extremos.	81.2 USD por m ² (Angón, S., 2024)	Zonas urbanas con ausencia de arbolado urbano. La restauración ecológica asistida por el método establecido por Miyawaki (1999) considera aspectos como: (i) la selección de especies nativas, (ii) la plantación a altas densidades, (iii) la mejora del suelo con materia orgánica y microorganismos, y (iv) la creación de estratos escalonados (herbáceas, arbustos y árboles). Debido a la alta densidad de plantas sembradas, el método puede acelerar hasta diez veces el crecimiento de las especies y el desarrollo de sistemas radiculares más profundos, lo que beneficia la disminución inmediata de las olas de calor y favorece a la infiltración de agua al suelo.	Identificar zonas urbanas con temperaturas más altas como efecto de la ausencia de arbolado. Diagnóstico del sitio, que incluye caracterización físico-geográfica del área, con curvas de nivel Mapa de pendientes y su orientación para determinar la dirección de las escorrentías de agua, la exposición a la humedad y a la luz solar. Caracterización de la infraestructura urbana para evitar daños. Diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Limpieza del espacio. Selección de la paleta vegetal.	Porcentaje de prendimiento de los especímenes sembrados (%). Mejora en la temperatura de la isla de calor por efecto del bosque de bolsillo (°C). Costos evitados por el muy poco mantenimiento requerido de un bosque de bolsillo en oposición de la jardinería tradicional (césped-flores) (USD).
		Aprovisionamiento Alimentos que derivan de frutales y comestibles. Materias primas (madera, fibras y plantas medicinales). Captación de agua y recarga de acuíferos y otros cuerpos de agua.				
		Regulación Regulación del clima y el tiempo. Captura y almacenamiento de carbono. Remoción de contaminantes del aire. Control de la erosión. Control de escorrentías superficiales e inundaciones. Infiltración del agua. Control del ruido.				
		Culturales Recreación y esparcimiento. Educación ambiental. Belleza escénica. Bienestar social. Especies de importancia cultural. Sitios de importancia cultural.				
		Sostenimiento Ciclo de nutrientes. Hábitat para la diversidad. Polinización. Formación y estabilidad del suelo. Ciclo del agua.				

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo	
Marea de tormenta Inundación por elevación del mar Erosión costera	a. Regeneración natural de manglares b. Restauración de manglares	<p>Proteger a las personas y sus bienes mediante la recuperación de la estructura y función del ecosistema de manglar ante los eventos hidrometeorológicos extremos (tormentas y huracanes).</p> <p>Promover la recuperación de las funciones ambientales mediante la restauración de los manglares, que además apoyen la colonización de los sitios restaurados por diferentes grupos taxonómicos y funcionales de aves (Echeverría-Ávila et al., 2019)</p> <p>Fortalecer la resiliencia del ecosistema manglar por medio de la restauración y la conectividad ecológica y apoyar en la reducción de la vulnerabilidad de las comunidades (CONANP, 2020).</p> <p>Regulación Protección contra fenómenos hidrometeorológicos extremos (Dahdouh-Guebas, F; Jayatissa, L; Di Nitto, 2005) Regulación hídrica y de contaminantes (Wolansky, E; Boorman, L.A; Chicharo, 2004)</p> <p>Aprovisionamiento Provisión alimento para distintas especies y comunidades.</p> <p>Sostenimiento Soporte a pesquerías locales (Jennerjahn & Ittekkot, 2002) Hábitat para distintas especies de plantas, animales y comunidades humanas (Beeston, M; Cameron, C; Haager, V; Howard, J; Lovelock, C; Sippo, J; TOnneijk, F; Van-Bijsterveldt, C; Van-Eijk, 2023; Walters et al., 2008) Culturales: Salud y belleza escénica.</p> <p>Regulación Protección contra fenómenos hidrometeorológicos extremos (Dahdouh-Guebas, F; Jayatissa, L; Di Nitto, 2005) Regulación hídrica y de contaminantes (Wolansky, E; Boorman, L.A; Chicharo, 2004) Aprovisionamiento Provisión alimento para distintas especies y comunidades.</p> <p>Sostenimiento Soporte a pesquerías locales (Jennerjahn & Ittekkot, 2002) Hábitat para distintas especies de plantas, animales y comunidades humanas (Beeston, M; Cameron, C; Haager, V; Howard, J; Lovelock, C; Sippo, J; TOnneijk, F; Van-Bijsterveldt, C; Van-Eijk, 2023; Walters et al., 2008)</p> <p>Culturales Salud y belleza escénica.</p>	<p>Dependen principalmente de la mano de obra local. Restaurar un kilómetro de costa con una cortina de 100 m de ancho puede costar 10,000 USD con mano de obra voluntaria.</p> <p>Precio unitario por hectárea Beeston et al. (2023). \$1,360.54 USD</p>	<p>Tipo a: nivel de degradación limitado.</p> <p>Tipo b: Pérdida completa de los bosques de mangle preexistentes o degradación severa (mas allá de la auto-reparación).</p>	<p>Identificación de causas de la perturbación y grado de exposición ante inundación por marea de tormenta o elevación del mar.</p> <p>Acciones de dragado de acceso y los centros de dispersión natural de sedimentos.</p> <p>Determinación de variables hidrológicas, batimetría e hidro periodo.</p> <p>Variables de la biogeoquímica del manglar para determinar el consumo y disponibilidad de nutrientes.</p> <p>Análisis de variables fisicoquímicas. Análisis de variables del suelo.</p> <p>Condiciones ecológicas adecuadas. Disponibilidad de terreno, plántulas, conocimientos técnicos para la evaluación y la implementación.</p>	<p>Identificación de causas de la perturbación y grado de exposición ante inundación por marea de tormenta o elevación del mar.</p> <p>Acciones de dragado de acceso y los centros de dispersión natural de sedimentos.</p> <p>Determinación de variables hidrológicas, batimetría e hidro periodo.</p> <p>Variables de la biogeoquímica del manglar para determinar el consumo y disponibilidad de nutrientes.</p> <p>Análisis de variables fisicoquímicas. Análisis de variables del suelo.</p> <p>Condiciones ecológicas adecuadas. Disponibilidad de terreno, plántulas, conocimientos técnicos para la evaluación y la implementación.</p>	<p>Propiedades físico químicas</p> <p>Salinidad, Temperatura, pH</p> <p>Redox, sulfuros</p> <p>De acuerdo con EPA</p> <p>Methods for Chemical Analysis of water and Wastes y ASTM D Test Methods</p> <p>Riqueza altura, diámetro densidad del área basal</p> <p>(m / ind ha⁻¹ / DAP)</p> <p>Mejora en los medios de vida de las personas que participan en la implementación de la medida (USD).</p> <p>Costos de inundación por marea de tormenta evitados por efectos de los manglares restaurados (USD).</p>

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Marea de tormenta Inundación costera	<p>Conservación-Restauración de dunas costeras</p> <p>The Nature Conservancy. 2021.</p>	<p>Las dunas costeras actúan y sirven como obstáculos a las corrientes del viento, disminuyendo su velocidad, y produciendo una mayor acumulación de sedimentos, así las dunas crecen e impiden que la salinidad y la arena se internen tierra adentro, ayudando también a prevenir la erosión que es propiciada por las tormentas y huracanes. Actúan también como zonas de filtración de agua de lluvia hacia el subsuelo, ayudando a mantener su buena calidad.</p> <p>De Protección: atenuación de olas y marejadas ciclónicas, absorbe los vientos, atrapa la arena, reduce la erosión, funciona como amortiguador para las estructuras hacia tierra.</p> <p>Económicos Protección para las zonas de playa - turismo.</p> <p>Medioambientales Hábitat de vida silvestre, diversidad de vegetación, protección de la zona natural de tierra.</p>	<p>Bajo si solo implica el desbroce y alguna replantación: 22 a 30 USD/m</p> <p>Alto si incluye equipos de movimiento de tierras y la reposición de arena Hasta 3,500 USD/m²</p>	<p>Sistema de dunas existente que necesita ser conservado.</p> <p>Sistema de dunas existente que necesita ser rehabilitado.</p> <p>Sistema de dunas dañado por tormentas o acciones humanas.</p>	<p>Identificación del sitio en función del grado de vulnerabilidad de las dunas a intervenir.</p> <p>Apoyo técnico especializado</p> <p>Acceso a las especies vegetales requeridas.</p>	<p>Porcentaje de prendimiento de la vegetación de duna un año después de la implementación de la medida (%).</p> <p>Volumen de arena desplazado por efecto del viento respecto a antes de la implementación de la medida (m³).</p>

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Inundación costera	<p>Conservación de pantanos, humedales costeros y marismas</p> <p>Restauración de pantanos, humedales costeros y marismas</p> <p>The Nature Conservancy. 2021.</p>	<p>Los humedales son ecosistemas estratégicos para la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades. Algunos de sus beneficios son la regulación y protección de inundaciones, tormentas y huracanes; el almacenamiento de agua y la recarga de mantos acuíferos; el mejoramiento de la calidad del agua; la estabilización de suelos y prevención de deslaves; así como la regulación del clima y el almacenamiento de carbono.</p> <p>De protección Atenuación de olas, retención de aguas de inundación, retención de la velocidad del viento, retención de sedimentos.</p> <p>Económicos: espacio recreativo, viveros de peces, crustáceos y moluscos, turismo.</p> <p>Medioambientales Captura de carbono, hábitat de vida silvestre, criaderos de peces, crustáceos y moluscos, reciclaje de nutrientes.</p>		<p>Marismas o pantanos existentes degradados, intactos o parcialmente degradados.</p>	<p>Apoyo técnico: equipos multidisciplinarios de ingenieros, ecólogos de humedales, biólogos.</p> <p>Acceso a los equipos y a las especies vegetales.</p>	<p>Propiedades físicoquímicas Salinidad, Temperatura, pH Redox, sulfuros De acuerdo con EPA Methods for Chemical Analysis of water and Wastes y ASTM D Test Methods</p> <p>Porcentaje de prendimiento de la vegetación propia de humedal (%).</p> <p>Costos de inundación por marea de tormenta evitados por la implementación de la medida (USD).</p>

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Estrés hídrico en zonas de actividad agrícola	Agricultura regenerativa PNUD. 2015	Las prácticas regenerativas mejoran la fertilidad y estructura de los suelos al evitar su perturbación excesiva, fomentar la cobertura vegetal y aportar materia orgánica, se crean condiciones ideales para la vida microbiana del suelo, que es clave para liberar nutrientes de forma natural. Además, los suelos regenerados tienen una mayor capacidad de captación y retención de agua, lo que los hace más resistentes a sequías y otros efectos del Cambio Climático. La biodiversidad también se ve incrementada, tanto sobre la superficie como bajo tierra con más microorganismos y artrópodos beneficiosos. Los suelos sanos y ricos en materia orgánica actúan como sumideros de carbono, secuestrando CO2 de la atmósfera y contribuyendo a mitigar el calentamiento global. Reducción del consumo de agua en zonas ya destinadas a la actividad agrícola. Transición a variedades con menor requerimiento hídrico. Implementación de variedades que se adapten a las diferentes disponibilidades de agua, así como adopción de prácticas agrícolas que eviten o minimicen al estar expuestas a situaciones de falta de agua.	El costo mínimo es de \$1,400 USD / ha, considerando actividades para preparación de terreno, siembra, control de plagas, malezas, y cosecha	En terrenos agrícolas sometidos a escasez de agua, pérdida de fertilidad del suelo por sobreexplotación y erosión.	Acuerdos previos con los propietarios o ejidatarios. Apoyo técnico especializado Acceso a las especies adaptadas a las condiciones	Disminución en la evapotranspiración por efectos de la implementación del acolchado con materia orgánica y el establecimiento de cultivos de cobertura (mm/día). Incremento en el rendimiento de los cultivos en superficies bajo manejo de agricultura regenerativa (ton / ha / ciclo de cultivo). Costos evitados por disminución en las labores agrícolas respecto a campos de cultivo con manejo extensivo (USD).

Peligro	Soluciones	Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	Costos (USD)	Indicaciones (cuando usarlo)	Requisitos previos	Ejemplo de indicadores para monitoreo
Erosión hídrica y eólica	Construcción de tinas ciegas, zanjas, curvas de nivel y zanjas / bordo de infiltración PNUD. 2015	Ayuda a reducir la velocidad de los escurrimientos. Promueve la infiltración de agua a la recarga de acuíferos superficiales. Aporta humedad a los ecosistemas. Permite el desarrollo de cultivos. Constituyen sitios de hidratación para la fauna. Favorece el desarrollo de suelo.	Bajo si solo implica el desbroce y alguna replantación: 22 a 30 USD/m Alto si incluye equipos de movimiento de tierras y la reposición de arena Hasta 3,500 USD/m ²	Sistema de dunas existente que necesita ser conservado. Sistema de dunas existente que necesita ser rehabilitado. Sistema de dunas dañado por tormentas o acciones humanas.	Identificación del sitio en función del grado de vulnerabilidad de las dunas a intervenir. Apoyo técnico especializado Acceso a las especies vegetales requeridas.	Porcentaje de prendimiento de la vegetación de duna un año después de la implementación de la medida (%). Volumen de arena desplazado por efecto del viento respecto a antes de la implementación de la medida (m ³).

6.1. Ejemplo de diseño de una SbN adaptada al contexto de la ciudad de Mazatlán Sinaloa

Parque lineal basado en Naturaleza

Los esteros son ecosistemas de gran importancia para la biodiversidad, ya que en estos habitan gran cantidad de aves, mamíferos, reptiles, anfibios, peces e insectos, además de numerosas especies de plantas (Pachon, A., Prada, D. 2013). Los esteros juegan un papel importante para las comunidades locales por que proveen ciertos beneficios como son: suministro de agua, árboles, sitios de pesca, además de que ayudan a regular el microclima local y capturan carbono.

La ciudad de Mazatlán enfrenta diversos desafíos en relación con sus ríos y esteros urbanos, que durante años han seguido un patrón de deterioro en los que la contaminación de sus cauces se ha hecho evidente, además el propio proceso de urbanización ha ido acotando sus cauces, situación que se presenta en las zonas más vulnerables de la ciudad (**Figura 106**) donde pueden apreciarse los polígonos en color rojo que agrupan a personas con vulnerabilidad Muy Alta y polígonos en color naranja con categoría de vulnerabilidad Alta, principalmente ante peligros relacionados con el clima, en este caso la inundaciones de tipo pluvial, fluvial y por marea de tormenta.



Figura 106. Zonas de alta vulnerabilidad a lo largo del cauce del estero El Infiernillo. **Fuente:** Pares, A.C.

Para enfrentar estos desafíos, la ciudad de Mazatlán ha iniciado con el diseño de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que permitan a las personas ayudar a mitigar los efectos negativos del Cambio Climático; entre las medidas que se identificaron se encuentran los parques lineales, que son zonas verdes alargadas y estrechas que suelen estar situadas en grandes avenidas o en la margen de ríos y/o esteros urbanos. Los parques lineales pueden ser una solución a la falta de espacios de ocio en las ciudades, pero también pueden ser el medio por el cual se canalicen inversiones enfocadas a la incorporación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en los contextos urbanos.

En ese contexto se requiere abordar un proyecto de parques lineales para que prioricen a las SbN como primeras opciones para enfrentar de mejor forma los efectos del Cambio Climático, que ayuden a naturalizar a la ciudad, que devuelvan a los ecosistemas riparios sus funciones como: la protección ante los desbordes, canalización del agua de lluvia fuera de la ciudad para evitar inundaciones y ser espacios naturales y seguros para la población, entre otras.

Los parques lineales pueden formar parte de una estrategia de adaptación al Cambio Climático más amplia, si se utilizan como medio para facilitar que los procesos socioecológicos ocurran y continúen una vez que se restablezca el hábitat ripario (Norris, 2001). En este protocolo nos centraremos en algunas opciones que pueden complementar la restauración ecológica de ríos urbanos como la revegetación y estabilización de la ribera de los ríos (Ramírez-Soto *et al.*, 2021) y algunas soluciones que integran infraestructura verde y gris como las ciclovías.

Objetivo del Parque lineal basado en naturaleza en Mazatlán

- Priorizar e integrar a las SbN para responder ante los desafíos climáticos en el ambiente urbano.

Utilizar las SbN para:

- Evitar el azolve del cauce y mantener las condiciones para un flujo adecuado de agua para evitar inundaciones, en condiciones climáticas normales y ante eventos hidrometeorológicos y de calor extremos.
- Restaurar el hábitat ripario promoviendo la restauración del germoplasma nativo y la sucesión natural de especies que ayudan a proteger a la población ante los desbordes del río e inundaciones.

- Embellecer espacios para que sirvan como zonas recreacionales. La planificación y gestión adecuada de los espacios riparios favorece ampliamente el paisaje y la belleza escénica (**Figura 107**).

Figura 107. Distintos aspectos de la intervención propuesta.
Fuente: Angón, S. (2024)



Impacto climático	Impacto no climático
Inundación por desborde de ríos	Impactos económicos debidos a inundaciones y deslaves.
Erosión de cauces	Fomento a la organización comunitaria alrededor de la restauración de los ríos.
Pérdida de suelo y biodiversidad	Incremento en la plusvalía de las viviendas y edificios próximos a los espacios restaurados.
Deslaves	Impactos en la salud mediante la reducción de la incidencia de enfermedades gastrointestinales
Isla de calor urbano	Mejoramiento de la movilidad peatonal.

Cuadro 65. Impactos atendidos que atiende la medida.
Fuente: (Mokondoko, 2016; Ramírez-Soto et al., 2021).

Servicios ecosistémicos que puede apoyar la medida

Los parques lineales basados en naturaleza pueden proveer múltiples servicios ecosistémicos.

Regulación:

- Regulación de la erosión
- Regulación del microclima
- Incremento en la evapotranspiración
- Regulación de la calidad del aire mediante la absorción de partículas PM10 y PM 2.5 por medio de la vegetación (Steinparzer et al., 2023)
- Polinización

Aprovisionamiento:

- Agua potable mediante la infiltración
- Alimentos (cuando se incluyen especies aromáticas y frutales)

Culturales

- Belleza escénica
- Espacios para la educación ambiental

SopORTE:

- Formación de suelo
- Ciclo de nutrientes
- Fotosíntesis

Beneficios y Co-beneficios

Los parques lineales basados en naturaleza pueden ofrecer múltiples beneficios.

Sociales:

- Los ecosistemas restaurados mejoran la recreación, la movilidad y la calidad de vida de la población y tienen más oportunidades de mantenerse en el tiempo cuando forman parte de un proyecto de adaptación más grande como los parques lineales.
- Los parques lineales basados en naturaleza tienen importantes beneficios para los grupos vulnerables (mujeres, infancias y adultos mayores) al disminuir la exposición ante eventos extremos como inundaciones e islas de calor.

Económicos:

- Los ecosistemas restaurados ofrecen una barrera natural al desborde de ríos y propician la canalización eficiente del agua ante eventos hidrometeorológicos extremos como las tormentas, y evitan costos asociados a inundaciones.
- Los espacios urbanos restaurados ofrecen alta plusvalía a las viviendas y edificios próximos.

- Los ecosistemas limpios, pueden ayudar a disminuir los costos en la salud de las personas.
- Los ecosistemas restaurados pueden ayudar a simplificar e incluso disminuir costos de construcción de drenajes y canalizaciones.

Ambientales:

- Protege y mejora la calidad del agua y la biodiversidad.
- Mantiene y restaura el flujo natural del agua.
- Permite la recarga de acuíferos.
- Ayuda al control de la erosión.

Criterios técnicos

- Existen distintas SbN que apoyan la restauración de los ecosistemas riparios urbanos y periurbanos, estas tienen beneficios como los que se destacan en el **Cuadro 66**. En este protocolo nos enfocaremos en dos SbN que utilizan materiales locales y de bajo costo, que pueden implementarse en forma aislada o en conjunto para acelerar la restauración de los ríos urbanos, y una solución que integra infraestructura gris e infraestructura verde.

Cuadro 66. Técnicas de restauración de cauces de ríos y esteros.
Fuente: Pares, A.C.

Tipo de medida	Tipo de medida	Impacto no climático
SbN	Revegetación y estabilización de laderas de ríos	Esta solución se basa en la restauración de la vegetación riparia para evitar procesos erosivos y arrastre de sedimentos al río así como contaminantes, además ofrece una alta capacidad de amortiguamiento contra crecidas e inundaciones y favorece la calidad del agua (Ramírez-Soto et al., 2021)
Híbrida	Ciclovías permeables	Las ciclovías permeables son una solución de ingeniería urbana que integra infraestructura verde y gris, se trata de un espacio exclusivo para el uso de bicicletas en calles y avenidas que utiliza en su construcción elementos permeables que facilitan la infiltración de agua; tiene múltiples ventajas en la salud de las personas, ofrece movilidad urbana recreativa y como medio de transporte (Fundación Chile et al., 2024), además suele ser una de las soluciones preferidas cuando se piensa en parques lineales basados en naturaleza.

Plazo para resultados - Integración con otras medidas

Las soluciones objeto de este protocolo son una técnica mixta que pueden utilizarse solas o en conjunto son totalmente complementarias y tienen tiempos distintos que se indican en el **Cuadro 67**.

Cuadro 67. Plazo para obtener resultados.
Fuente: Pares, A.C.

Tipo de medida	Tipo de medida	Impacto no climático
SbN	Empalizada viva de madera	Esta solución mixta de estabilización de taludes y márgenes de ríos tiene alto potencial para la contención de las capas superficiales de suelos inestables y evitar el transporte de sedimentos al cauce (Helgard, 2007)
	Revegetación y estabilización de laderas de ríos	Se trata de una solución mixta que puede dividirse en 4 tiempos; en el caso de los estratos vegetales pueden empezar a proporcionar servicios ecosistémicos en forma proporcional a partir del segundo mes de sembrados. <ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño e implementación en promedio, puede tomar de 4 a 5 meses (CityAdapt, 2023) 2. Establecimiento de especies aromáticas y de porte bajo como arbustos y plantas medicinales, 2 meses 3. estrato pastos de sistema radicular profundo y agaváceas y cactáceas 3-4 meses, y 4. el estrato de plantas pioneras (árboles de porte grande) demoran más de 2 años. (Ramírez-Soto et al., 2021)
Híbrida	Ciclovías permeables	El tiempo de ejecución de las ciclovías permeables depende de su longitud, pero en promedio se pueden estimar tiempos entre 10 a 24 meses como fue el caso de la ciclovía del parque lineal Yaqué del Norte, incluye diseño, y construcción, las ciclovías pueden ofrecer utilidad y servicio desde el primer día y conectan espacios verdes, sanos y pueden también ayudar a que las SbN se integren y mantengan en el tiempo.

Lugar y escala de aplicación

La iniciativa propuesta que se identificó en el taller de presentación de resultados de este análisis se ubica en la parte norte del estero El Infiernillo; tiene como punto de inicio la carretera internacional México 15 y bordea lo que parece ser un polígono industrial que colinda con la margen del estero. La propuesta tiene una longitud de 1.6 Km lineales (polígono marcado en verde) y pretende mejorar las condiciones de usabilidad de esa parte del estero aprovechando

la vegetación natural, e implementando una solución que incluye una ciclovía de concreto permeable, mobiliario urbano como bancas y cestos para residuos, además de la revegetación de los bordes de la intervención con especies propias del estero -en donde se requiera-; esta iniciativa surge como una estrategia de reapropiación del espacio público y con el objetivo de revalorizar el papel del estero El Infiernillo como vaso regulador de inundaciones en esa zona de la ciudad (**Figura 108**).



Figura 108. Parque lineal basado en Naturaleza: Propuesta de ubicación.
Fuente: Pares, A.C.



Figura 109. Zonas con potencial de inundación Medio a Alto en los alrededores del estero El Infiernillo. Fuente: Pares, A.C.

A fin de confirmar la ubicación más idónea que además responda a los objetivos de un Parque lineal basado en naturaleza, se puede recurrir a los resultados del análisis de vulnerabilidad ante el Cambio Climático como sigue:

Control de inundación

Otro de los objetivos que puede atender un parque lineal basado en naturaleza es el control de inundaciones, como puede observarse en la **Figura 109** el peligro de inundación en esa parte de la zona urbana es significativo; de acuerdo con los resultados de la sección 5.5.5. de este análisis, se puede observar que el mayor potencial de inundación está vinculado a la presencia de arroyos y ríos que cruzan la zona urbana, muchos de ellos modificados por el crecimiento de la ciudad, lo que ha limitado su función natural al disminuir o incluso desaparecer el cauce original. Uno de los casos más representativo ha sido la modificación del río Jabalines en su desembocadura a través del estero El Infiernillo (**Figura 109**).

Actualmente en este sitio propuesto **Figura 110**. (identificado con el polígono abierto en color verde) el potencial de inundación es de bajo a medio, es decir, se pueden presentar tirantes de entre 0 y 80cm, situación que pone en relieve la necesidad de implementar acciones para prevenir los efectos de la inundación.

De acuerdo con los resultados de la sección 4.2 de este estudio, el escenario SSP2 RCP4.5 proyectado para el año

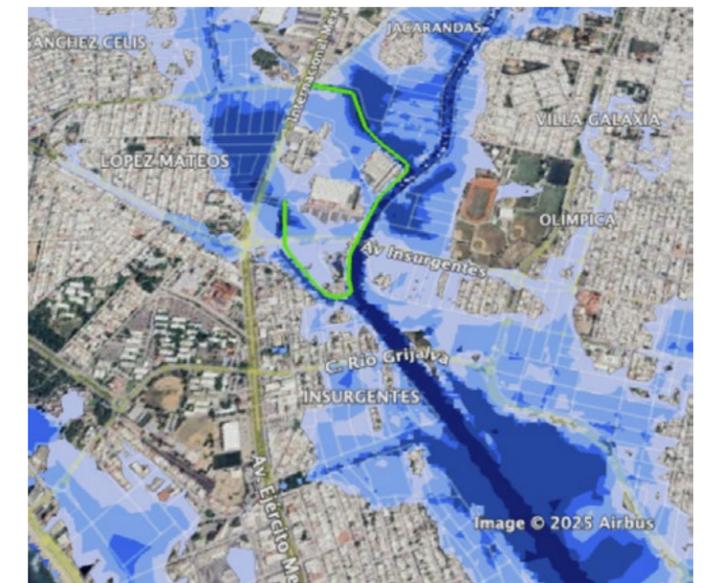


Figura 110. Potencial de inundación Bajo a Medio en los alrededores del sitio propuesto. Fuente: Pares, A.C.

2030 revela anomalías en la precipitación del orden de -2.6 a 10 mm acumulados anualmente, así como un incremento en los eventos hidrometeorológicos extremos de hasta 43 eventos por año en el mismo periodo. Esta situación enfatiza la necesidad de implementar acciones que permitan, por un lado, mantener la vocación natural y ecológica de espacios urbanos como los esteros y, por otro, asegurar que las personas en situación de vulnerabilidad socioambiental ante el Cambio Climático puedan coexistir adecuadamente con los espacios verdes urbanos. Desde la perspectiva de la vulnerabilidad, para el año 2030, la zona seleccionada experimentará un incremento en su vulne-

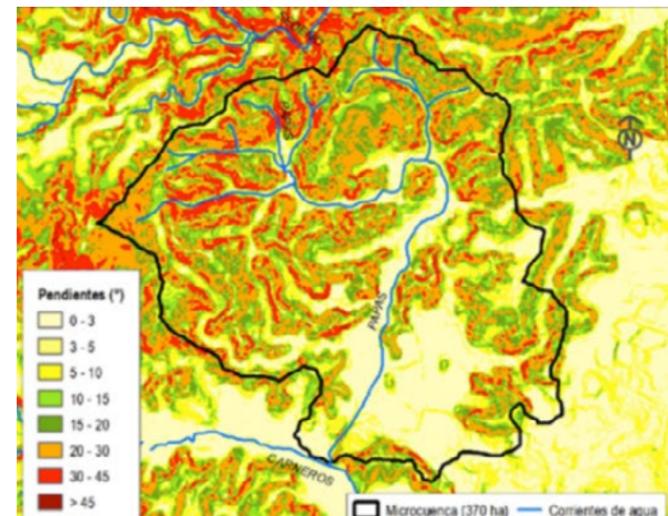
rabilidad, debido a que continuará concentrando personas cuyas condiciones de vida las hacen más vulnerables, quienes a su vez mantendrán e incluso incrementarán la presión del uso de suelo urbano sobre ecosistemas de alto valor ecológico como el estero El Infiernillo.

Características técnicas

Revegetación y estabilización del cauce del estero

Para acometer la estabilización del cauce y restaurar la vegetación que se ha impactado en el sitio de intervención se realizarán las siguientes actividades:

Figura 111. Caracterización y diseño de la intervención.
Fuente CityAdapt México, 2021.



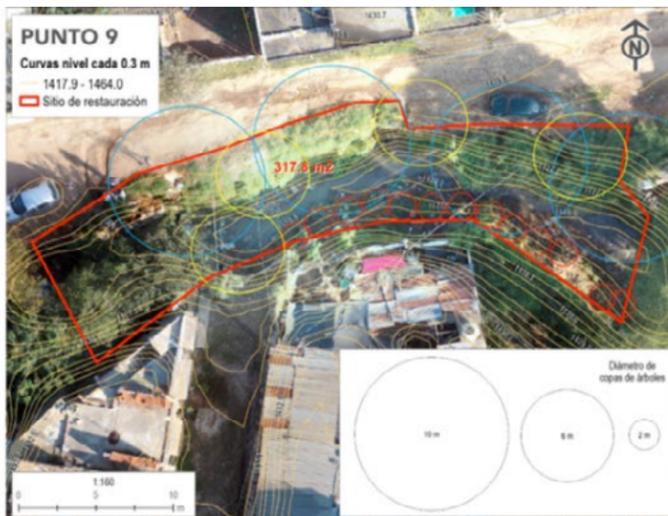
Caracterización

- Selección de la paleta vegetal con especies nativas para uso arbóreo ornamental, en espacios amplios, uso arbóreo para espacios o superficies pequeñas y uso forestal para enriquecer el germoplasma del estero urbano.
- Ahoyado y sembrado de especies siguiendo las curvas de nivel.

Ciclovia permeable

Las ciclovías son carriles exclusivos destinados únicamente a la circulación de bicicletas. Pueden estar separadas del resto de vehículos únicamente por marcas en el pavimento (ciclo carriles), o bien valiéndose de algún tipo de confi-

- Caracterización físico-geográfica para conocer las características del área y establecer una línea base de la composición biológica, su estado y tipos de suelo, evaluar el nivel de deterioro del ecosistema ripario y diseñar la intervención (**Figura 111**) utilizando microtopografía y diámetros máximos de copa para que los espacios sean seguros ahora y en el futuro cuando los árboles tengan su máximo desarrollo.
- Limpieza y trazado de curvas de nivel para la revegetación, es importante destacar la correcta selección de las especies que se retirarán, priorizando la eliminación de aquellas que son malezas o especies introducidas o invasoras como algunos tipos de pastos.



Diseño de la restauración

namiento físico que evita que los automóviles los invadan (ciclovías). Este tipo de infraestructura verde beneficia a las y los ciclistas, sobre todo a aquellos más vulnerables tales como:

- Menores de edad
- Ciclistas ocasionales
- Ciclistas novatos que inician su transporte por este medio
- Personas con diferentes tipos de movilidad asistida como silla de ruedas
- Personas que han elegido moverse en patineta, patines o patinete.

Una ciclovia puede tener una superficie permeable que facilite despejar el agua y ayudar a controlar las inundaciones, ofreciendo un espacio suficientemente grande para infiltrar rápidamente un flujo considerable de agua, en este caso apoyando la dinámica hidrológica del estero El Infiernillo.

Figura 112. Ejemplos del diseño de una ciclovia ribereña y del proyecto ejecutivo para su construcción

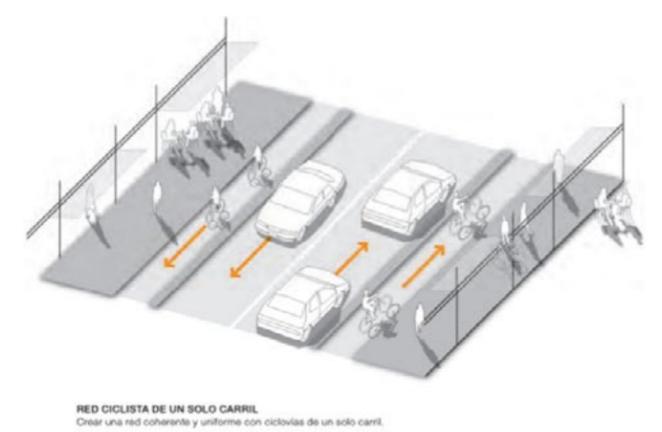


Ciclovia ribereña

Fuente: <https://www.archdaily.mx>

Para la implementación de una ciclovia permeable se deben considerar las siguientes actividades:

- Proyecto ejecutivo, que incluye levantamiento topográfico, cálculos y planos de ingeniería.
- Limpieza, trazo y nivelación, **Figura 112**.
- Construcción de la ciclovia, incluye guarniciones, pavimento permeable, hidrocreto de 10cm de espesor para vialidades de tráfico ligero, excavación de pozo de absorción de 1x1x1 m relleno de balasto de 3" (uno cada 100m²) sub-base de 15cm, pintura de guarniciones y acabados finales.



Proyecto Ciclovia

Fuente: (Gobierno del Distrito Federal, 2012)

Catálogo de conceptos

Revegetación y estabilización de cauce

De acuerdo con las dimensiones propuestas y un análisis rápido del sitio con imágenes de satélite en Google Earth, se estima que se requerirá vegetación en el polígono con longitud de 520 metros (identificado con color rojo) estableciendo un buffer de vegetación de 1 metro, lo que da una superficie total de intervención de 520 m² (**Figura 113**), por lo que se propone el siguiente catálogo de conceptos:

Figura 113. Propuesta de estabilización del cauce.
Fuente: Pares, A.C.



No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Total (USD)
1.	Caracterización físico-geográfica para conocer las características del área y establecer una línea base de la composición biológica, tipos de suelo, evaluación del ecosistema y diseño de la intervención.	Lote	520	1,716
2.	Limpieza del espacio consistente en retiro de residuos sólidos urbanos y malezas.	m ²	520	2,288
3.	Diseño de la intervención de acuerdo con los estratos sucesionales de vegetación sugeridos.	m ²	520	1,144
4.	Selección de paleta vegetal con especies nativas para uso arbóreo ornamental, uso arbóreo para espacios o superficies pequeñas y uso forestal para enriquecer el germoplasma de bosques urbanos, arbustivas y aromáticas (7 especímenes/m ²)	Lote	1	2,200
5.	Ahoyado por medios manuales o mecánicos (7 huecos / m ²)	Lote de 7 huecos	520	3,952
6.	Suministro y sembrado de planta de acuerdo con el diseño de la intervención.	Lote de 7 plantas	520	22,880
Total				34,180

Cuadro 68. Catálogo de conceptos estabilización del cauce. **Fuente:** Pares, A.C.

Ciclovía permeable

Se propone una ciclovía de 1,600 metros de longitud con carril de 1m de ancho ida y vuelta para una superficie total de 3,200 metros lineales, para lo que se propone el siguiente catálogo de conceptos:

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Total (USD)
1.	Proyecto ejecutivo, incluye estudios topográficos, mecánica de suelos, estructural y planos de ingeniería.	m ²	1	7,687
2.	Sistema de pavimento permeable con hidrocreto f'c= 250 kg/cm ² de 10cm de espesor, pozo de absorción, y sub-base de 15cm.	m ²	3,200	108,672
3.	Guarniciones de concreto f'c=150 Kg/cm ² sección trapezoidal de 015*0.20*0.40cm	ml	520	99,392
Total				

Cuadro 71. Catálogo de conceptos ciclovía permeable. **Fuente:** Pares, A.C.

El precio total estimado del parque lineal basado en naturaleza es de USD\$ 249, 931.00, no incluye mobiliario urbano como bancas ni cestos para residuos.

Monitoreo y evaluación

Los resultados que se proponen en este marco de monitoreo son de carácter indicativo, cada Solución que decida desarrollarse puede tomar como ejemplo estos indicadores, pero deberá seleccionar sus propias metas, resultados e indicadores que consideren más idóneos y adecuados a la ciudad. **Cuadro 69.**

Cuadro 69. Indicadores de monitoreo y evaluación propuestos. **Fuente:** Pares, A.C.

Revegetación y estabilización del cauce	
No. Eje temático	1. Estabilidad del cauce
Resultado	La revegetación del cauce mejora la estabilidad del suelo en 20%
Indicador	% de la compactación que se mejora debido a la vegetación
Unidad de medición	%
Método	Realizar una prueba de compactación por medio de penetrómetro de resorte de acuerdo con la norma ASTM D2573-94 y comparar con la línea base de compactación del suelo, expresar en % la diferencia
Cuándo monitorear	Línea base previa a la intervención y medir dos veces por año posterior a la revegetación
Responsable	<ul style="list-style-type: none"> Alcaldía de Mazatlán Organizaciones locales Universidades socias
No. Eje temático	2. Vegetación
Resultado	Las especies vegetales sembradas tienen un prendimiento mayor al 90%
Indicador	Porcentaje de prendimiento de las especies sembradas
Unidad de medición	%
Método	Conteo directo expresado en %
Cuándo monitorear	Línea base previa a la intervención y medir dos veces por año posterior a la revegetación
Responsable	<ul style="list-style-type: none"> Alcaldía de Mazatlán Organizaciones locales Universidades socias

Ciclovía permeable	
No. Eje temático	2. Permeabilidad
Resultado	El sistema de concreto permeable permite una mejora de hasta el 50% en la infiltración de agua en la zona de intervención
Indicador	-
Unidad de medición	%
Método	Línea base de permeabilidad del terreno antes de la intervención mediante una prueba con infiltrómetro de doble anillo en mm/hora Se evalúa la capacidad de infiltración del sistema de ciclovía permeable y se compara con la línea base de infiltración en terreno natural sin intervención, expresando la diferencia en porcentaje
Cuándo monitorear	Tres veces durante la primera temporada de lluvia
Responsable	<ul style="list-style-type: none"> Alcaldía de Mazatlán Organizaciones locales Universidades socias
No. Eje temático	4. Beneficios económicos
Resultado	Incremento de entre 2 y 5% en la plusvalía de los hogares y construcciones próximos al parque lineal basado en naturaleza
Indicador	Incremento en la plusvalía
Unidad de medición	%
Método	Análisis comparativo del valor de la propiedad antes y después de que se perciban los impactos positivos de la implementación del parque lineal.
Cuándo monitorear	Una vez por año a partir del segundo año de la implementación.
Responsable	<ul style="list-style-type: none"> Alcaldía de Mazatlán Organizaciones locales Universidades socias

Referencias

- Aguilar Revelo, L. (2021), "La igualdad de género ante el cambio climático: ¿qué pueden hacer los mecanismos para el adelanto de las mujeres de América Latina y el Caribe?", serie Asuntos de Género, N° 159 (LC/TS.2021/79), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/>
- Alexandru A., R. de Elia, R. Laprise (2007) Interannual variability in Regional Climate downscaling at the seasonal scale. *Mon. Wea. Rev.* 135:9, 3221-3238.
- Ansuategi, Alberto & Greño, Patxi & Houlden, Valerie & Markandya, Anil & Onofri, Laura & Picot, Helen & Tsarouchi, Georgia-Marina & Walmsley, Nigel. (2015). The impact of climate change on the achievement of the post-2015 sustainable development goals, Technical Report. 10.13140/RG.2.2.21145.62564.
- Arbo, A., Sanabria, G., & Martínez, C. (2022). Influence of Climate Change on Vector-Borne Diseases. *Revista Del Instituto de Medicina Tropical*, 17(2), 23-36. <https://doi.org/10.18004/imt/2022.17.2.4>
- Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, (2021). Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 33-144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
- Barlett, S., Dodman, D., Hardoy, J., Satterwaitte, D., & Tacoli, C. (2010). Social aspects of climate change in urban areas of low- and Middle-income countries. In *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda 2010* pp. 670-726.
- Barral, M. P. (2017). Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos Modulo 1 - Versión 2.1. Obtenido de: <http://eco-ser.com.ar/>
- Beraud lozano, J. L.; Covants Rodríguez, C.; Beraud Martínez, I. P. (2009). Vulnerabilidad socioambiental en Mazatlán. México. Cuadernos Geográficos, 45, 31-62.

- Bien Informado. Periódico en línea. Los Cabos y La Paz son dos de las ciudades más visitadas en México. 07032024. <https://bieninformado.mx/los-cabos-y-la-paz-son-dos-de-las-ciudades-mas-visitadas-en-mexico/#:~:text=Nacional%20Baja%20California-,Los%20Cabos%20y%20La%20Paz%20son%20dos,ciudades%20m%C3%A1s%20visitadas%20en%20M%C3%A9xico&text=Baja%20California%20Sur%20cuenta%20con,y%20La%20Paz%2C%20en%20octavo>
- Cavazos Tereza, Luna-Niño Rosa, Cerezo-Mota, Ruth, Fuentes Franco, Ramón, Mendez Matias, Pineda-Martínez Luis, Valenzuela Ernesto. (2020). Climatic trends and regional climate models intercomparison over the CORDEX-CAM (Central America, Caribbean, and Mexico) domain. *International Journal of Climatology*. 40. 10.1002/joc.6276.
- Chang-Martínez, L. A. et al (2015). Modeling historical land cover and land use: A review from contemporary modeling. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4): 1791-1812.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 2006. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. http://www.atlasmunicipalderiesgos.gob.mx/archivo/material_apoyo.html
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2009). Impacto socioeconómico de los desastres en México 2007.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2021). Impacto socioeconómico de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana en 2013. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/324-NO.15-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2013.PDF>
- CEPAL. (2022). Introducción a la desigualdad de género. https://igualdad.cepal.org/sites/default/files/2022-03/GR_g%C3%A9nero_intro_es_0.pdf
- Clean Air Partnership. (2007). *Cities Preparing for Climate Change: A Study of Six Urban Regions*. Toronto: Clean Air Partnership.
- Climate models. (s/f). MIT Climate Portal. Recuperado el 24 de septiembre de 2024, de <https://climate.mit.edu/explainers/climate-models>
- CMCC. (2020). G20 Climate Risk Atlas Impacts, Policy, Economics: México. https://files.cmcc.it/g20climaterisks/G20_climaterisk_MethodologicalNotesandReferences.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía del 2015, para la Ciudad de Mazatlán, Sinaloa. 1ª versión.
- Conabio Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Selvas Secas. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/selvaSeca.html>
- CONAGUA. (2023). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero río Presidio (2509), estado de Sinaloa, México.
- CONAGUA. (2024). Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero río Presidio,
- CONAPO. Reconstrucción y proyecciones de la población de los municipios de México 1990-2040. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/reconstruccion-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-1990-2040>
- CONEVAL (2019): Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México. <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/InformesPublicaciones/Documents/Metodologia-medicion-multidimensional-3er-edicion.pdf>
- CORDEX. (2024). NA-CORDEX, Simulation Matrix. Consultado el 10 de octubre de 2024 en <https://na-cordex.org/simulation-matrix.html>
- Crossman, N. D., Bryan, B. A., De Groot, R. S., Lin, Y., & Minang, P. A. (2013). Land science contributions to ecosystem services. *Current Opinion In Environmental Sustainability*, 5(5), 509-514. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.06.003>
- Data and other materials associated with published papers. (s. f.). <https://crudata.uea.ac.uk/cru/papers/>
- De Andrade-Pereira, M., & Ribeiro-De Melo, C. B. (2020). Impacts of land use and cover change on Paraíba do Sul watershed streamflow using the SWAT model. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25(12), 1-13. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190034>.
- De Elía R., D. Caya, H. Côté, A. Frigon, S. Biner, M. Giguère, D. Paquin, R. Harvey, and D. Plummer (2007); Evaluation of uncertainties in the CRCM-simulated North American climate. *Clim. Dyn.*, 30 (2-3), 113-132.
- Deque M., D. P. Rowell, D. Lüthi, F. Giorgi, J. H. Christensen, B. Rockel, D. Jacob, E. Kjellström M. de Castro, B. van den Hurí (2007): An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections; *Climatic Change* 81:53-70.
- DOF. (2016). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero río Presidio, clave 2509, en el Estado de Sinaloa, Región Hidrológico-Administrativa Pacífico Norte.
- Escuela de Salud Pública de México. 2022. ¿Qué son los manglares y cuál es su importancia? Disponible en: <https://www.espm.mx/blog/que-son-los-manglares-y-cual-es-su-importancia/>
- Fernández J (2010); Modelos climáticos Regionales; Grupo de Meteorología Aplicada UCINM.
- Giorgi F, X. Bi, and J. Pal (2004): Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe I. Present day climate (1961-1990). *Clim. Dyn.*, 22,733-756
- Hardoy, J., & Romero Lankao, P. (2011). Latin American cities and climate change: Challenges and options to mitigation and adaptation responses. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.01.004>
- Hawkins E., R Sutton (2009): The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions, *BAMS*, 2607:1095-1107.
- Hawkins E., R Sutton (2011): The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change. *Climate Dynamics*. 37:407-418.
- INFORME ESPECIAL DEL IPCC (1997). Impactos regionales del Cambio Climático: evaluación de la vulnerabilidad. (Incluido en resumen para responsables de políticas). Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC). (2012). Adaptación al Cambio Climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001364.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). Glosario. Catálogo de términos utilizados en el tema de cambio climático. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001364.pdf>
- IMPLAN Mazatlán. (2020). Actualización y Ampliación del Atlas de Riesgos Municipal de Mazatlán.
- IMPLAN Mazatlán. (2024). Programa de desarrollo urbano de Centro de Población | PDUCP 2023 - 2040 Tomo I. Fundamentación y caracterización.
- Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN). Gobierno del Estado de Sinaloa. Programa de desarrollo urbano de centro de población | PDUCP 2023 - 2050 Tomo I. Fundamentación y Caracterización Versión 04.07.24
- INFONAVIT-IMPLAN 2024. Programa de desarrollo urbano de centro de población Mazatlán, Sinaloa. PDUCP 2023 - 2040. Tomo I. Fundamentación y Caracterización
- INMUJERES. (2016). Brecha salarial de género en México. <https://www.gob.mx/conavim/articulos/brecha-salarial-una-de-las-grandes-barreras-para-la-igualdad-de-genero?idiom=es>
- INMUJERES (2020). Criterios para el uso de información estadística.
- Inostroza, L., Baur, R., & Csaplovics, E. (2013). Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 115, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>
- INEGI. (2019). Censos Económicos 2004 - 2019. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- INEGI. (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI. (2021) Conjuntos de datos vectoriales, carta topográfica escala 1:20,000.
- INEGI. (2022). Censo Agropecuario. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>

- INEGI. (2024). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística. Chile. (2015). Guía metodológica para incorporar el enfoque de género en las estadísticas. https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/genero/gu%C3%ADas-y-documentos/documentos/guia-metodologica-para-incorporar-el-enfoque-de-genero-en-las-estadisticas.pdf?sfvrsn=c4cd1905_12
- IPCC, 2007: Climate Change (2007). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC. 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Core writing team, R. K. Pachauri y A. Reisinger, y equipo principal de redacción. IPCC, Suiza, 105 p
- IPCC, 2014: Cambio Climático (2014). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IPCC. (2018). Anexo I: Glosario. In J. R. R. Matthews (Ed.), Calentamiento global de 1.5 oC, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5oC con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto in (p. 24).
- Kamal-chaoui, L., and Robert, A. (2009). Competitive Cities and Climate Change. In OECD (Issue October). <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/218830433146>
- Kavzoglu, T., & Mather, P. M. (2003). The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification. *International Journal Of Remote Sensing*, 24(23), 4907-4938. <https://doi.org/10.1080/0143116031000114851>
- López Araiza, P. y J. R. Ramírez Sarabia (s/f). Pérdida del Mangle por el Mercado Inmobiliario turístico, el caso de Mazatlán, Sinaloa, México. Disponible en: <https://ru.iiec.unam.mx/5907/1/1.%20182-LopezAraiza-Ruiz.pdf>
- López-Ramírez, S. M., Mayer, A., Sáenz, L., Muñoz-Villiers, L. E., Holwerda, F., Looker, N., ... Lezama, C. (2021). A comprehensive calibration and validation of SWAT-T using local datasets, evapotranspiration and streamflow in a tropical montane cloud forest area with permeable substrate in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, 603, 126781. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126781>
- Luiselli Fernández, C. (2019). Los desafíos del México urbano The challenges of Urban Mexico bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). 16. <https://ourworldindata.org/urbanization>.
- Magaña V., J. L. Pérez, J.L. Vázquez, E. Carrisoza y J. Pérez, (1999). 2. El Niño y el clima. En: Los impactos de El Niño en México. En Magaña R.V.O. (Ed.). Sep-CONACYT. 229 pp. En Magaña R.V.O. (Ed.). Sep-CONACYT. 229 pp.
- Matthews, T. (2011). Climate Change Adaptation in Urban Systems: Strategies for Planning Regimes. Urban Research Program, February, 29. http://www.griffith.edu.au/data/assets/pdf_file/0004/275107/urp-rp32-matthews-2011.pdf
- Masson-Delmonte, V; Zhai, P; Pirani, A; Connors, S; Péan, C; Chen, Y; Goldfarb, L; Gomis, M; Matthews, J.B; Berger, S; Huang, M; Yelekci, O; Yu, R; Zhou, B; Lonnoy, E; Maycock, T; Waterfield, T; Leitzell, K; Caud, N. (2021). AR6 Resumen para responsables de políticas: Bases físicas. In *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>
- McCarthy, Canzianii, Learyi, Dokken, W. (2001). Climate Change: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Ipcc Working Group, 10032. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/index.htm>
- Melvin T. M. and Briffa K.R. (2013) CRUST: Software for the implementation of Regional Chronology Standardisation: Part 1. Signal-Free RCS. *Dendrochronologia* 32, 7-20, doi: 10.1016/j.dendro.2013.06.002
- Meehl GA, Stocker TF, Collins W, Friedlingstein P, Gaye A, GregoryJM, Kitoh A, Knutti R, Murphy J, Noda A, Raper SCB, WattersonI, Weaver A, Zhao Z-C. 2007. Global climate projections. SolomonS, Qin D, ManningM, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, London and New York, NY.
- Mimura, N., Pulwarty, R. S., Duc, D. M., Elshinnawy, I., Redsteer, M. H., Huang, H. Q., Nkem, J. N., Rodriguez, R. A. S., Moss, R., Vergara, W., Darby, L. S., and Kato, S. (2015). Adaptation planning and implementation. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*, 869-898. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.020>
- Monterroso, A; Gómez, J; Lechuga, L. (n.d.). Delimitación de zonas de influencia de precipitación para México.
- Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A. C., Gómez-Díaz, J. D., Gay-García, C., Villers-Ruiz, L., y López-García, J. (2011). Sensitivity of Mexico's Farmers: A Sub National Assessment of Vulnerability to Climate Change. En Dr. Houshan Kheradmand (Ed.). *Climate Change - Socioeconomic Effects* (pp. 325-340).
- Monterroso R.A., A. Fernández E., R.I. Trejo V., A. C. Conde A., J. Escandón C., L. Villers R. y C. Gay G. 2013. Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del Cambio Climático en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en Cambio Climático. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://atlasclimatico.unam.mx/VyA/#1>
- Monterroso-Rivas, A. I., and Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del Cambio Climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Revista Terra Latinoamericana*, 39, 1-19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- NASA. (2024). La sequía deja sediento a México. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/la-sequia-deja-sediento-a-mexico/>
- Ochoa-Ramírez, J., and Guzmán Ramírez, A. (2020). La vulnerabilidad urbana y su caracterización socio-espacial. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 15(27).
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). Guía de prácticas climatológicas. In Organización Meteorológica Mundial (Vol. 100). http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf
- ONU-Hábitat. (2020). Tendencias de desarrollo urbano en México. <https://onu-habitat.org/index.php/tendencias-del-desarrollo-urbano-en-mexico>
- ONU MUJERES-PNUD. (2023). Los caminos hacia la igualdad: índices gemelos sobre empoderamiento de las mujeres e igualdad de género. [the_paths_to_equal_es_0.pdf](https://www.unwomen.org/es/_equal_es_0.pdf) (unwomen.org)
- Patriche, C. V., Roşca, B., Pîrnău, R. G., Vasiliniuc, I., & Irimia, L. M. (2023). Simulation of rainfall erosivity dynamics in romania under climate change scenarios. *Sustainability*, 15(2), 1469.
- Pizarro, R. (2001). La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina. (CEPAL (ed.); 1st ed.). CEPAL.
- Pontius, G. R., & Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2), 243-265. <https://doi.org/10.1080/13658810410001713434>
- PNUD. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] México-Instituto de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2017). Medición multidimensional de capacidad institucional a nivel municipal que fomente la adaptación al Cambio Climático. Proyecto #86487 "Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México" Convenio de colaboración: Transparencia Mexicana, A.C., 52(55), 108. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/295098/CGACC_2017_Medicion_multidimensional_de_capacidad_institucional_a_nivel_municipal_que_fomente_la_adaptacion_al_cambio_climatico_Informe_final_2.pdf
- Rivas-Tabares, D., de Miguel, Á., Willaarts, B., & Tarkis, A. M. (2020). Self-organizing map of soil properties in the context of hydrological modeling. *Applied Mathematical Modelling*, 88, 175-189. <https://doi.org/10.1016/J.APM.2020.06.044>
- Rosas, A. (2015). La capacidad institucional de gobiernos locales para hacer frente al Cambio Climático (E. Itaca (ed.); 1st ed.). Universidad Autónoma Metropolitana.
- SECTUR-DATATUR (s/f). El pib turístico estatal y municipal 2018-2019 en México. Una aproximación inicial. https://www.datatur.sectur.gob.mx/Documentos%20compartidos/Aproximacion_al_PIB_Turistico_Estatal_y_Municipal.pdf

- SECTUR. 2014. Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el Cambio Climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos. Sección VIII. Vulnerabilidad del destino turístico Mazatlán. Fondo Sectorial CONACYT-SECTUR. Proyecto Clave: 165452
- Sahle, M., Saito, O., Fürst, C., & Yeshitela, K. (2019). Quantifying and mapping of water-related ecosystem services for enhancing the security of the food-water-energy nexus in tropical data-sparse catchment. *Science of the Total Environment*, 646, 573-586.
- Shaw, R., Colley, M. and Connell, R. (2007) *Climate Change Adaptation by Design*. London: TCPA.
- Shi, L., Feng, P., Wang, B., Li Liu, D., Cleverly, J., Fang, Q., & Yu, Q. (2020). Projecting potential evapotranspiration change and quantifying its uncertainty under future climate scenarios: A case study in southeastern Australia. *Journal of Hydrology*, 584, 124756.
- Slater, A.-M. (2011). Book Review: *Global Report on Human Settlements 2011, Cities and Climate Change*. In *Environmental Law Review* (Vol. 14, Issue 3). <https://doi.org/10.1350/enlr.2012.14.3.162>
- SMN. (2019). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/smn/prensa/el-centro-de-la-tormenta-tropical-narda-impacto-en-las-inmediaciones-de-los-mochis-sinaloa-durante-la-noche-de-hoy>
- Sobrino, J. (2011). La urbanización en el México Contemporáneo. In CEPAL (Ed.), *Reunión de expertos sobre: "Población Territorio y Desarrollo Sostenible"* (pp. 1-20). El Colégio de México.
- Solman S. and Pessacg N. (2010): Regional climate simulations over South America: Sensitivity to model physics and to the treatment of lateral boundary conditions using the MM5 model. *Climate Dynamics*.
- Son playas Periodismo Ambiental. (2020). Mazatlán pierde sus playas. Consultado en noviembre 2024. Disponible en: <https://sonplayas.com/medio-ambiente/mazatlan-pierde-sus-manglares/>
- Sterner, T., Damon, M., Köhlin, G., & Visser, M. (2012). Capacity Building to Deal with Climate Challenges Today and in the Future. *Journal of Environment and Development*. 21(1), 71-75. <https://doi.org/10.1177/1070496511435672>
- Swedish National Knowledge Centre for Climate Change Adaptation | SMHI. (s. f.).
- UN. (2023). Las ciudades y la contaminación contribuyen al Cambio Climático.
- Uribe, N. (2010). Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. Versión SWAT2005. *SWAT Soil and Water Assessment Tool*, 1-47.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Vázquez-Aguirre, J. (2010). Guía para el cálculo y uso de índices de Cambio Climático en México (Primera edición). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Vences, Macedo L; Manriquez García, N. (2022). Vulnerabilidad en la ciudad de Mazatlán inundaciones y marginación. *Proyección: Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 16(32), 39-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.48162/rev.55.028>
- Vera, C., J. Baez, M. Douglas, C. Emmanuel, J. Marengo, J. Meitin, M. Nicolini, J. Nogues-Paegle, J. Paegle, O. Penalba, P. Salio, C. Saulo, M. Silva Dias, P. Silva Dias, and E. Zipser, (2006): The South American Low-Level Jet Experiment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 63-77, doi: 10.1175/BAMS-87-1-63.
- Ward R. D., D. A. Friess, R. H. Day, and R. A. MacKenzie. 2016 Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability* 2(4):e01211. doi: 10.1002/ehs2.1211
- Watson, J. E., Evans, T., Venter, O., Williams, B., Tulloch, A., Stewart, C., et al. D. 2018. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nature ecology & evolution*, 2(4): 599-610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>.
- Weather Research & Forecasting Model (WRF) | Mesoscale & Microscale Meteorology. (s. f.). NCAR. <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>
- Winchester, L., Szalachman, R. (2012). The Urban Poor's Vulnerability to Climate Change in Latin America and The Caribbean. In *Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*. Urban Development Series (Pp. 727-751)
- Zapien, R. (2022) Mazatlán tiene diferentes tipos de bosques, ¿los conoces? En: <https://sonplayas.com/medio-ambiente/mazatlan-tiene-diferentes-tipos-de-bosques-los-conoces/>
- Zapien, R. (2022). El Acuífero Río Presidio, en Mazatlán, está sobreexplotado.
- Zhang, X., Yang, F., & Santos, J. L. (2004). *RCLimDex(1.0)*. User Manual. Climate Research Branch Environment Canada.
- Zuo, D., Xu, Z., Yao, W., Jin, S., Xiao, P., & Ran, D. (2016). Assessing the effects of changes in land use and climate on runoff and sediment yields from a watershed in the Loess Plateau of China. *Science of The Total Envi*, 544, 238-250. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.11.060>

Mapas

Índice de mapas.

Figura	Descripción	Página
1.	Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas seleccionadas.	236
5.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2030.	238
6.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2050.	240
7.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2070.	242
8.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2100.	244
9.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2030.	246
10.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2050.	248
11.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2070.	250
12.	Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 8.5 2100.	252
13.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2030.	254
14.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2050.	256
15.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2070.	258
16.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2100.	260
17.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2030.	262

Figura	Descripción	Página
18.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2050.	264
19.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2070.	266
20.	Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2100.	268
21.	Área de estudio en el contexto de cuenca y zona urbana.	62
25.	Grado de inclinación de la pendiente con información de INEGI, 2015.	270
26.	Precipitación anual con datos del atlas climático digital de México, UNIATMOS, UNAM 1902-2011.	272
27.	Geología, origen y tipos de roca con datos de INEGI 1983.	274
29.	Usos de suelo y vegetación con datos Sentinel, 2024.	276
30.	Disección horizontal del terreno con datos de INEGI, 2021.	278
31.	Disección vertical del terreno con datos de INEGI, 2015.	280
32.	Edafología con datos de INEGI, 2007.	282
33.	Mapas de potencial de derrumbes y deslizamientos.	284
34.	Potencial natural de inestabilidad de ladera.	286
36.	Potencial natural de erosión.	288
38.	Potencial natural de inundación pluvial y fluvial en Mazatlán con datos proporcionados por IMPLAN Mazatlán. 2020.	90
39.	Potencial natural de inundaciones con datos de IMPLAN 2020.	290
42.	Potencial natural de marea de tormenta con datos de IMPLAN Mazatlán, 2020.	292
43.	Potencial de erosión costera.	294

Figura	Descripción	Página
44.	Acumulación de los potenciales naturales de peligro en el área de estudio.	96
45.	Exposición de la población urbana.	296
46.	Detalle de la exposición de la población por colonias, zona urbana de Mazatlán.	100
47.	Exposición de los sistemas productivos en Mazatlán.	104
48.	Exposición del sistema natural.	108
49.	Exposición de la infraestructura urbana ante eventos climáticos.	112
50.	Grado de sensibilidad socioeconómica por AGEB urbana.	298
51.	Grado de sensibilidad socioeconómica en el entorno de las colonias.	300
52.	Índice de sensibilidad socioeconómica en localidades en AGEB rurales.	302
53.	Índice de brechas de género en entorno de colonias.	304
54.	Índice de sensibilidad socioeconómica con brechas de género.	128
55.	Impacto potencial en la zona urbana de Mazatlán y su entorno rural.	132
57.	Distribución espacial del servicio de provisión superficial de agua.	306
58.	Distribución espacial del servicio de retención de suelo/sedimentos.	308
59.	Distribución espacial del carbono almacenado en la vegetación.	310
60.	Distribución espacial del aporte de paisaje a la lámina de flujo base de agua.	312
61.	Distribución espacial del aporte del paisaje a la recarga de mantos acuíferos.	314
62.	Áreas prioritarias para la provisión de servicios ecosistémicos a nivel de cuenca.	316

Figura	Descripción	Página
63.	Áreas prioritarias para la provisión de servicios ecosistémicos en el entorno de la ciudad de Mazatlán.	148
67.	Mapa de Vulnerabilidad Socioambiental de Mazatlán.	154
71.	Mapa de usos del suelo y vegetación 2024 con sitios de interés.	162
72.	Vulnerabilidad de los sectores urbanos.	318
73.	Vulnerabilidad del sector agropecuario.	320
74.	Vulnerabilidad en las vías de comunicación.	322
75.	Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2030 (entorno urbano).	178
76.	Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2030 (Nivel de cuenca).	324
77.	Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2050 (entorno urbano).	326
78.	Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2050 (Nivel de cuenca).	328
79.	Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2030).	330
80.	Cambios potenciales en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2030).	184
81.	Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2050).	332
82.	Cambio potencial en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2050).	334
83.	Retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030).	336
84.	Cambios potenciales en la retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030).	338
85.	Retención de sedimentos en el escenario RCP 4.5 (2050).	340
86.	Cambios potenciales en la retención de sedimentos en el escenario RCP 4.5. (2050).	342

Figura	Descripción	Página
87.	Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030).	344
88.	Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030).	346
89.	Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050).	348
90.	Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050).	350
91.	Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030).	352
92.	Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030).	354
93.	Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2050).	356
94.	Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2050).	358
95.	Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030).	360
96.	Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030).	362
97.	Aporte al flujo base en escenario RCP 4.5. (2050).	364
98.	Cambios potenciales en el flujo base en escenario RCP 4.5. (2050).	366
99.	Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel de cuenca (2030).	368
100.	Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel urbano (2030).	370
101.	Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel de cuenca (2050).	372
102.	Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel urbano (2050).	374
103.	Proyección de zonas de crecimiento urbano de la ciudad de Mazatlán a 2030.	376
104.	Vulnerabilidad socioambiental futura de la ciudad de Mazatlán (Proyección a 2030).	378

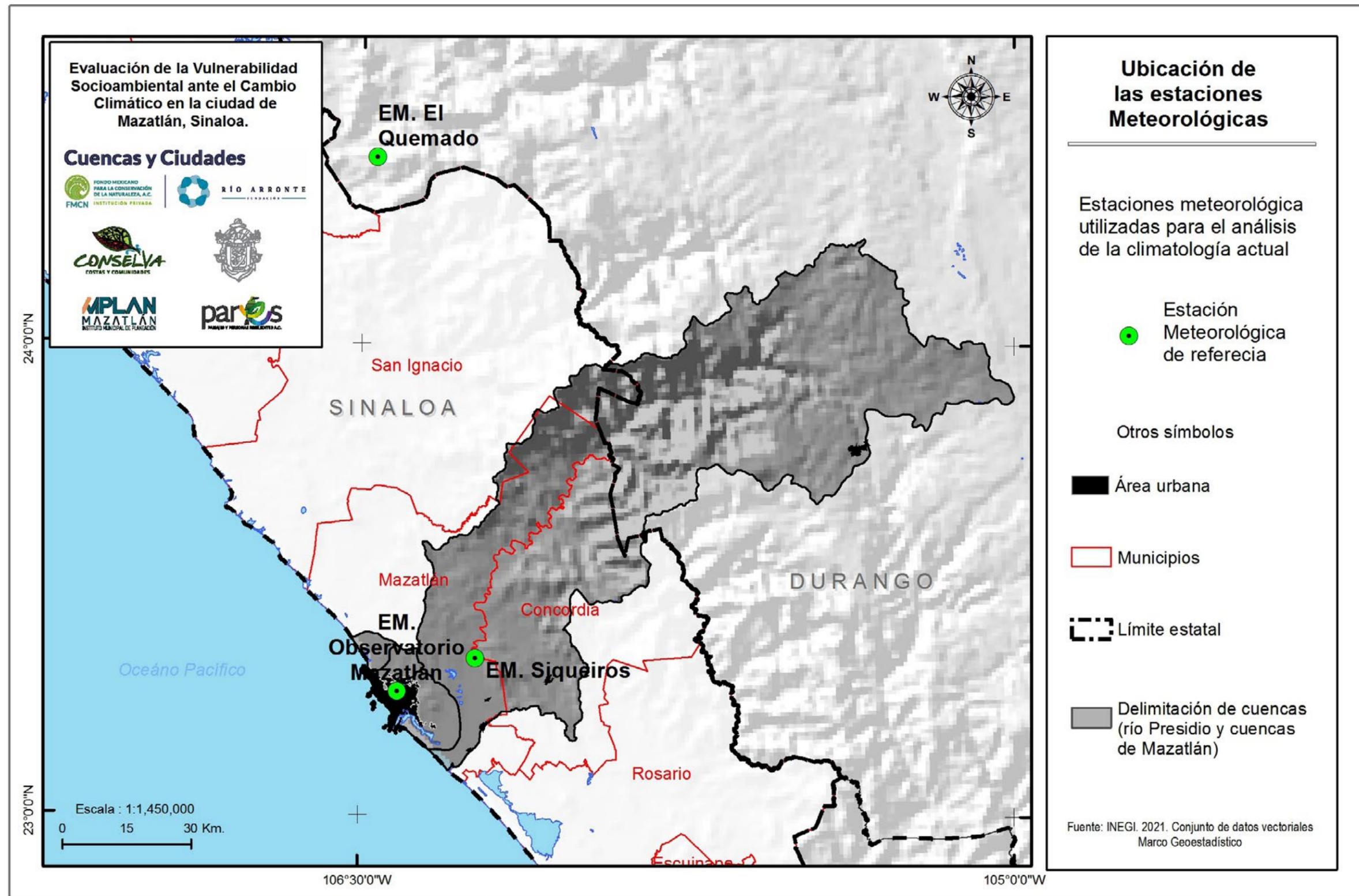


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas seleccionadas. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

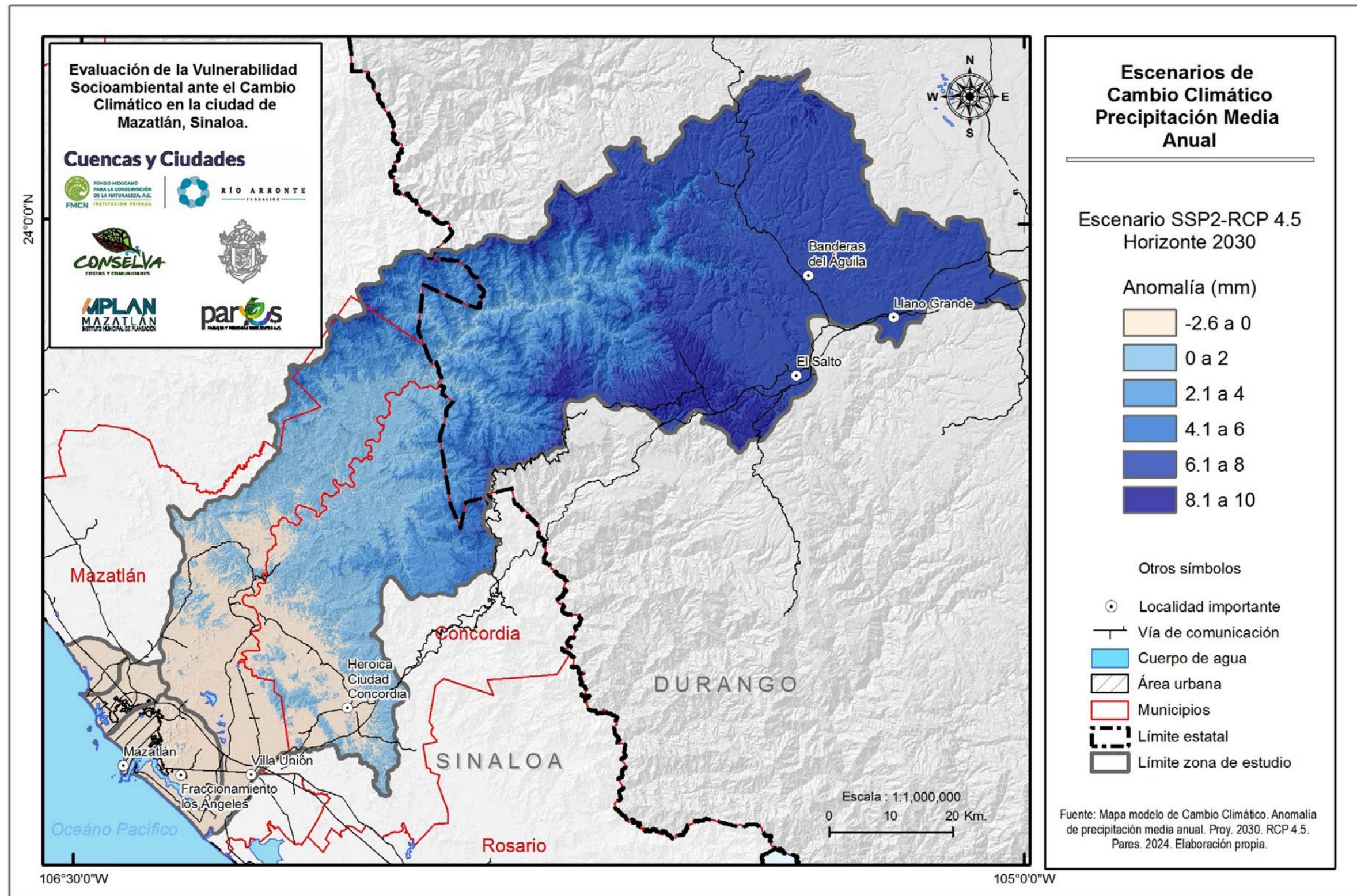


Figura 5. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2030. Fuente: Pares A.C.

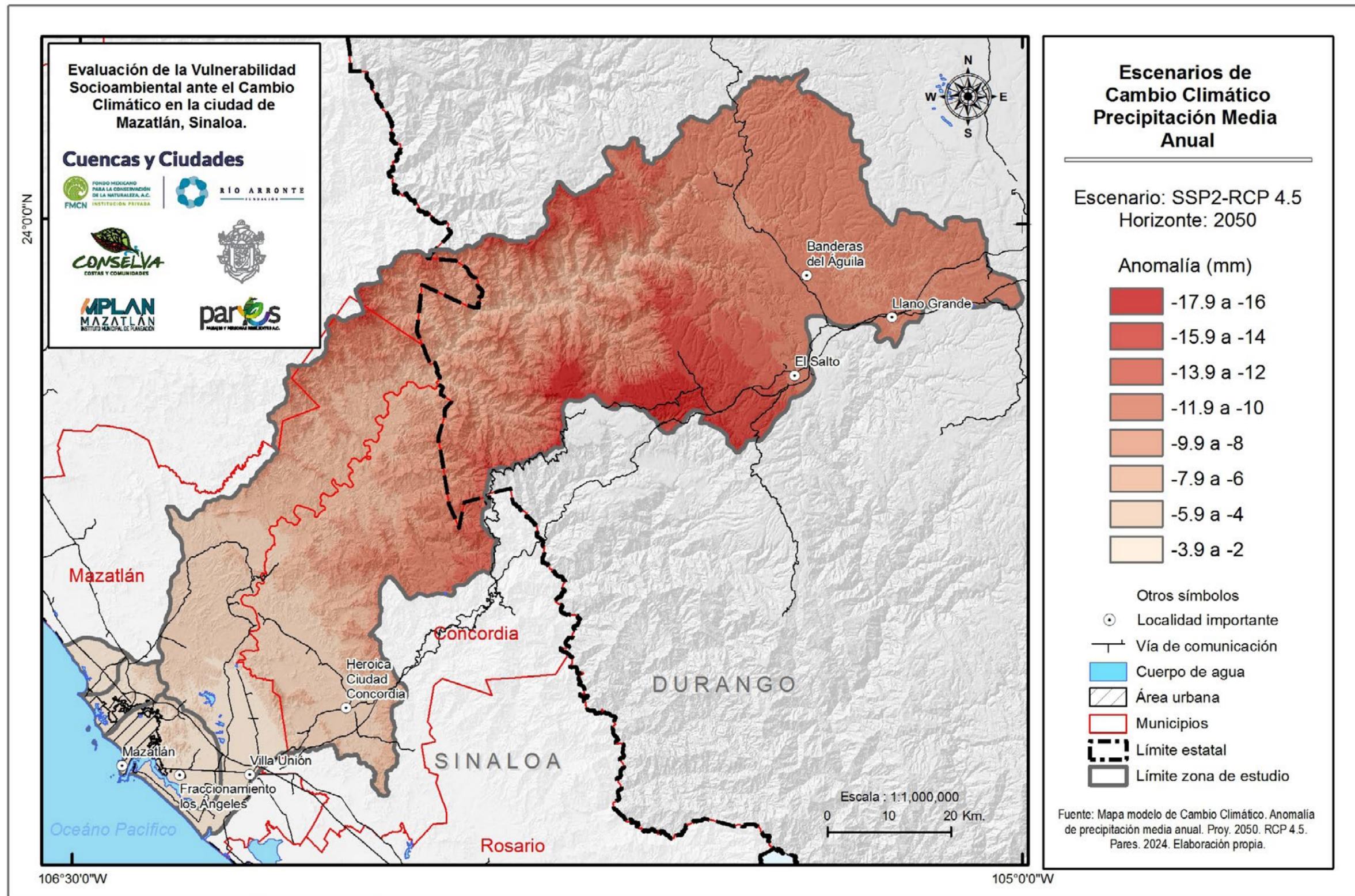


Figura 6. Anomalia de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2050. Fuente: Pares A.C.

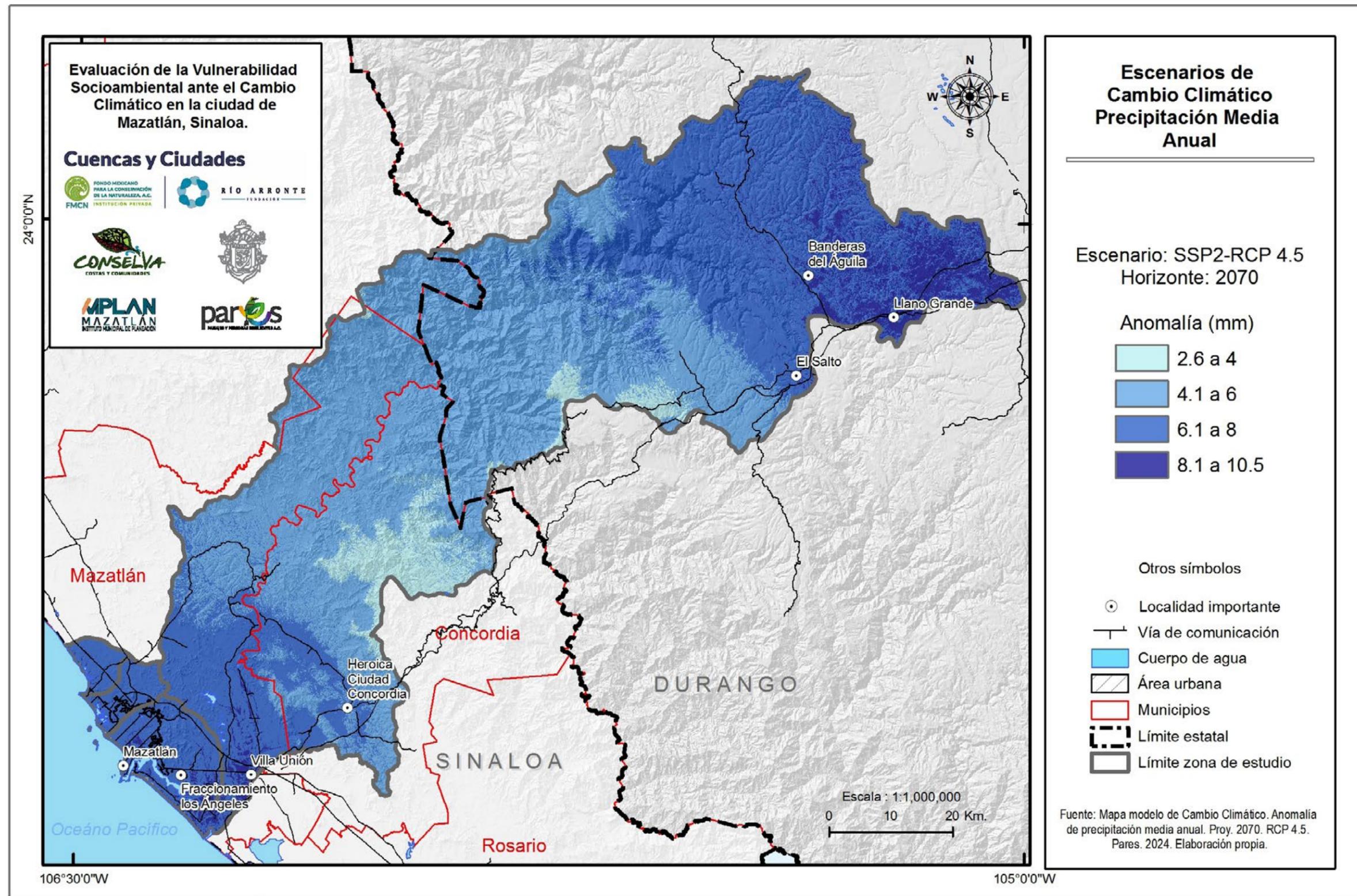


Figura 7. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2070. Fuente: Pares A.C.

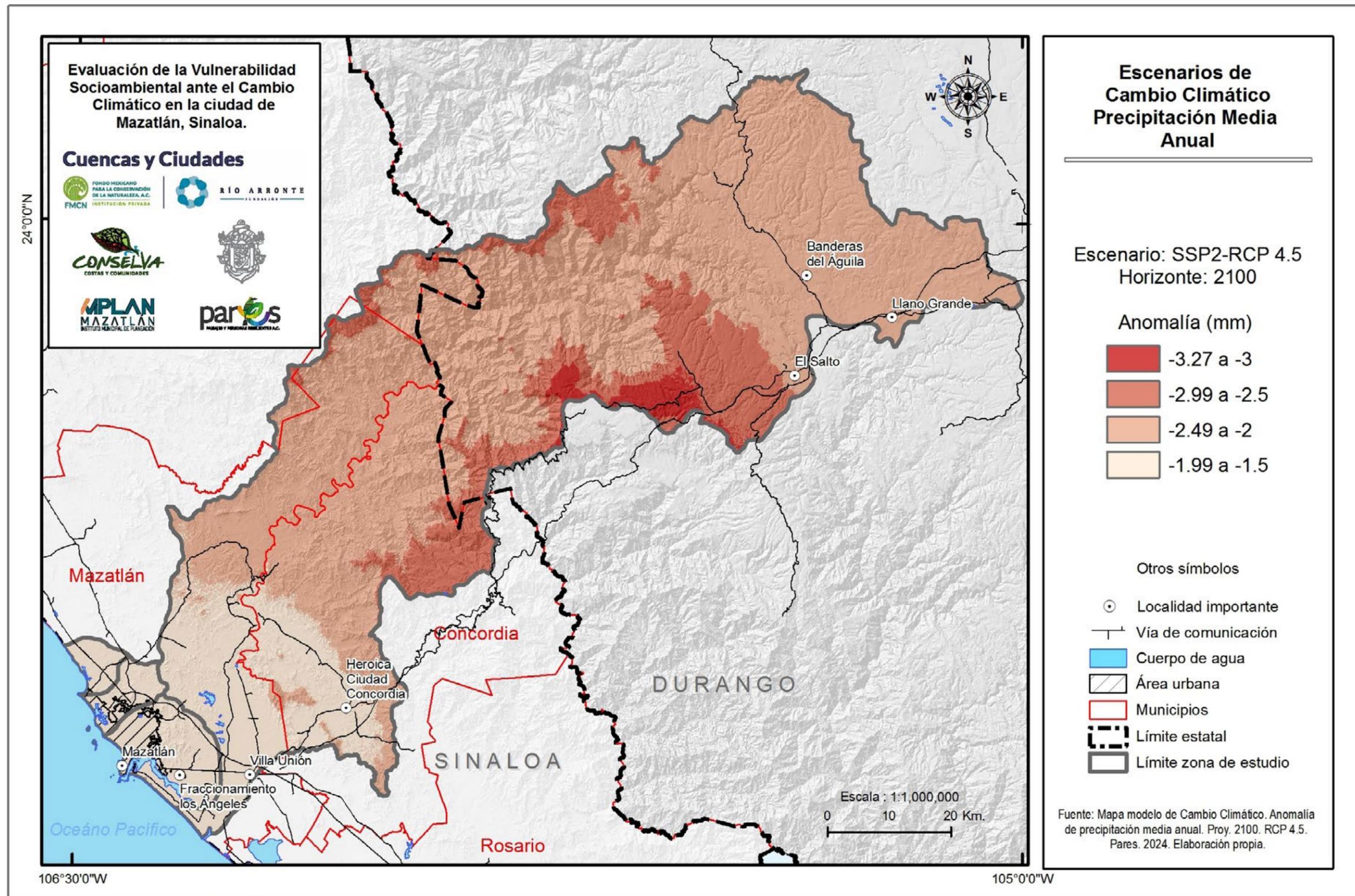


Figura 8. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2100. Fuente: Pares A.C.

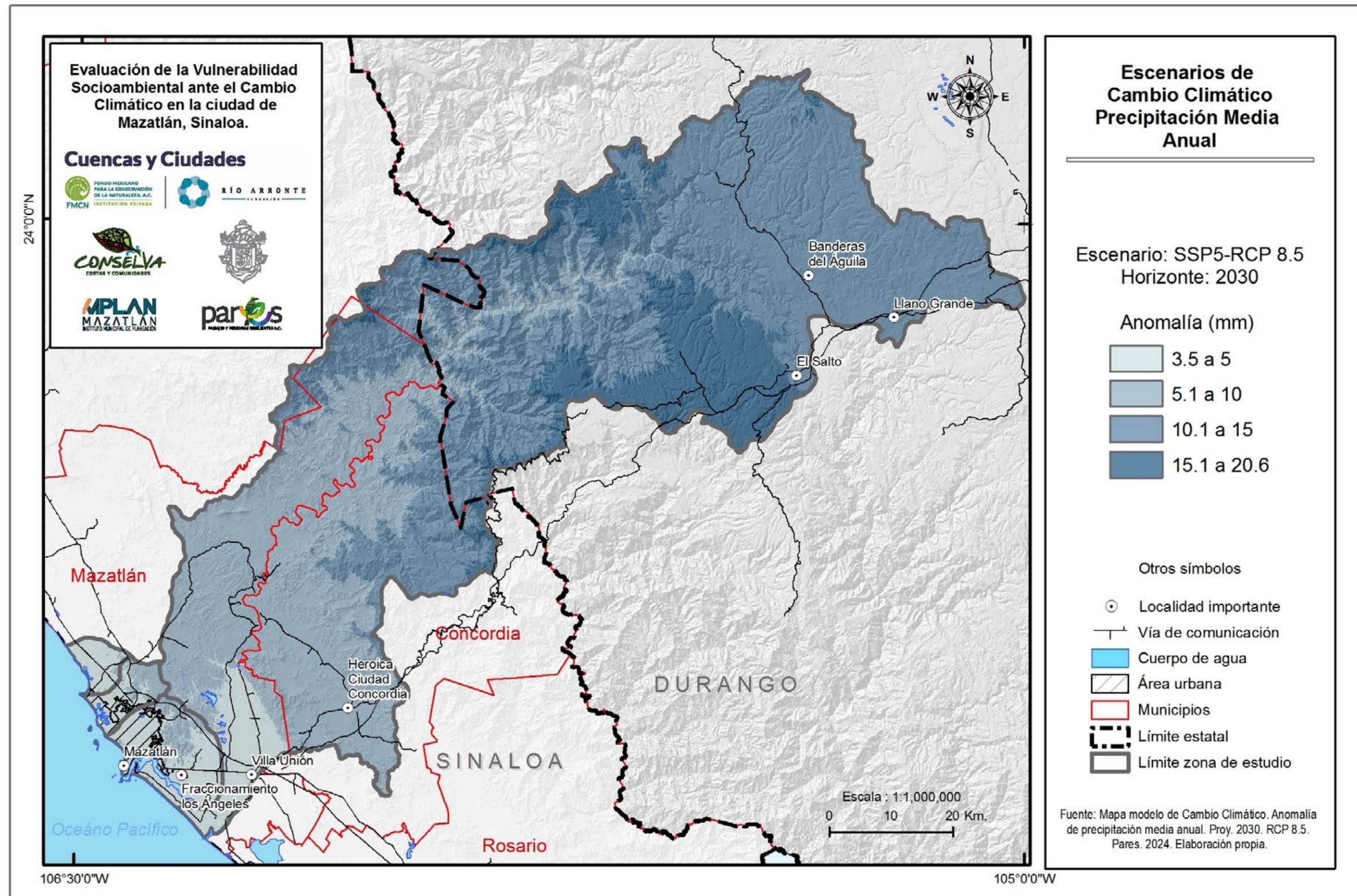


Figura 9. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2030. Fuente: Pares A.C.

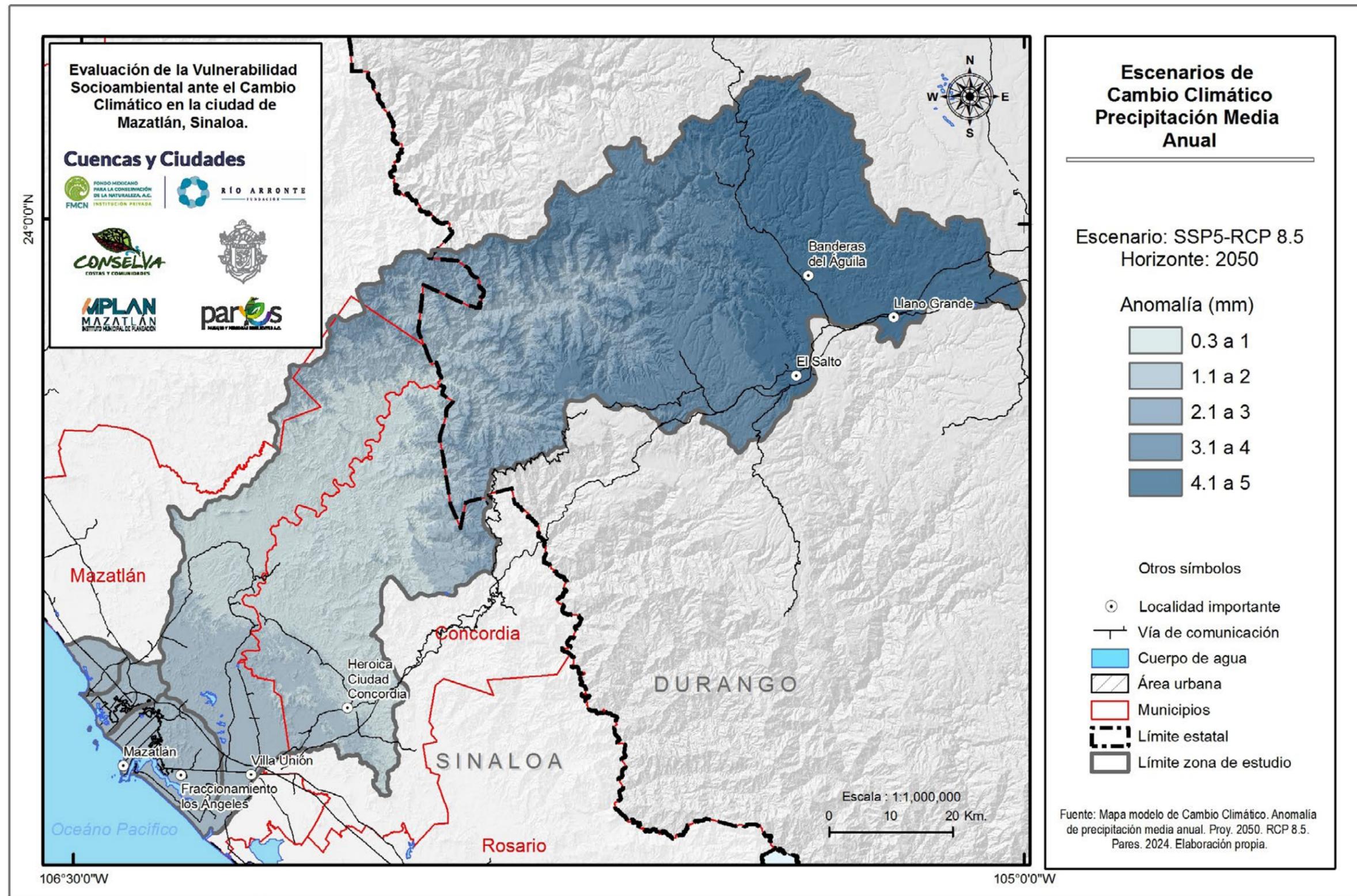


Figura 10. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2050. Fuente: Pares A.C.

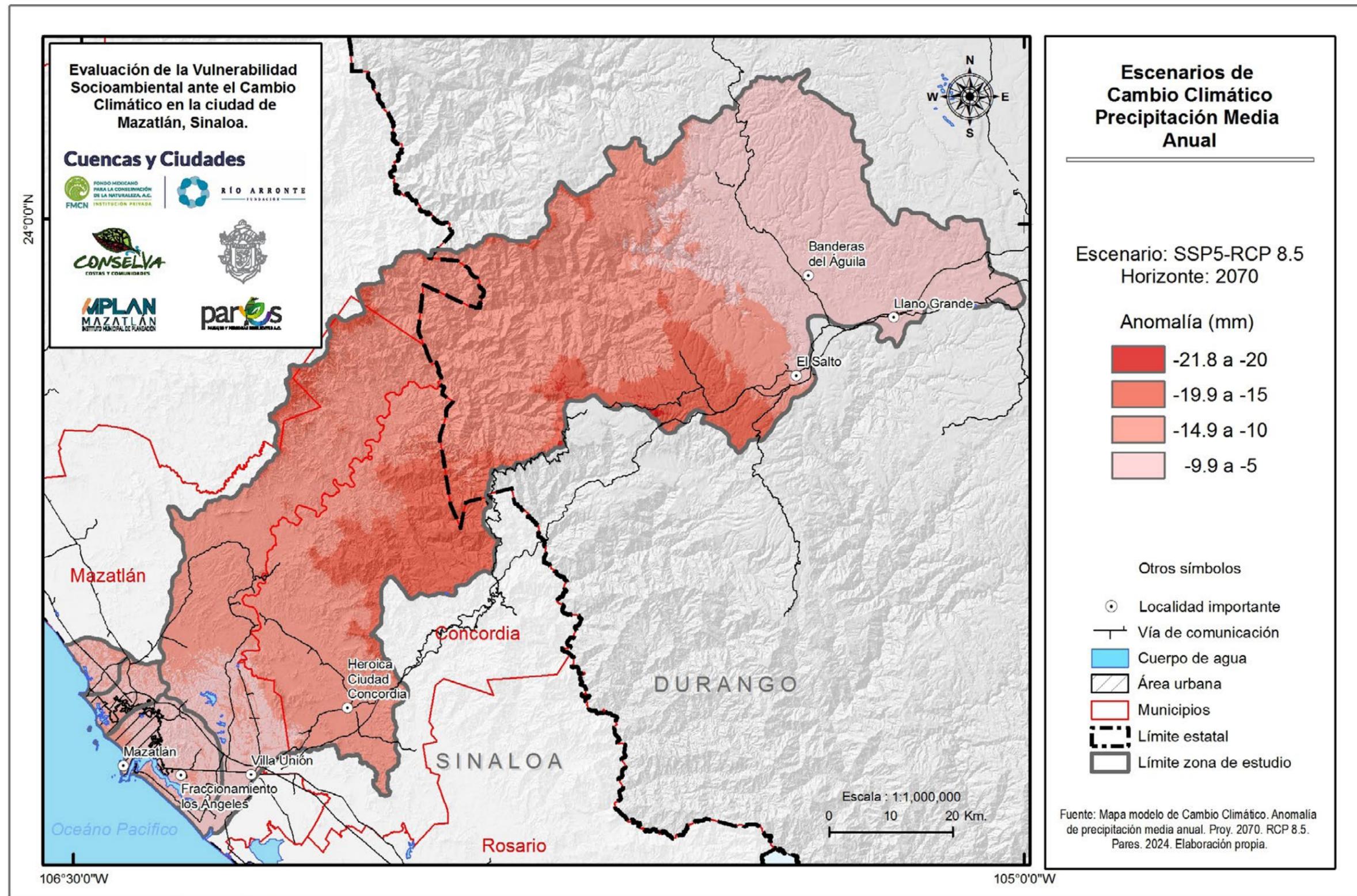


Figura 11. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-RCP 8.5 2070. Fuente: Pares A.C.

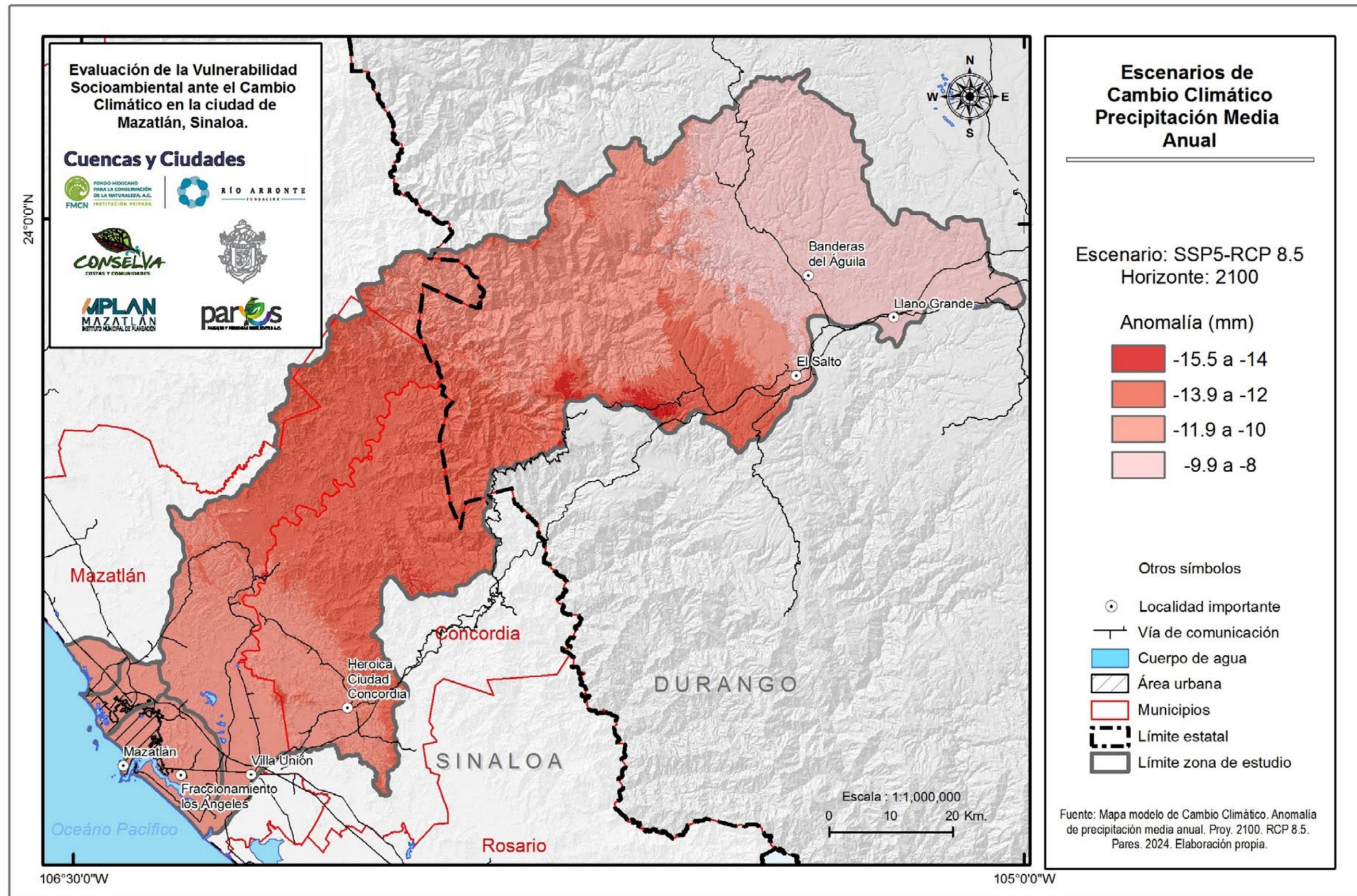


Figura 12. Anomalia de la precipitación media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 8.5 2100. Fuente: Pares A.C.

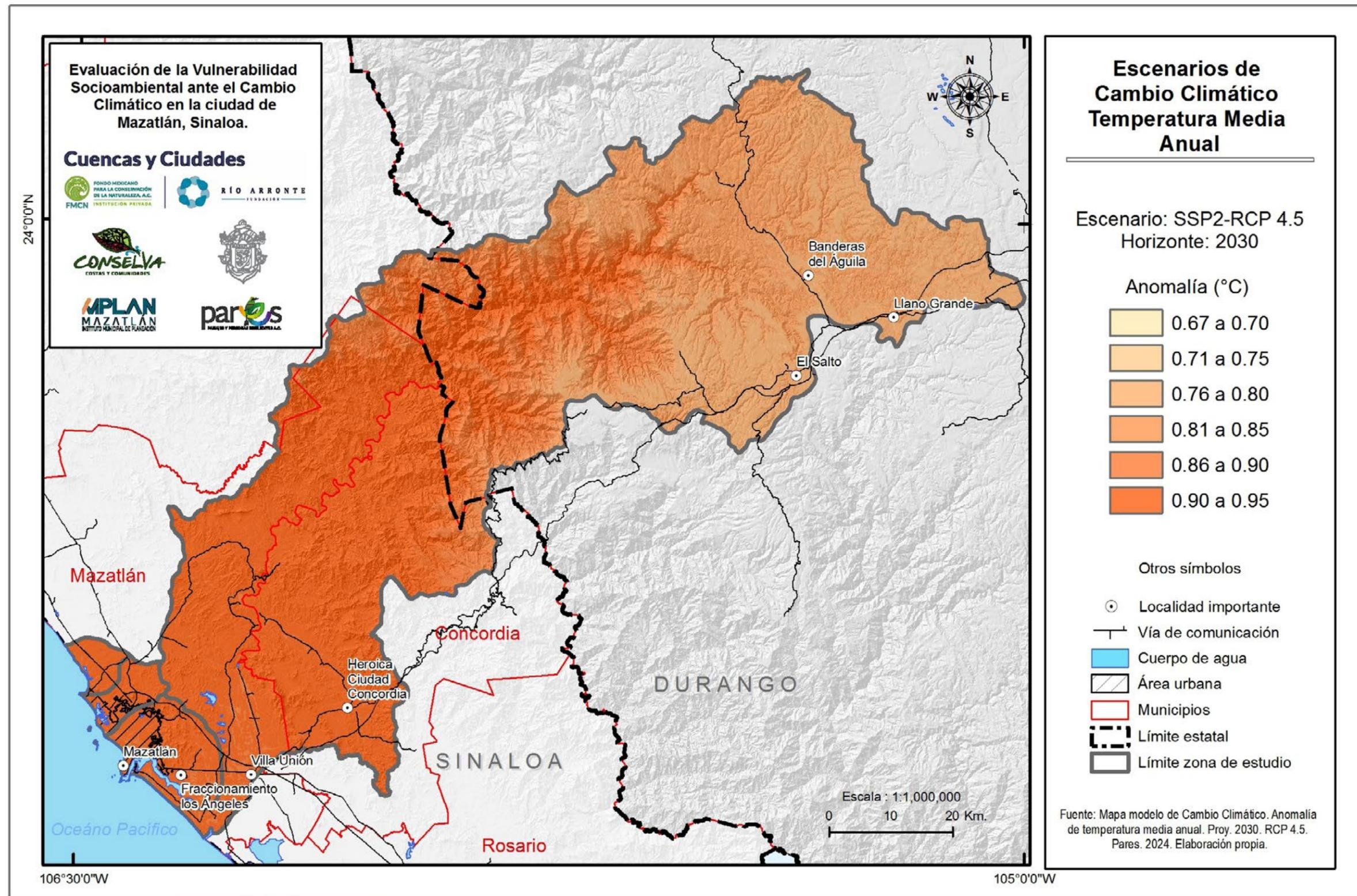


Figura 13. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-RCP 4.5 2030. Fuente: Pares A.C.

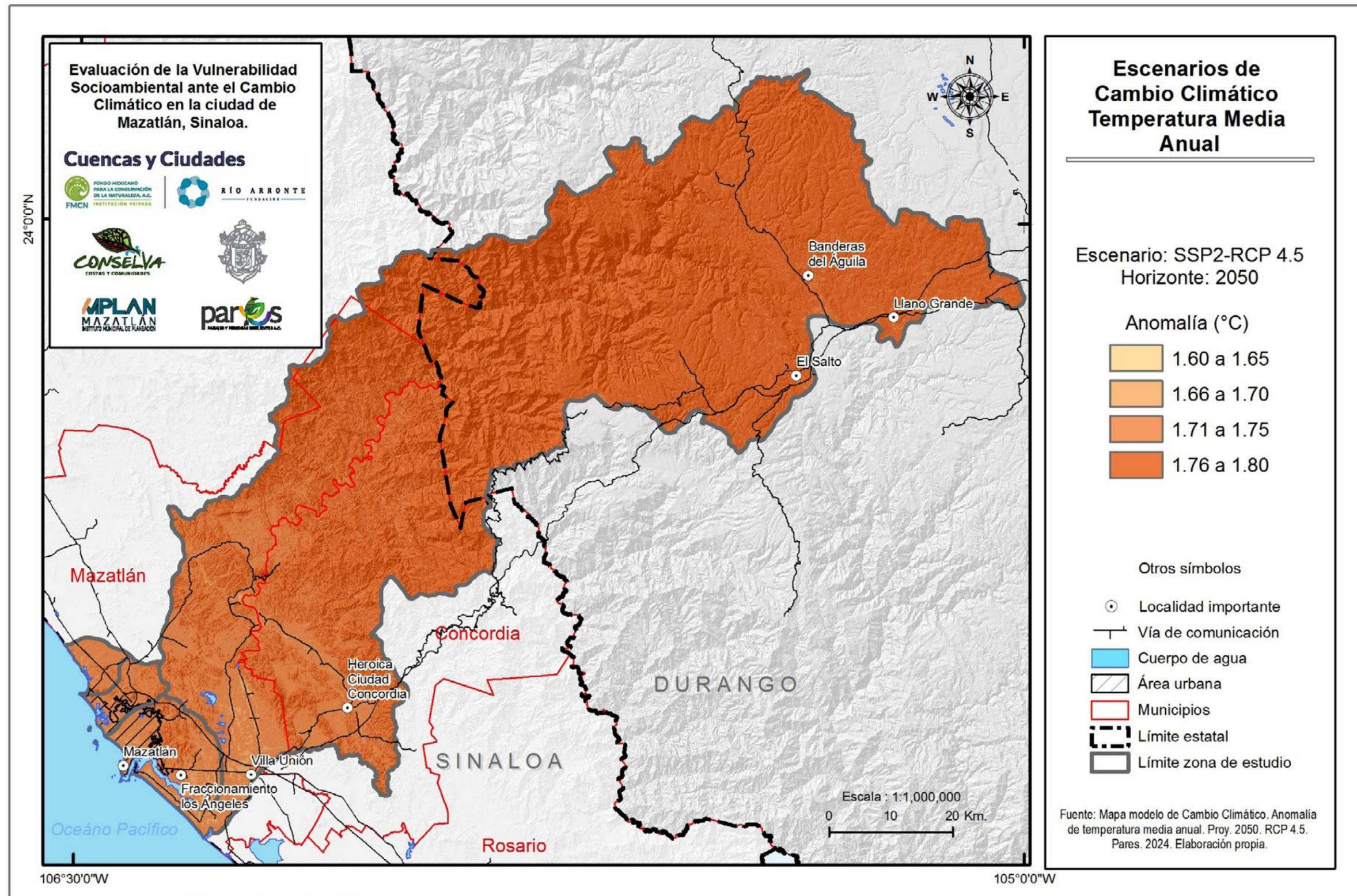


Figura 14. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2050. Fuente: Pares A.C.

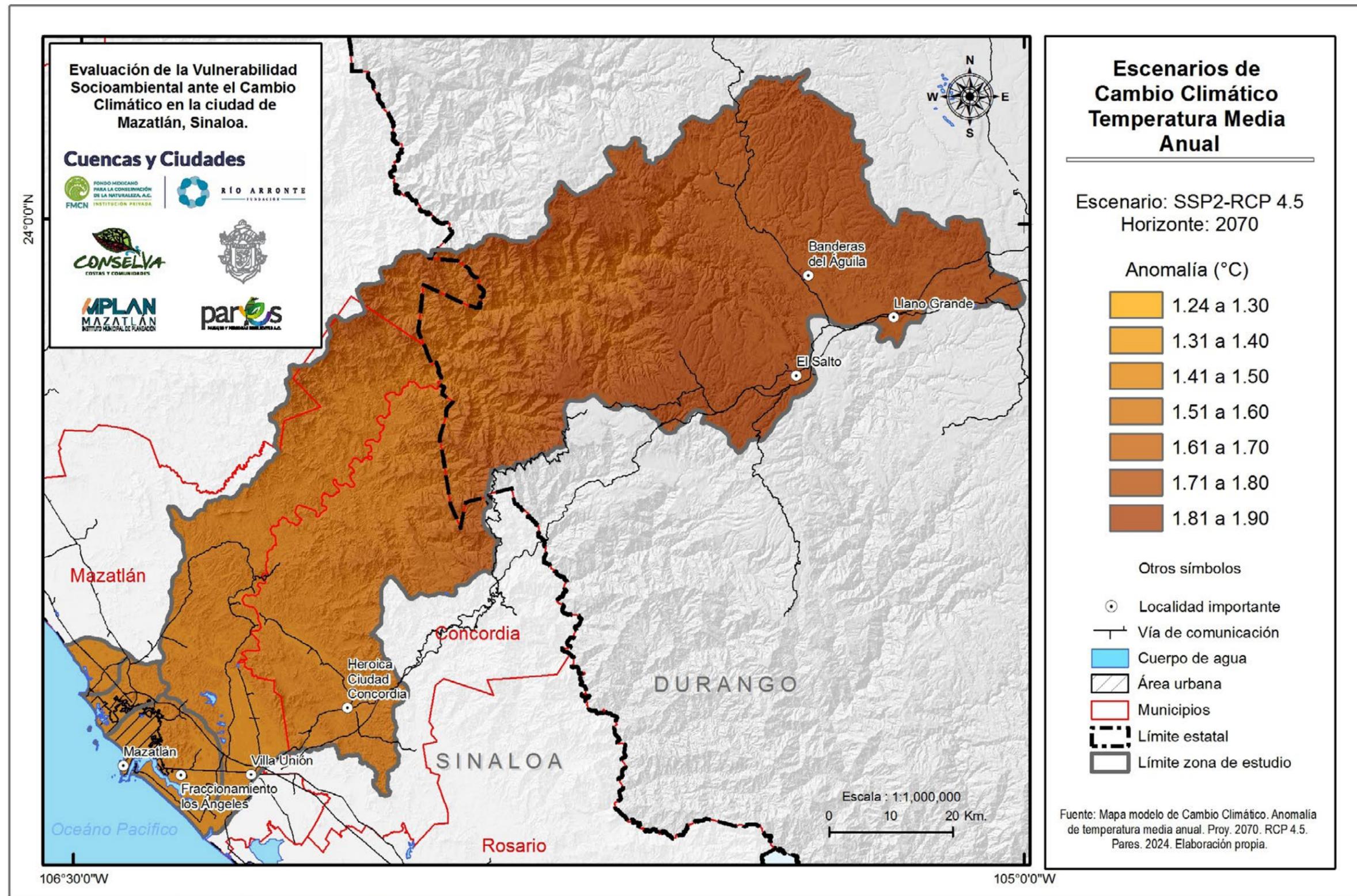


Figura 15. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2070. Fuente: Pares A.C.

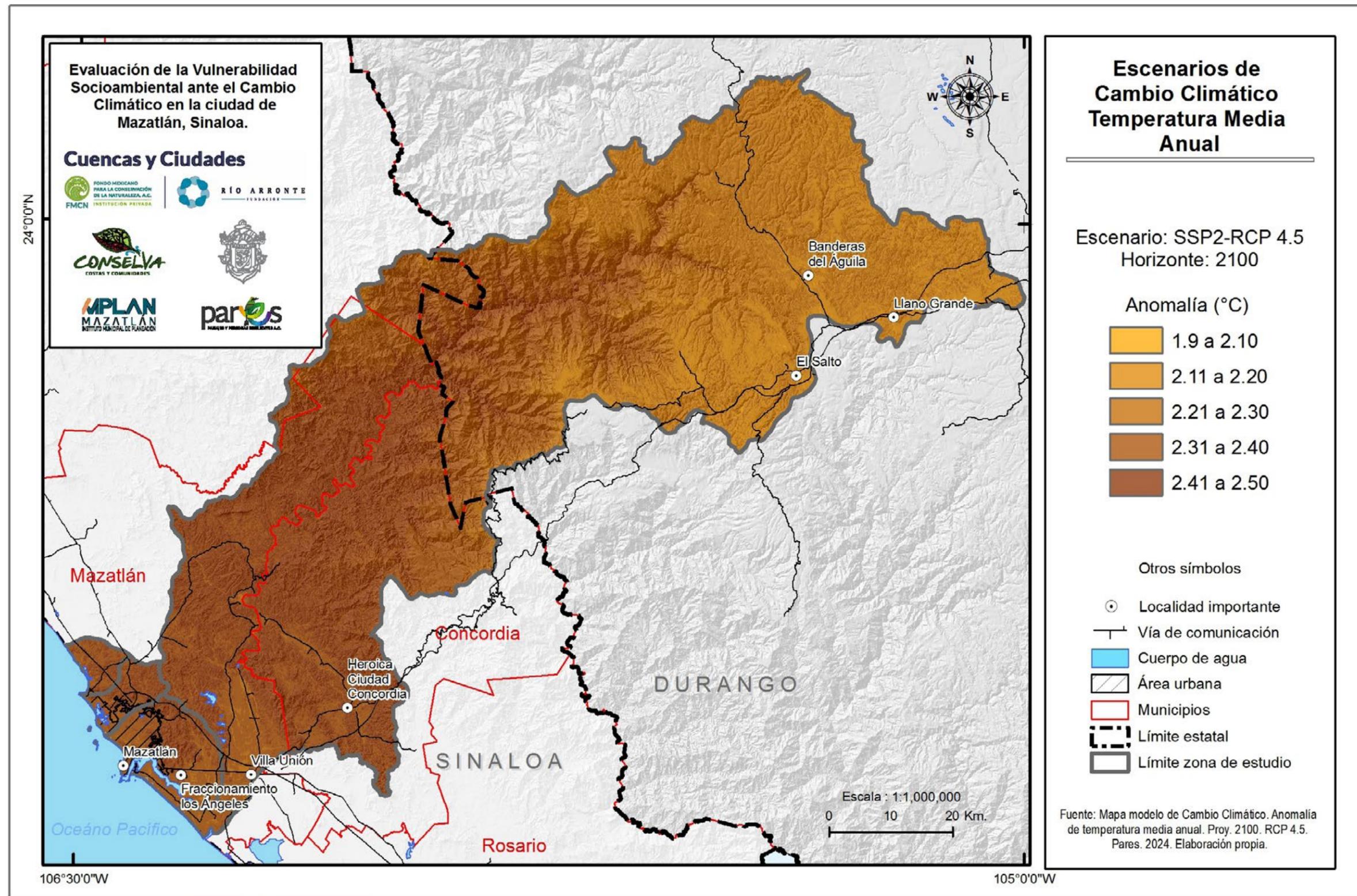


Figura 16. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP2-4.5 2100. Fuente: Pares A.C.

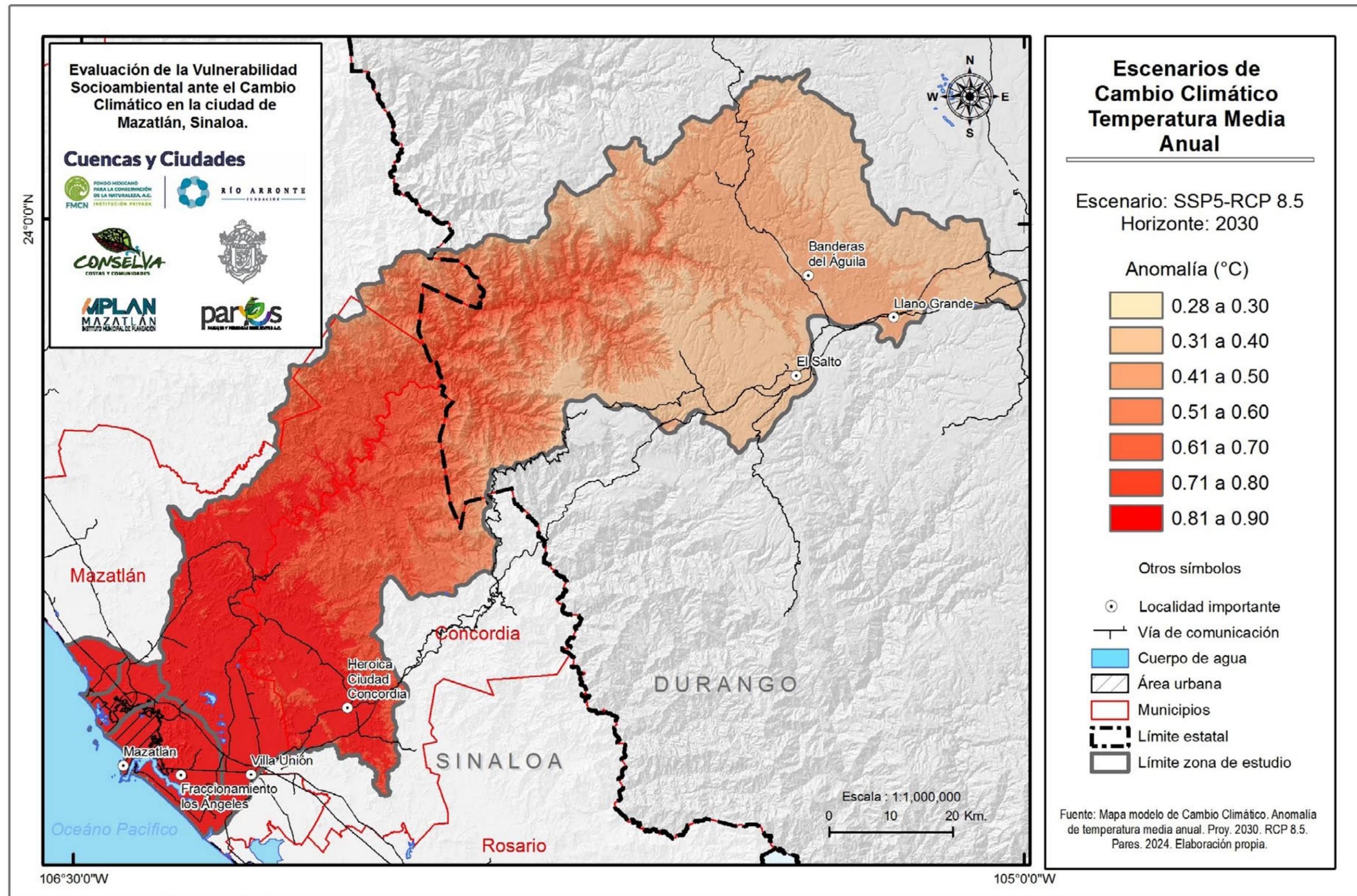


Figura 17. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2030. Fuente: Pares A.C.

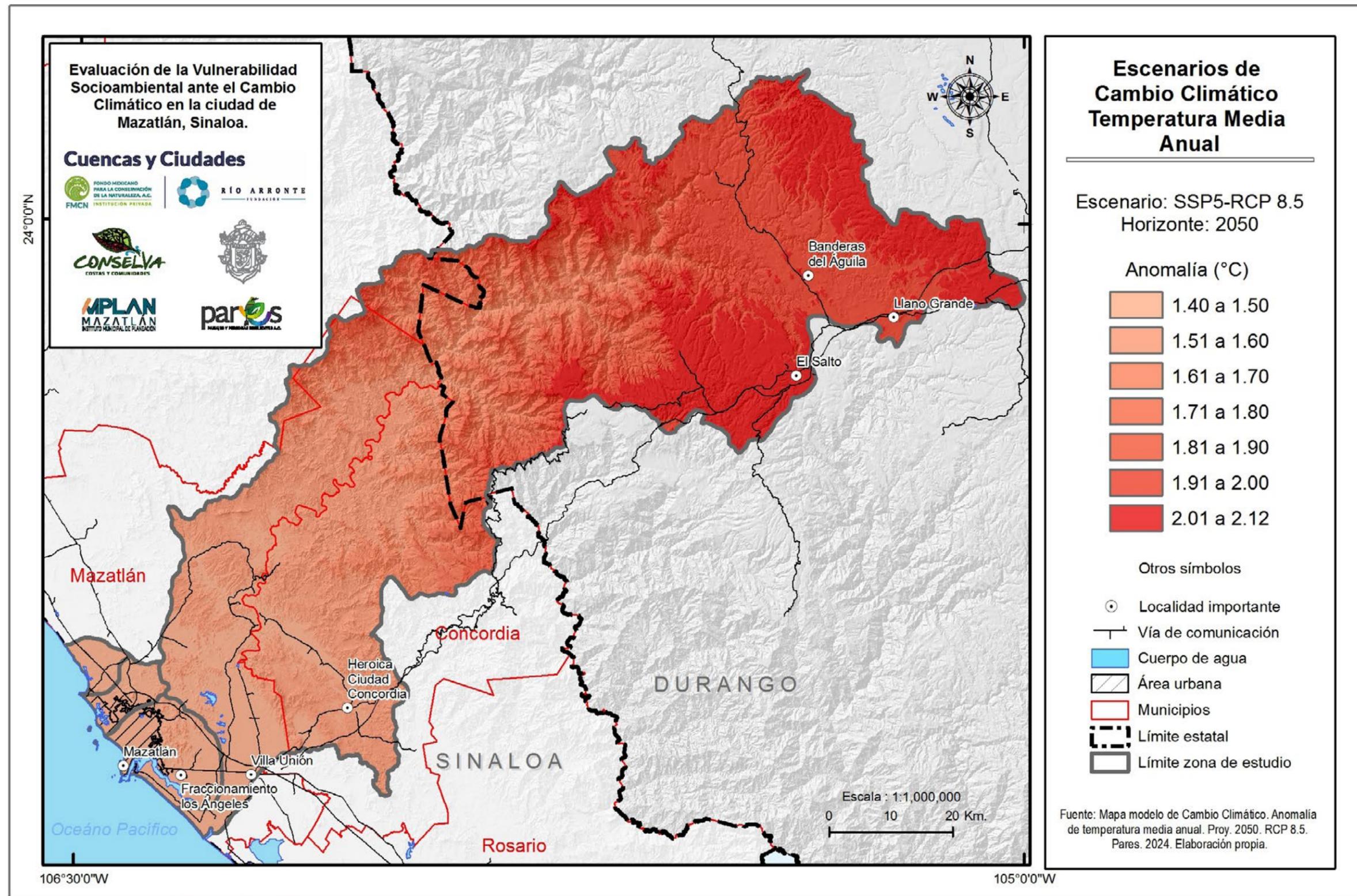


Figura 18. Anomalia de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2050. Fuente: Pares A.C.

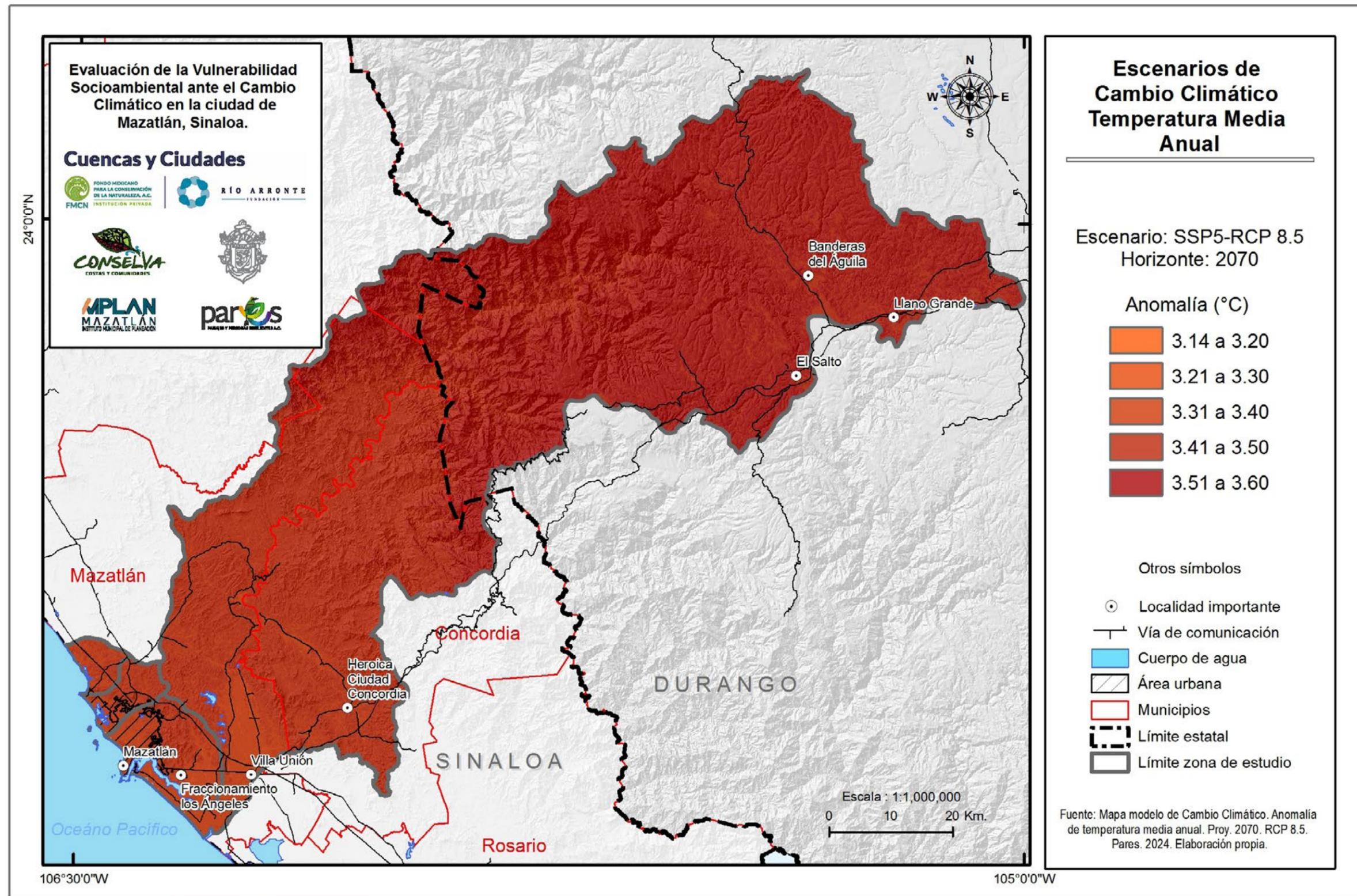


Figura 19 Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2070. Fuente: Pares A.C.

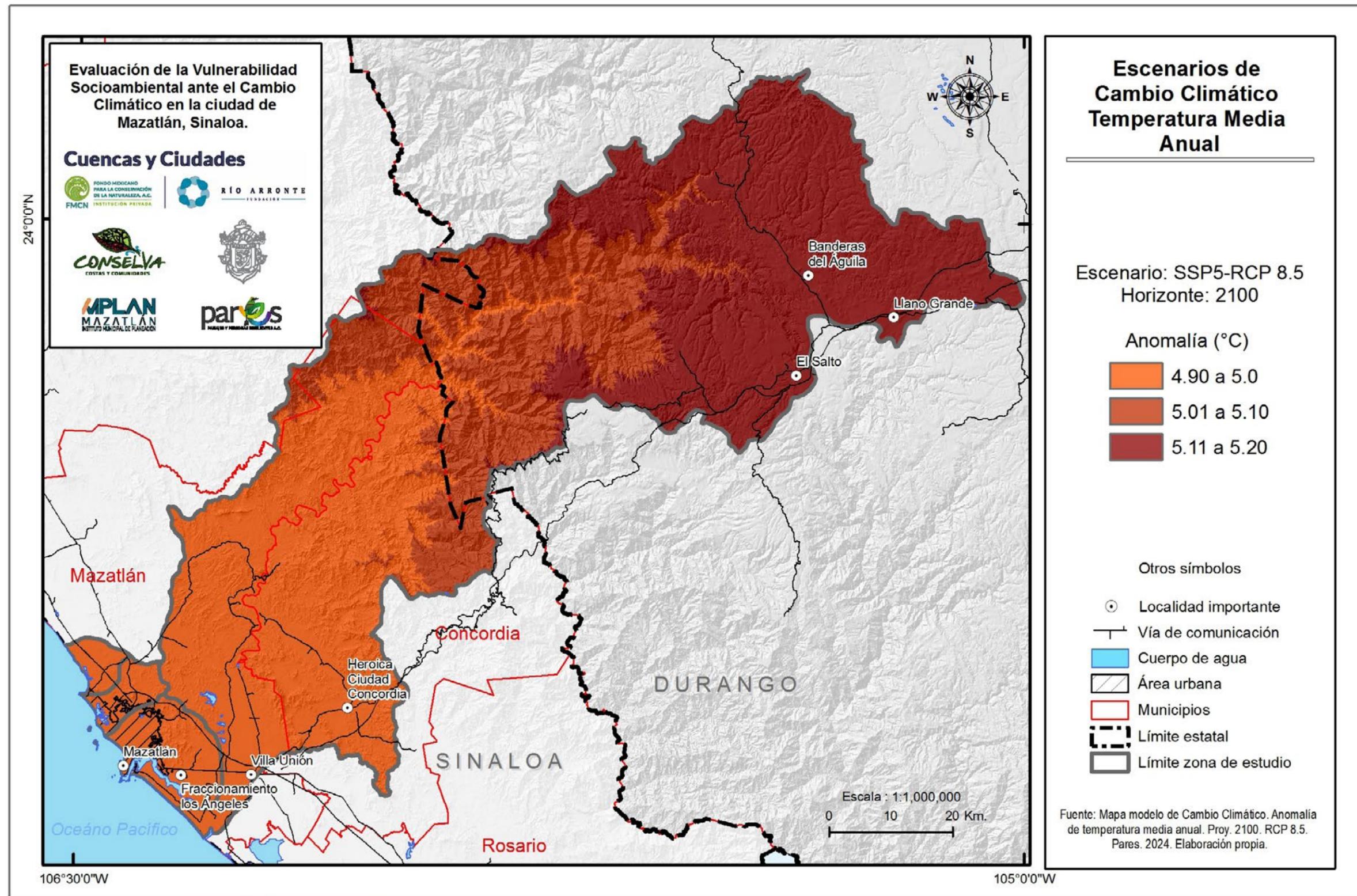


Figura 20. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de Cambio Climático SSP5-8.5 2100. Fuente: Pares A.C.

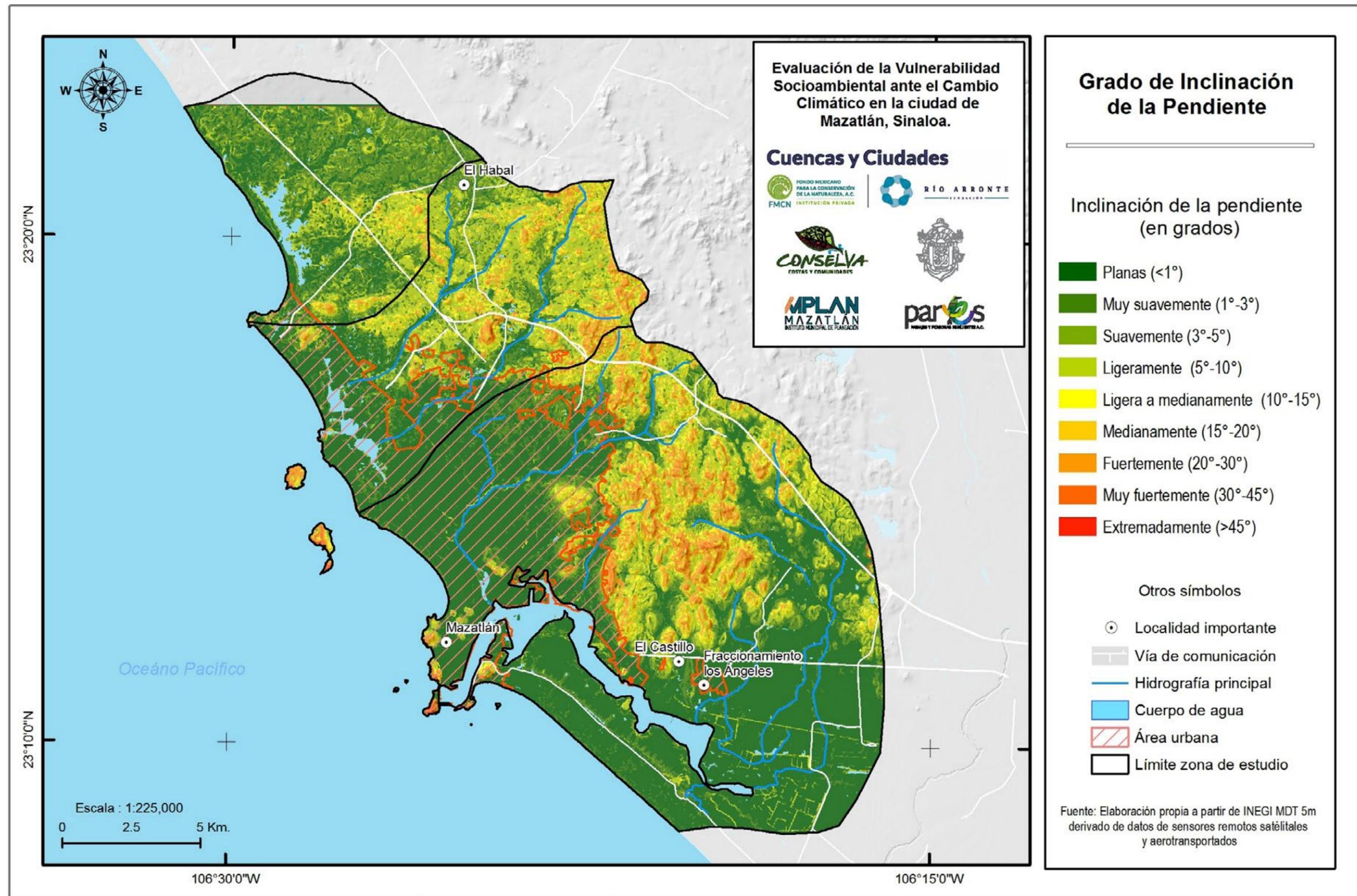


Figura 25. Grado de inclinación de la pendiente. Fuente: Pares A.C. con información de INEGI, 2015.

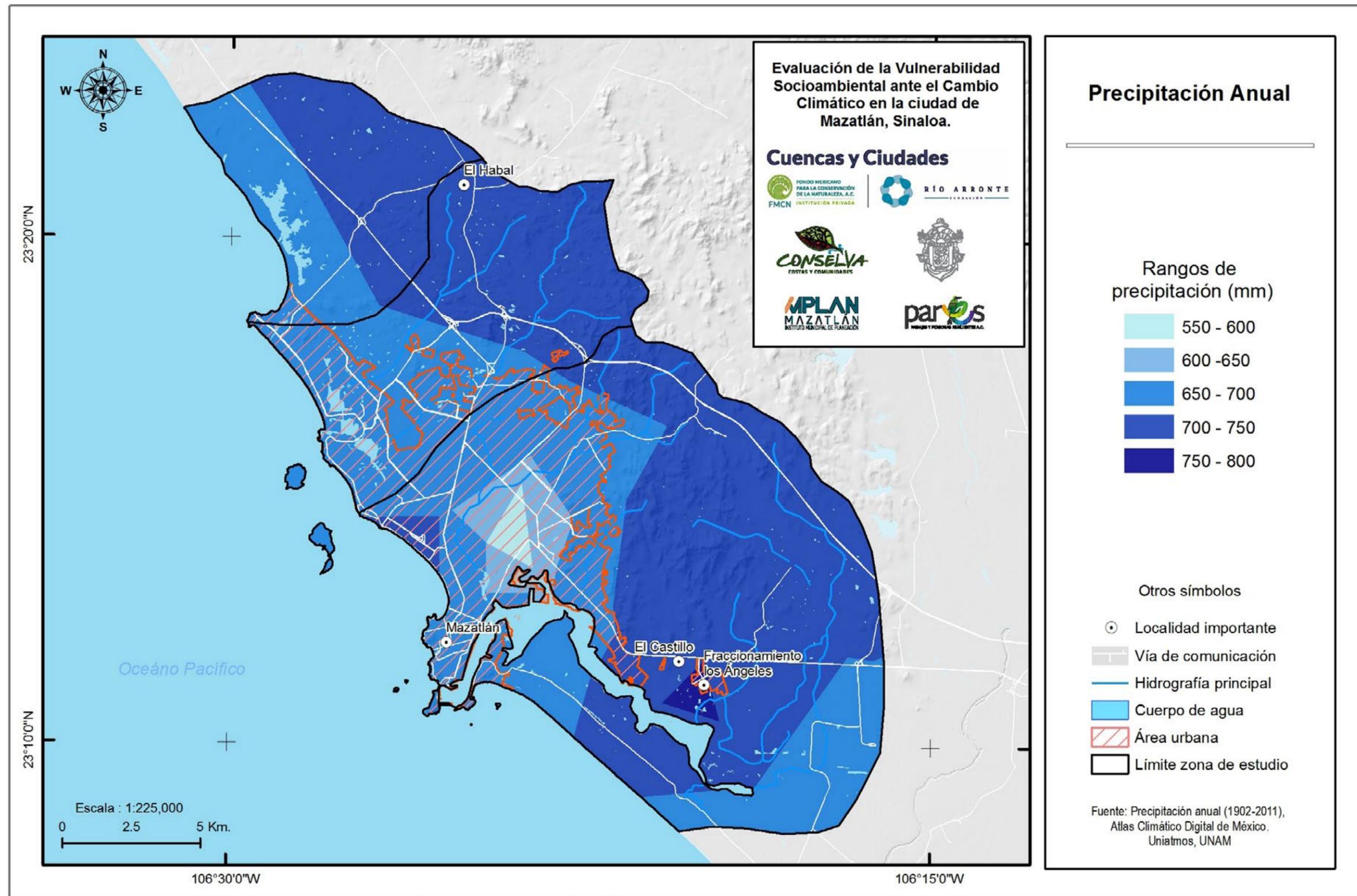


Figura 26. Precipitación anual. Fuente: Pares A.C. con datos del atlas climático digital de México, UNIAMTOS, UNAM 1902-2011.

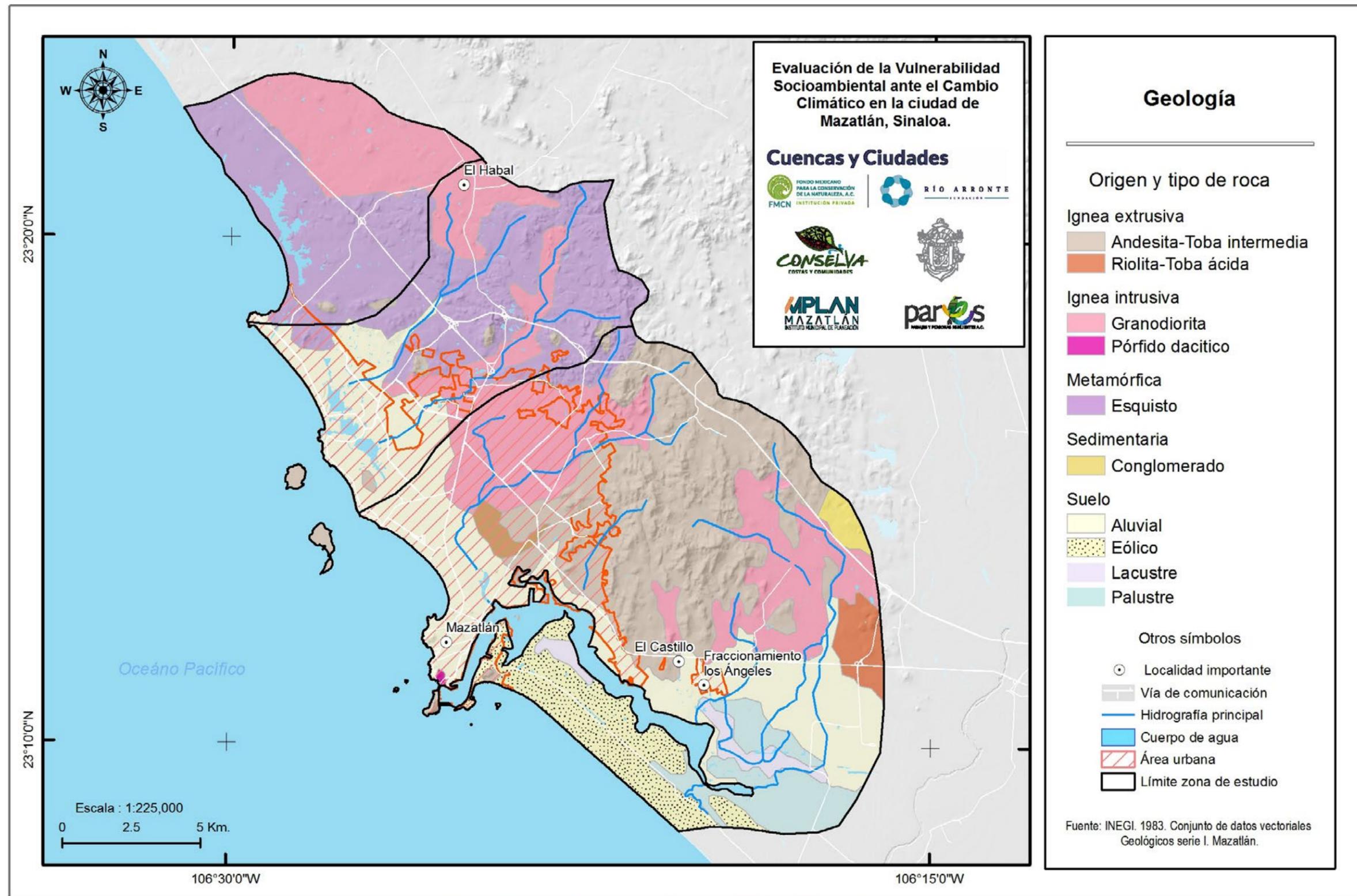


Figura 27. Geología, origen y tipos de roca. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI 1983.

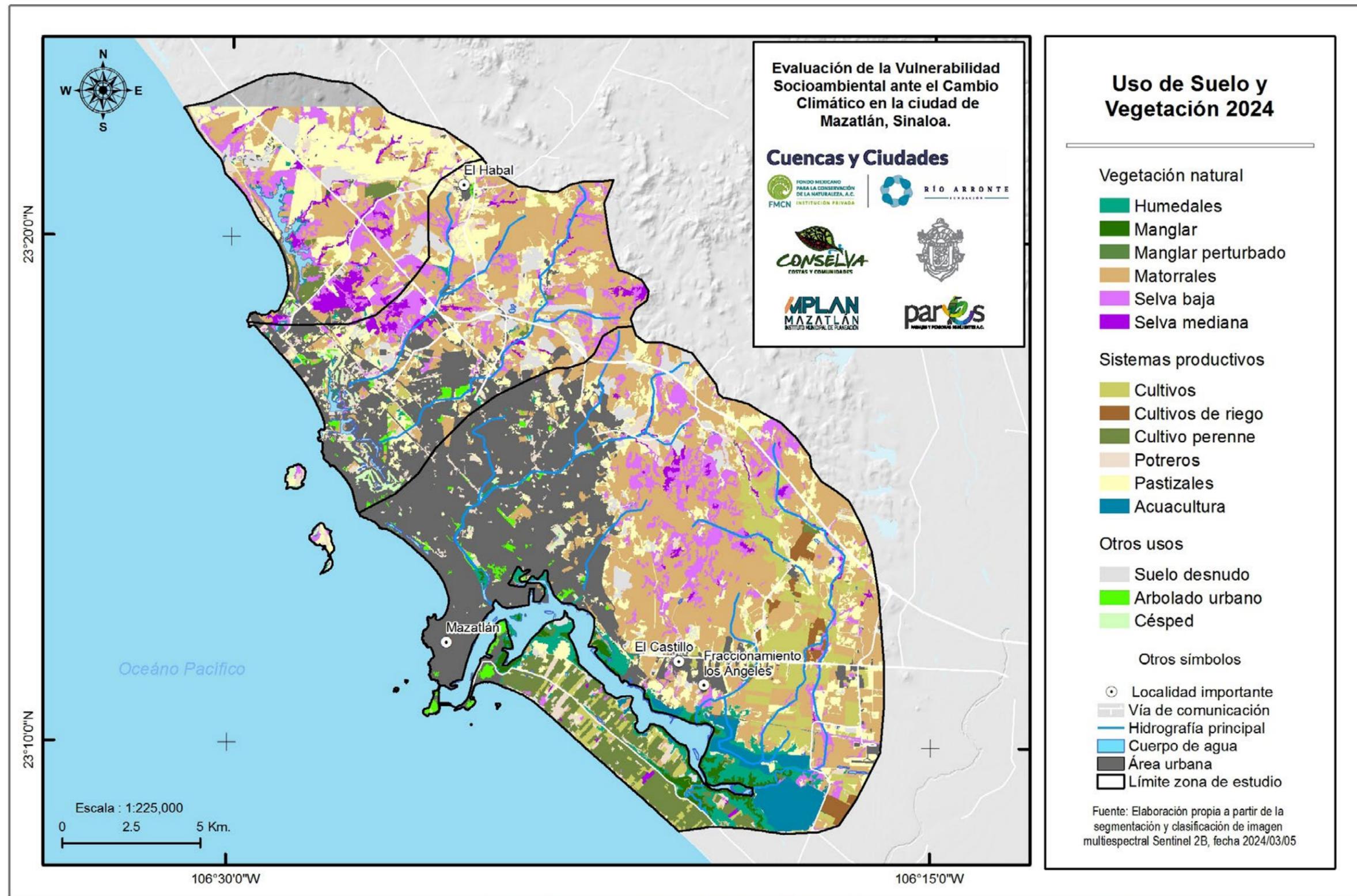


Figura 29. Usos de suelo y vegetación. Fuente: Pares A.C. con datos Sentinel, 2024.

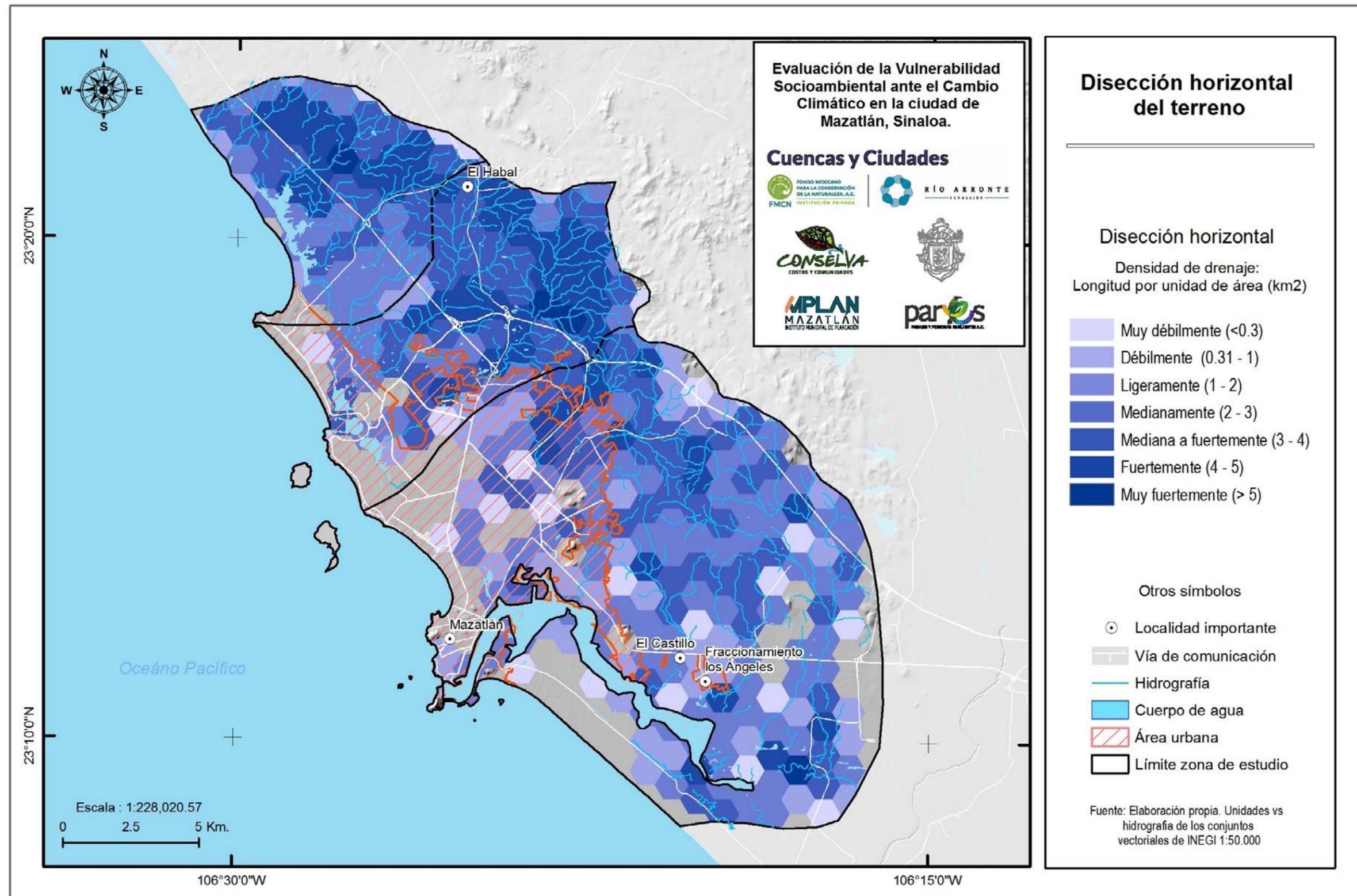


Figura 30. Disección horizontal del terreno. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 2021.

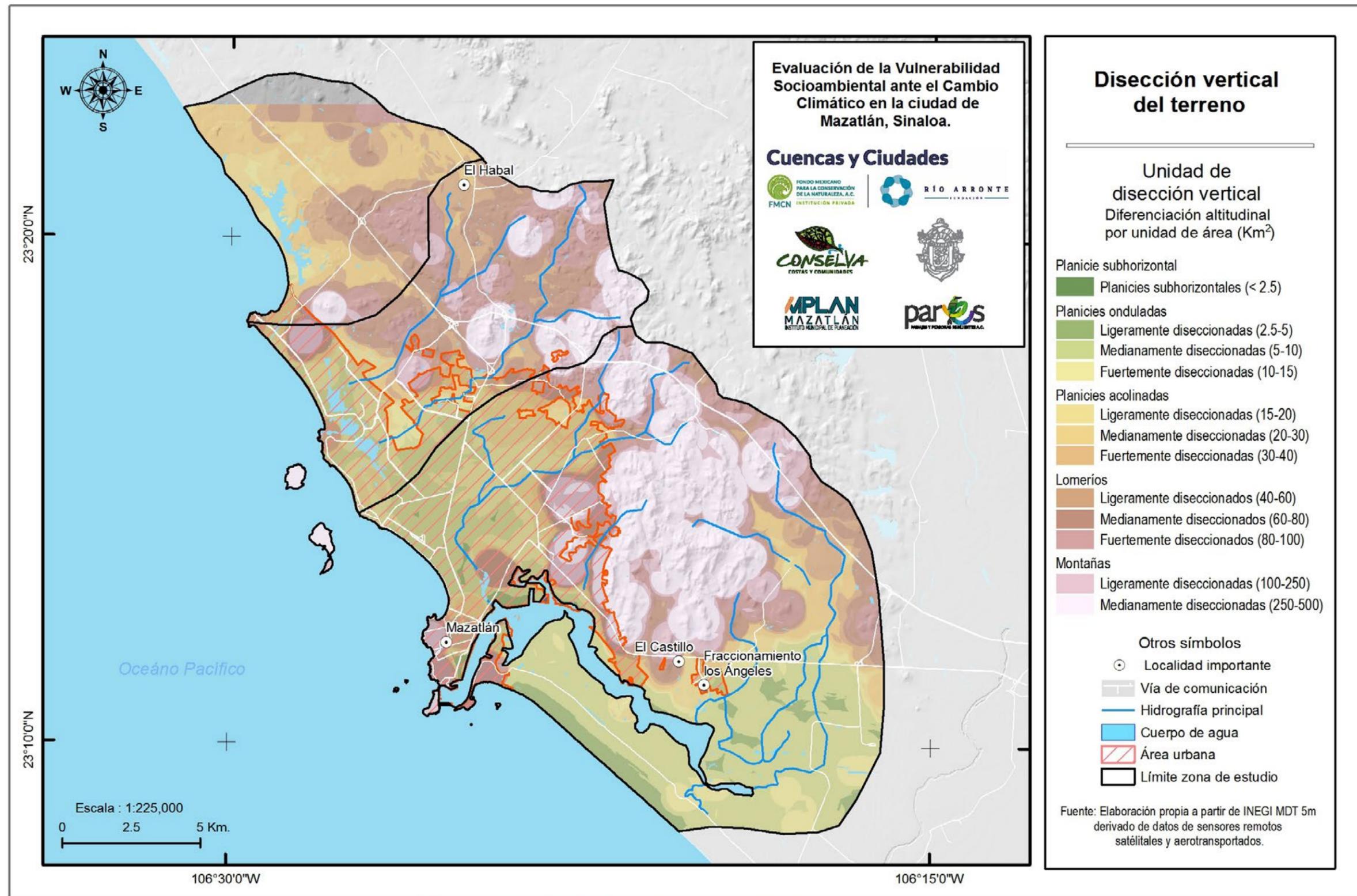


Figura 31. Disección vertical del terreno. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 2015.

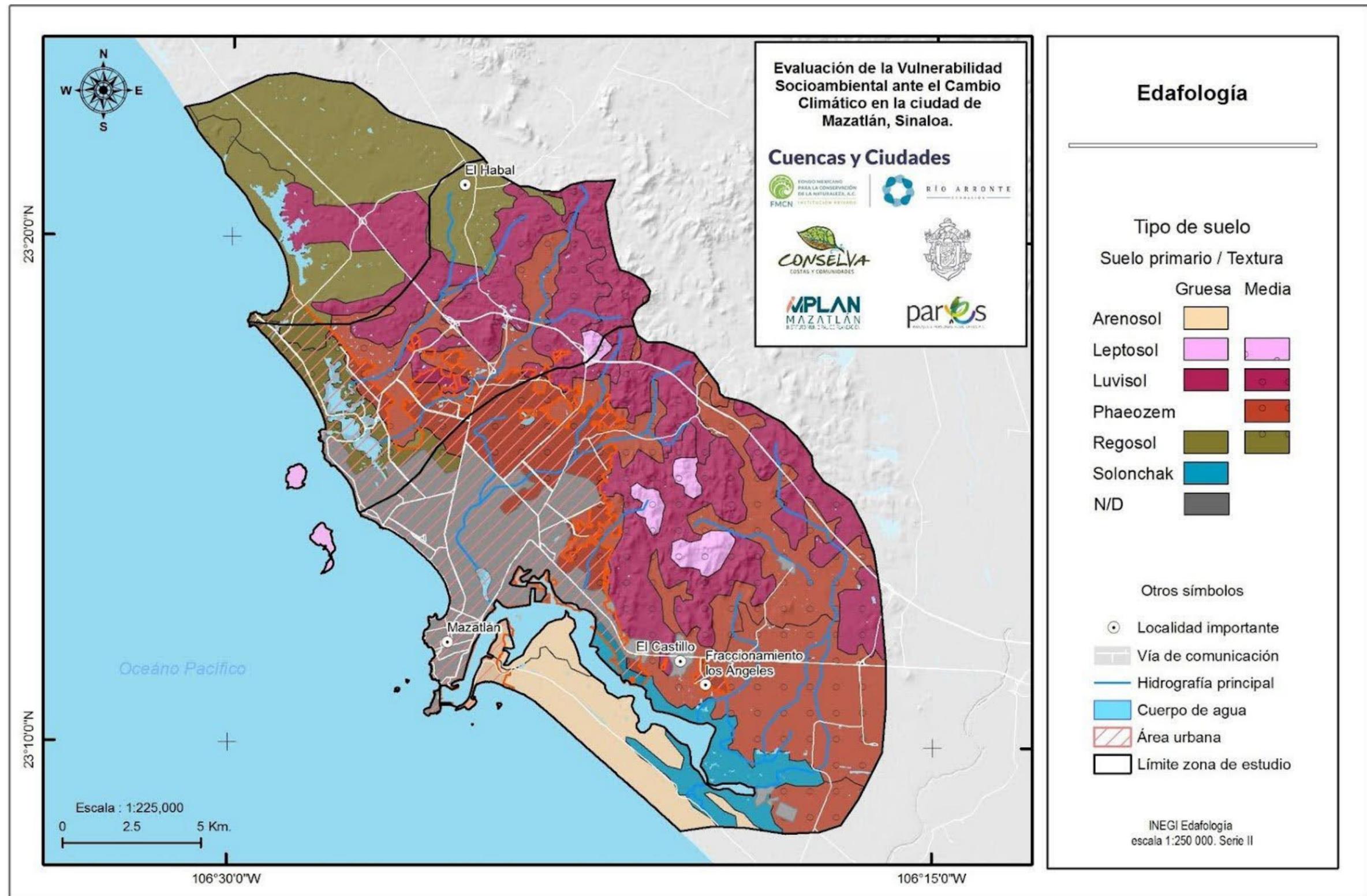


Figura 32. Edafología. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 2007

Evaluación de la Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

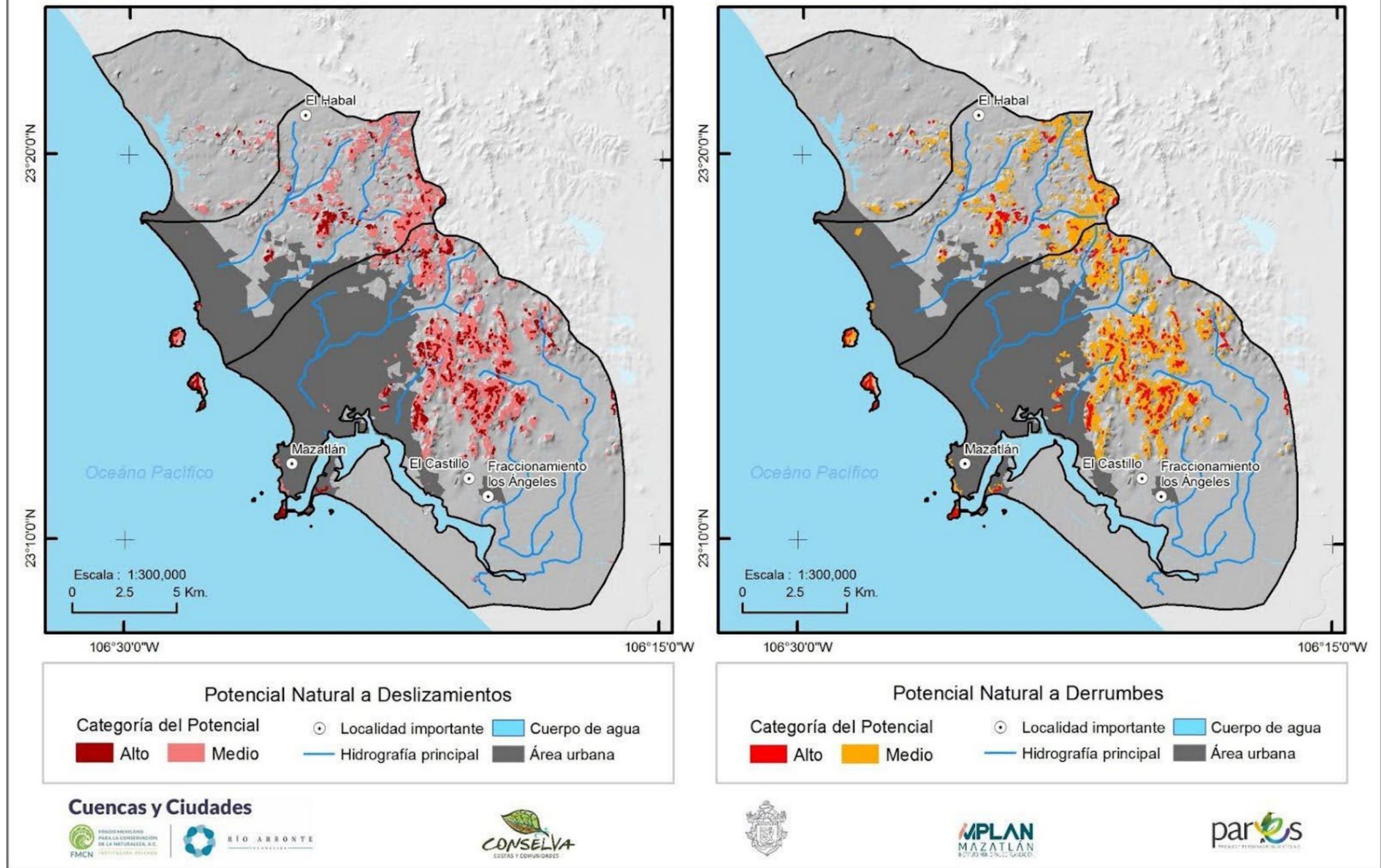


Figura 33. Mapas de potencial de derrumbes y deslizamientos. Fuente: Pares A.C.

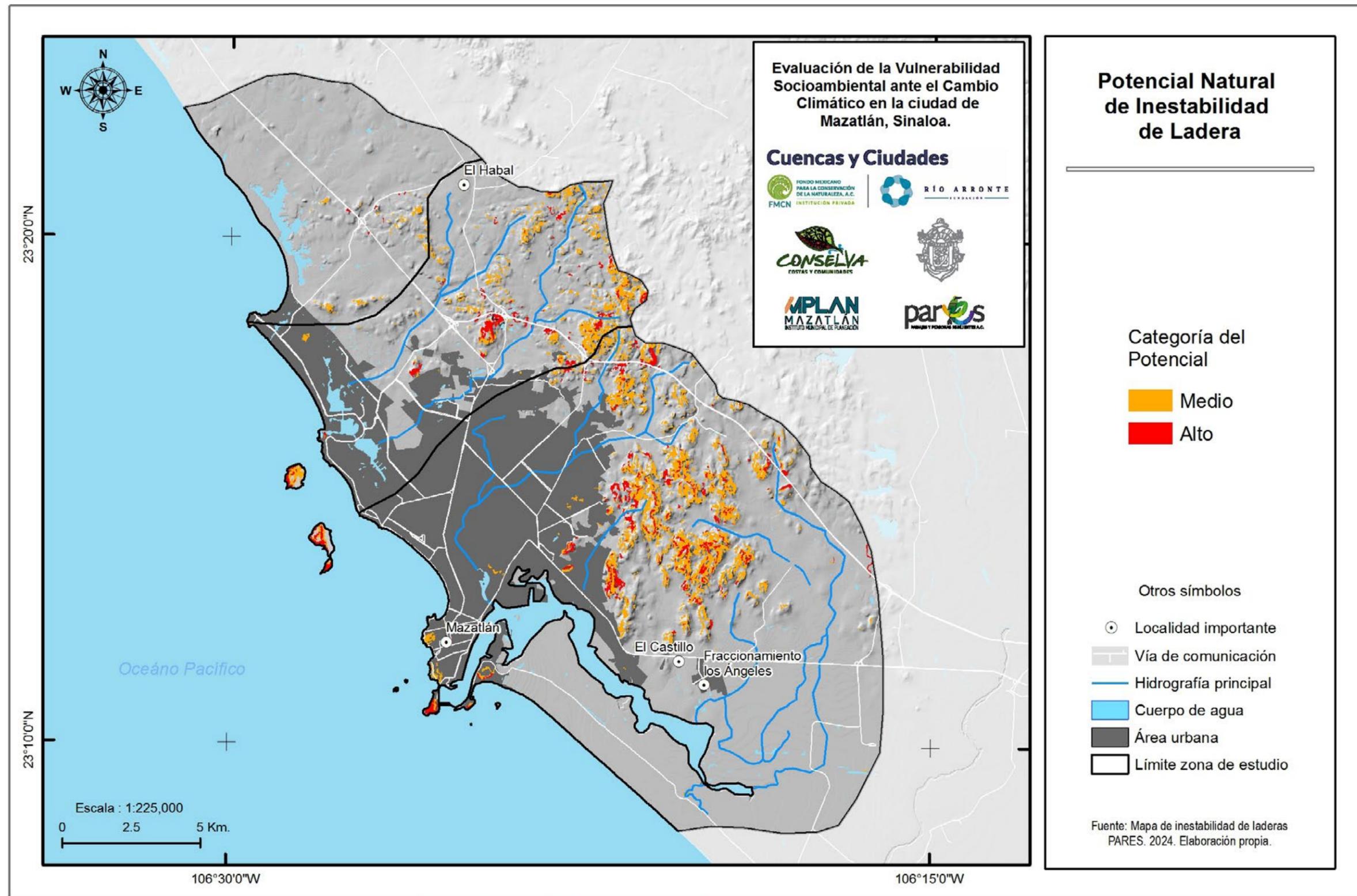


Figura 34. Potencial natural de inestabilidad de ladera. Fuente: Pares A.C.

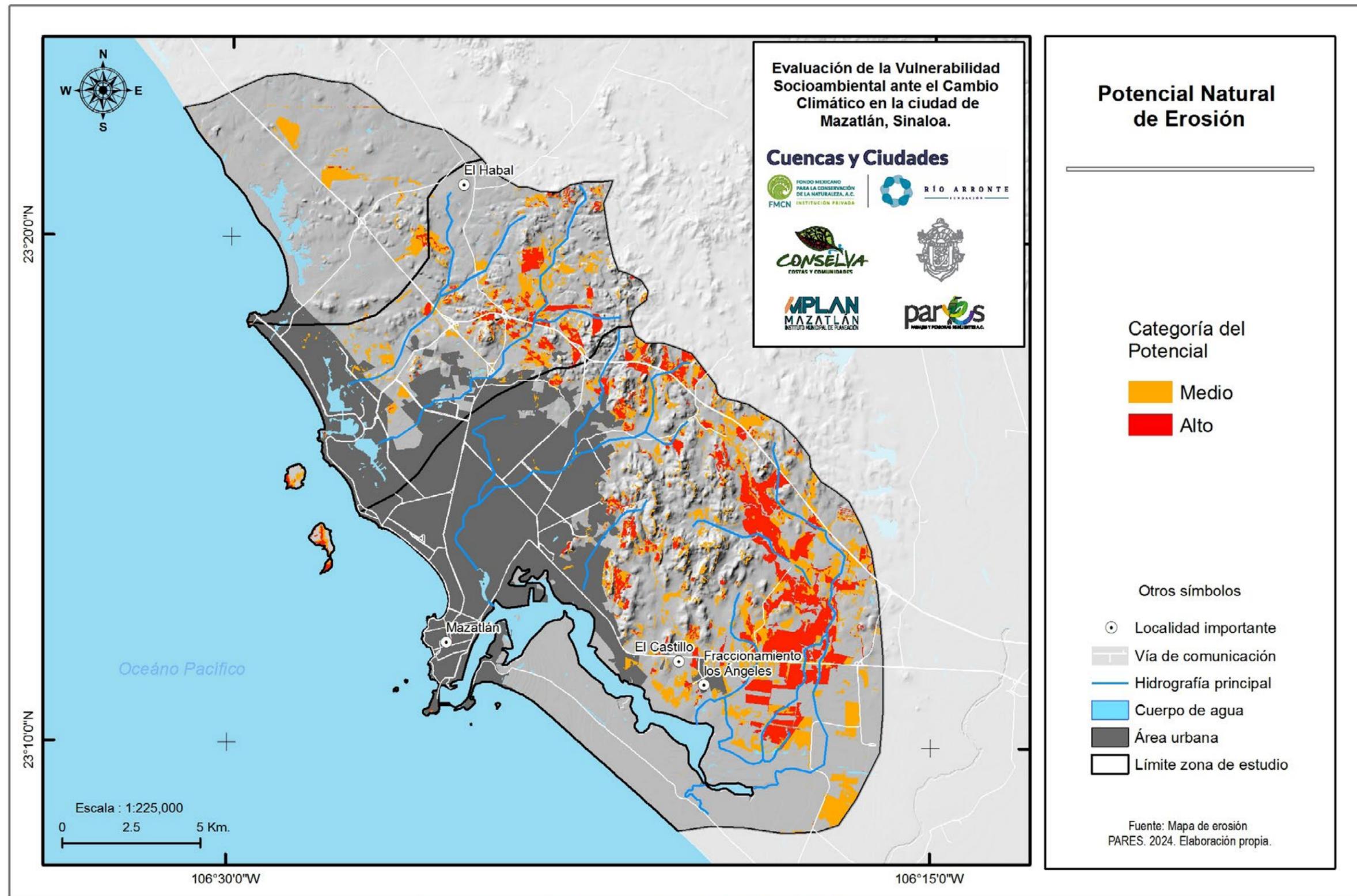


Figura 36. Potencial natural de erosión. Fuente: Pares A.C.

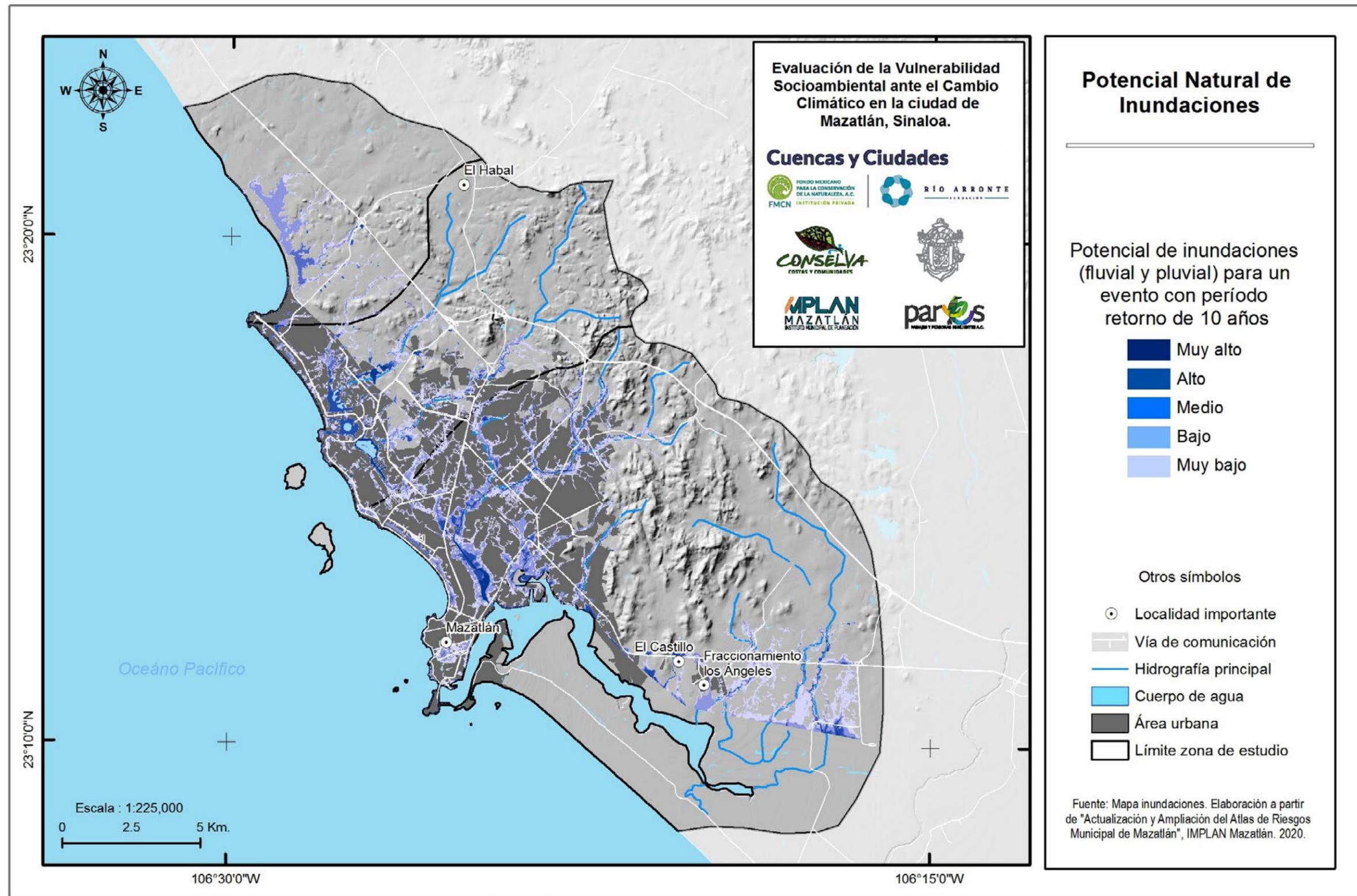


Figura 39. Potencial natural de inundaciones. Fuentes: Pares, A.C. con datos de IMPLAN 2020.

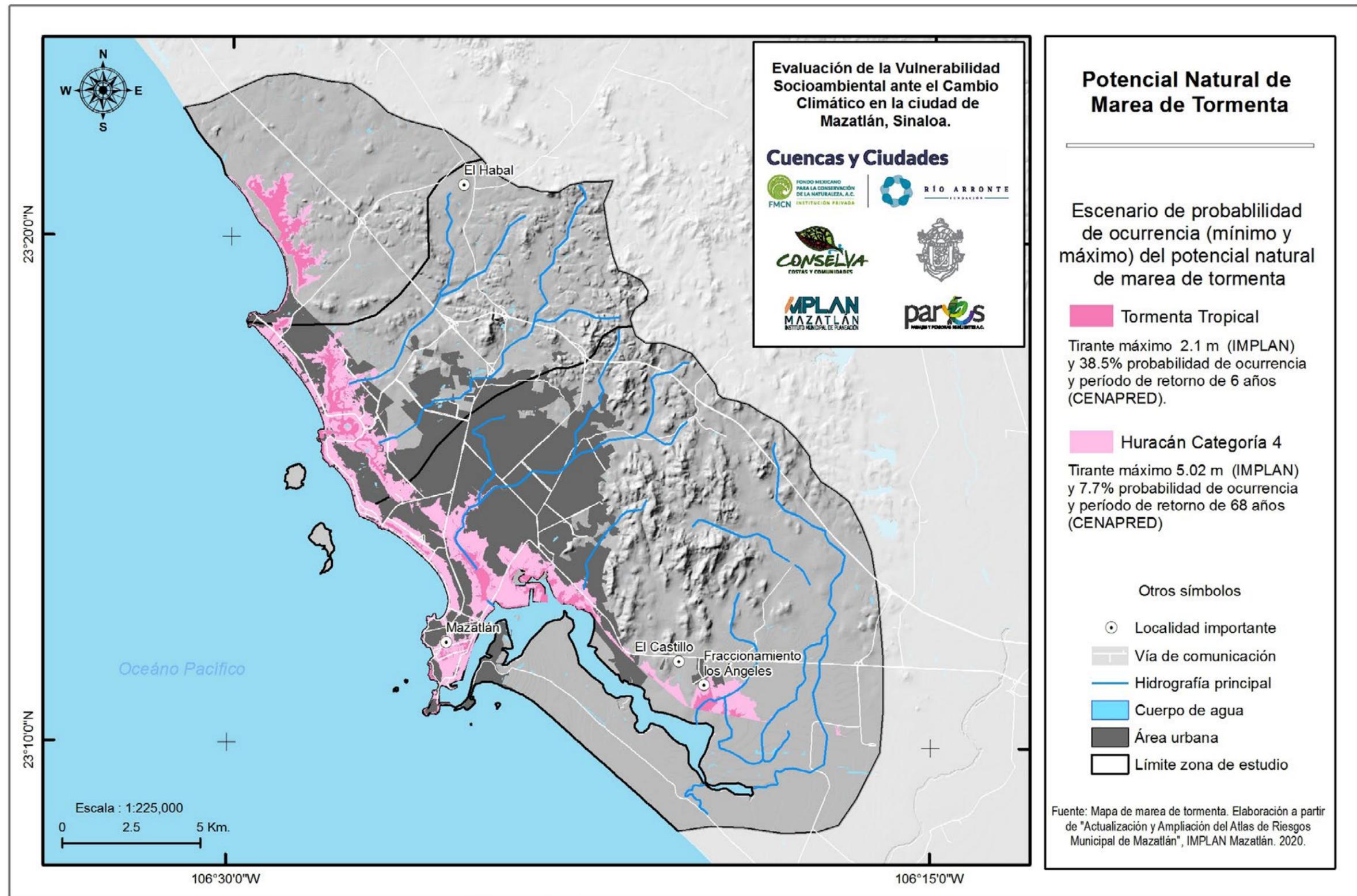


Figura 42. Potencial natural de marea de tormenta. Fuente. Pares, A.C. con datos de IMPLAN Mazatlán, 2020.

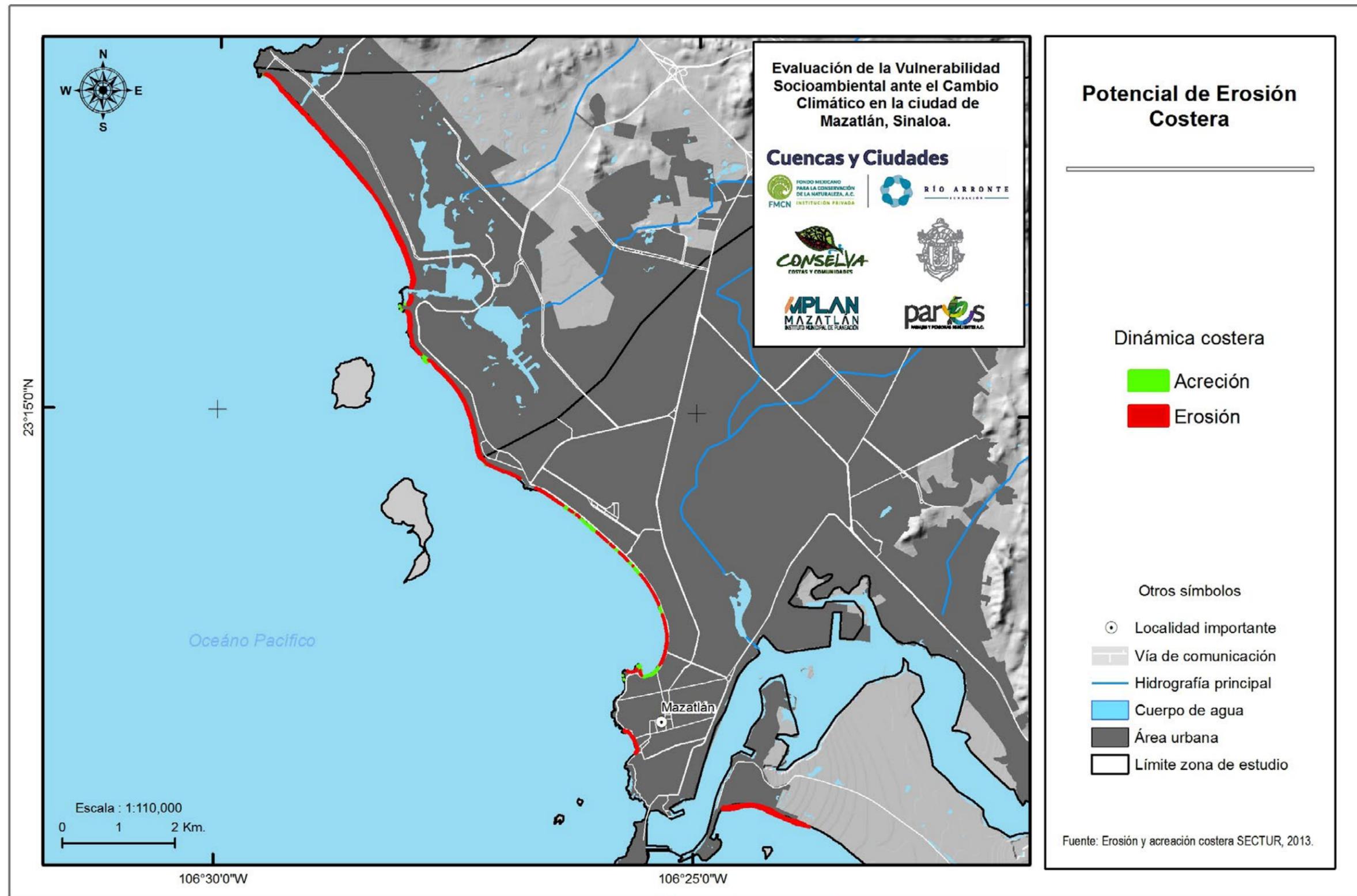


Figura 43. Potencial de erosión costera. Fuente: Pares, A. C.

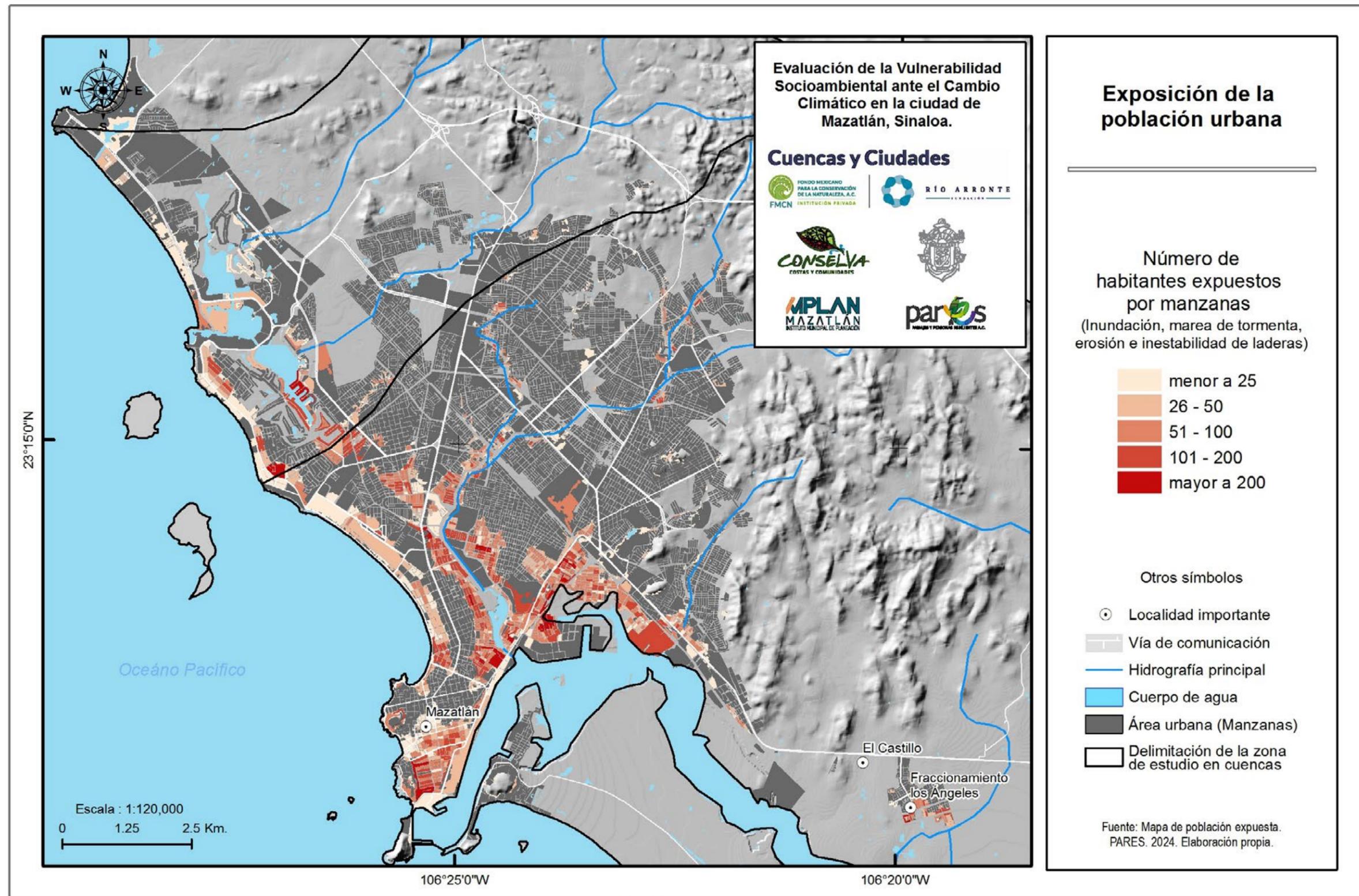


Figura 45. Exposición de la población urbana. Fuente: Pares A.C.

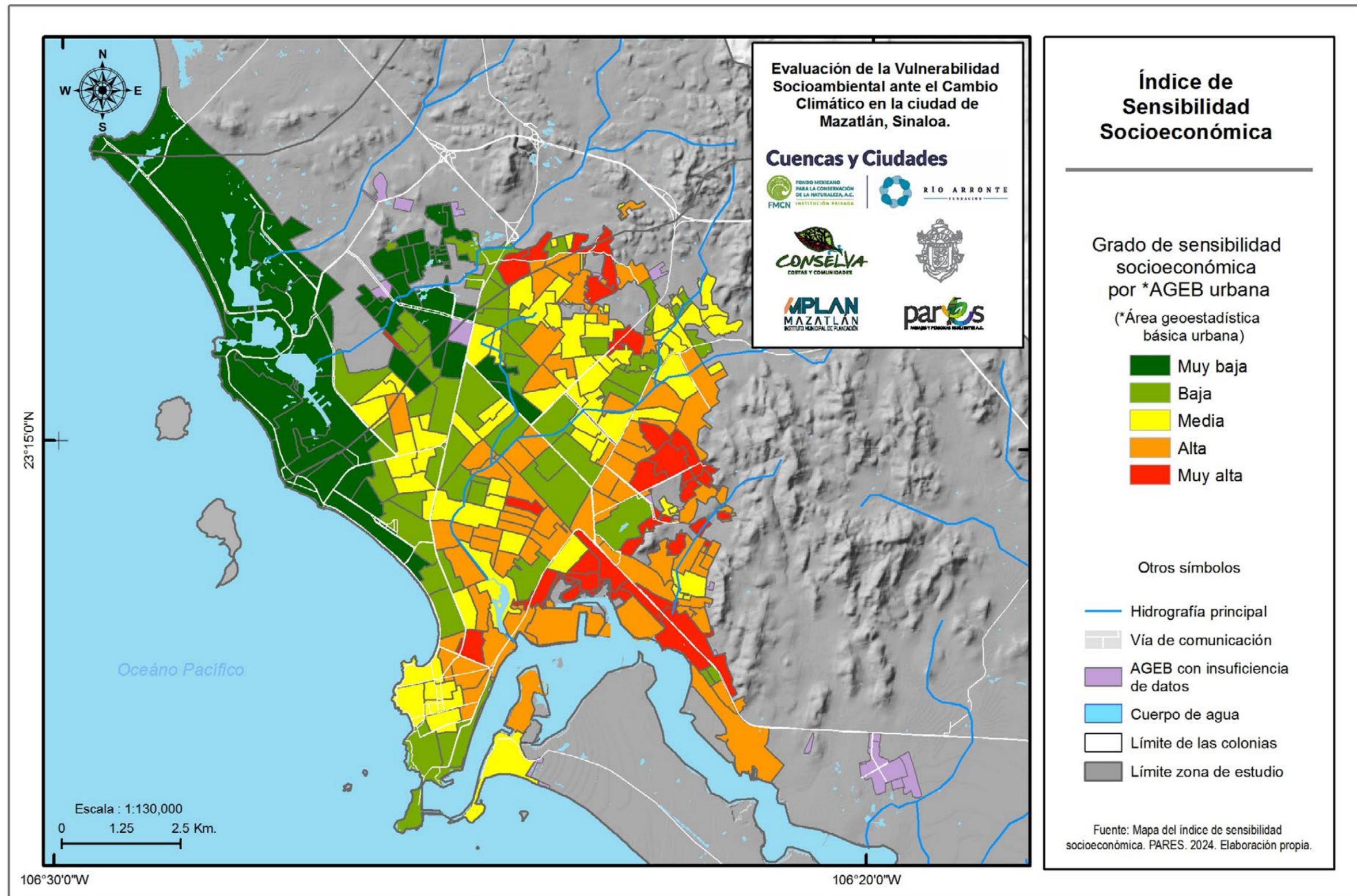


Figura 50. Grado de sensibilidad socioeconómica por AGEB urbana. Fuente: Pares A.C.

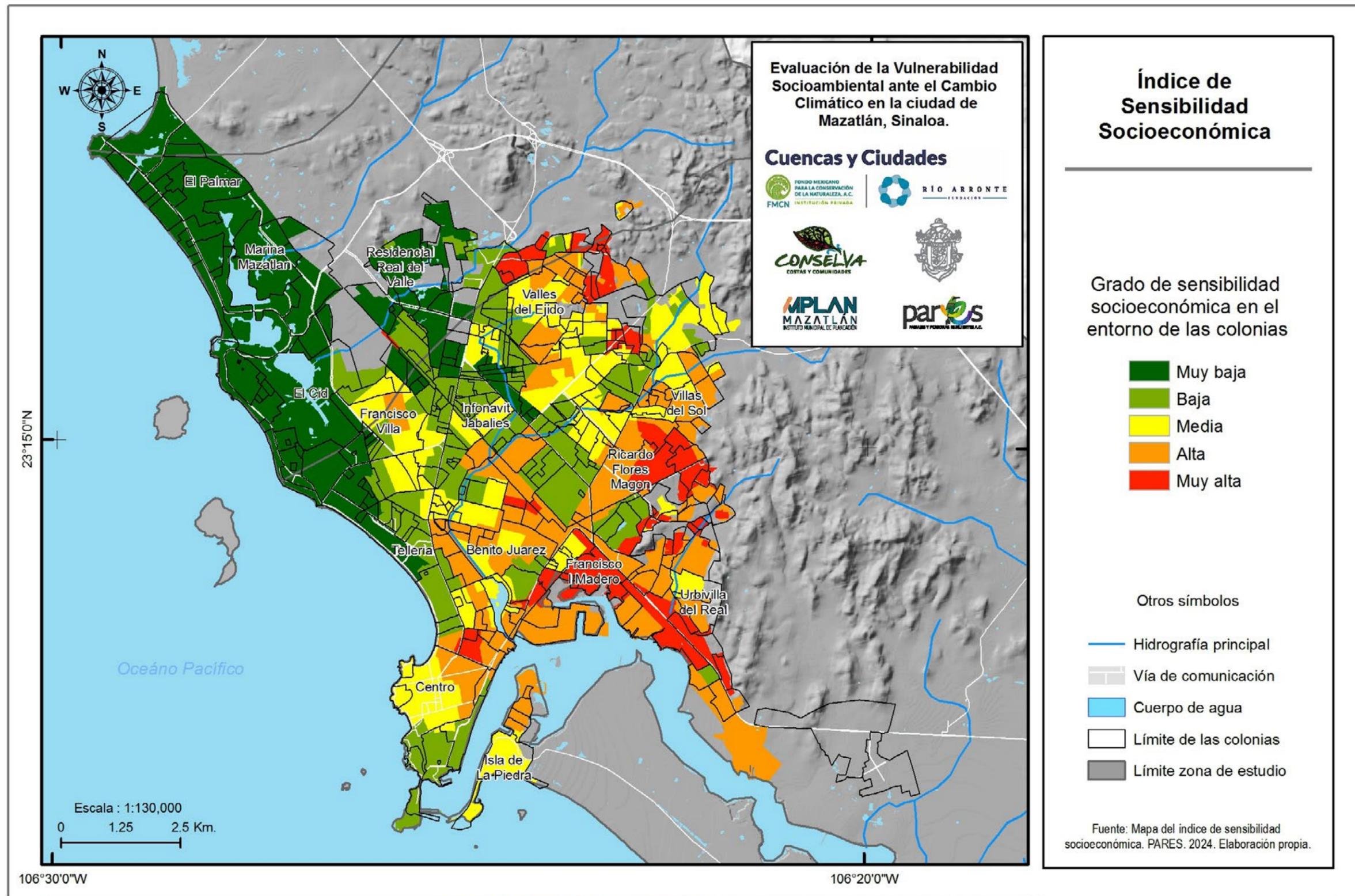


Figura 51. Grado de sensibilidad socioeconómica en el entorno de las colonias. Fuente: Pares A.C.

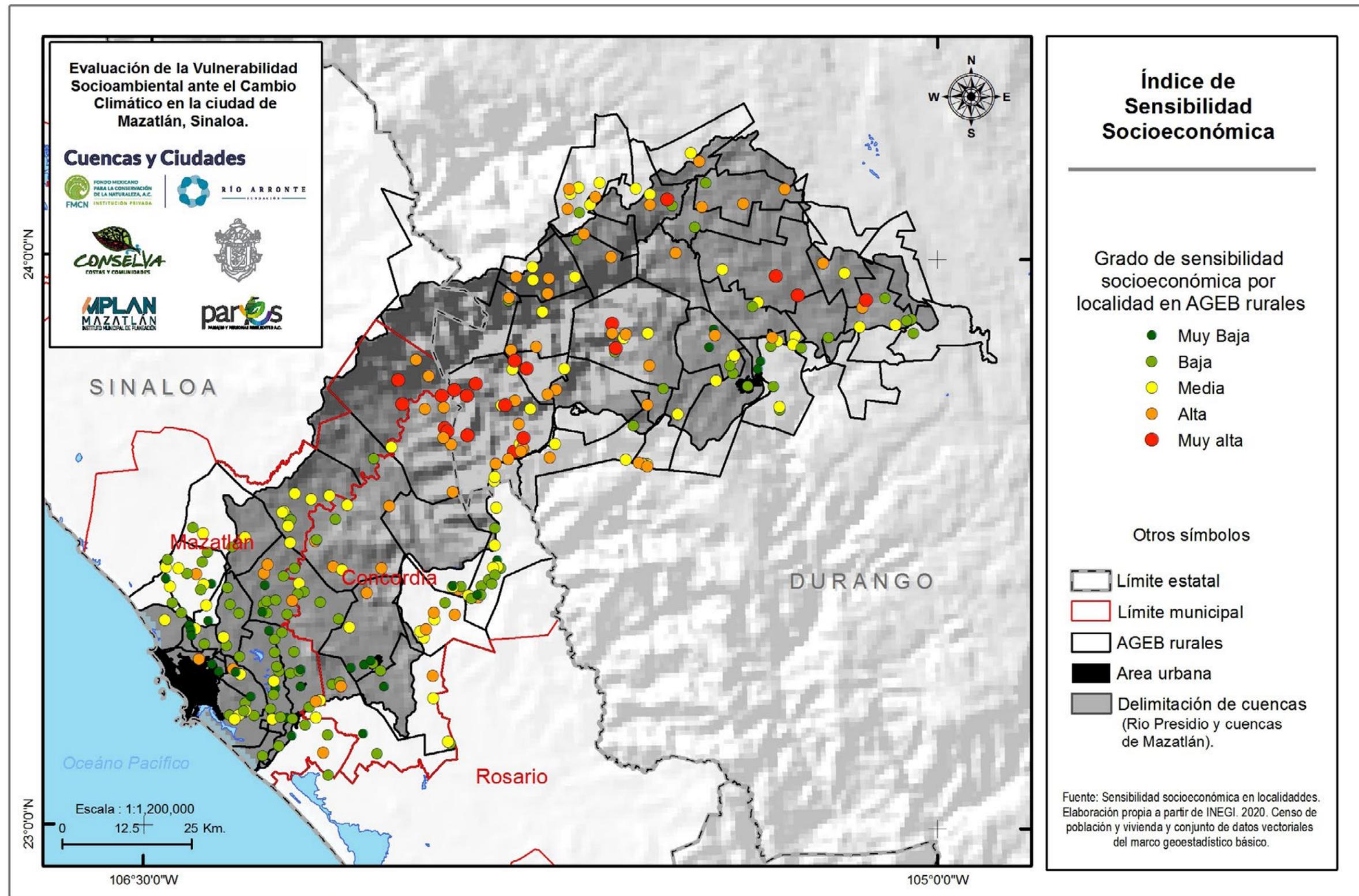


Figura 52. Índice de sensibilidad socioeconómica en localidades en AGEB rurales. Fuente: Pares A.C

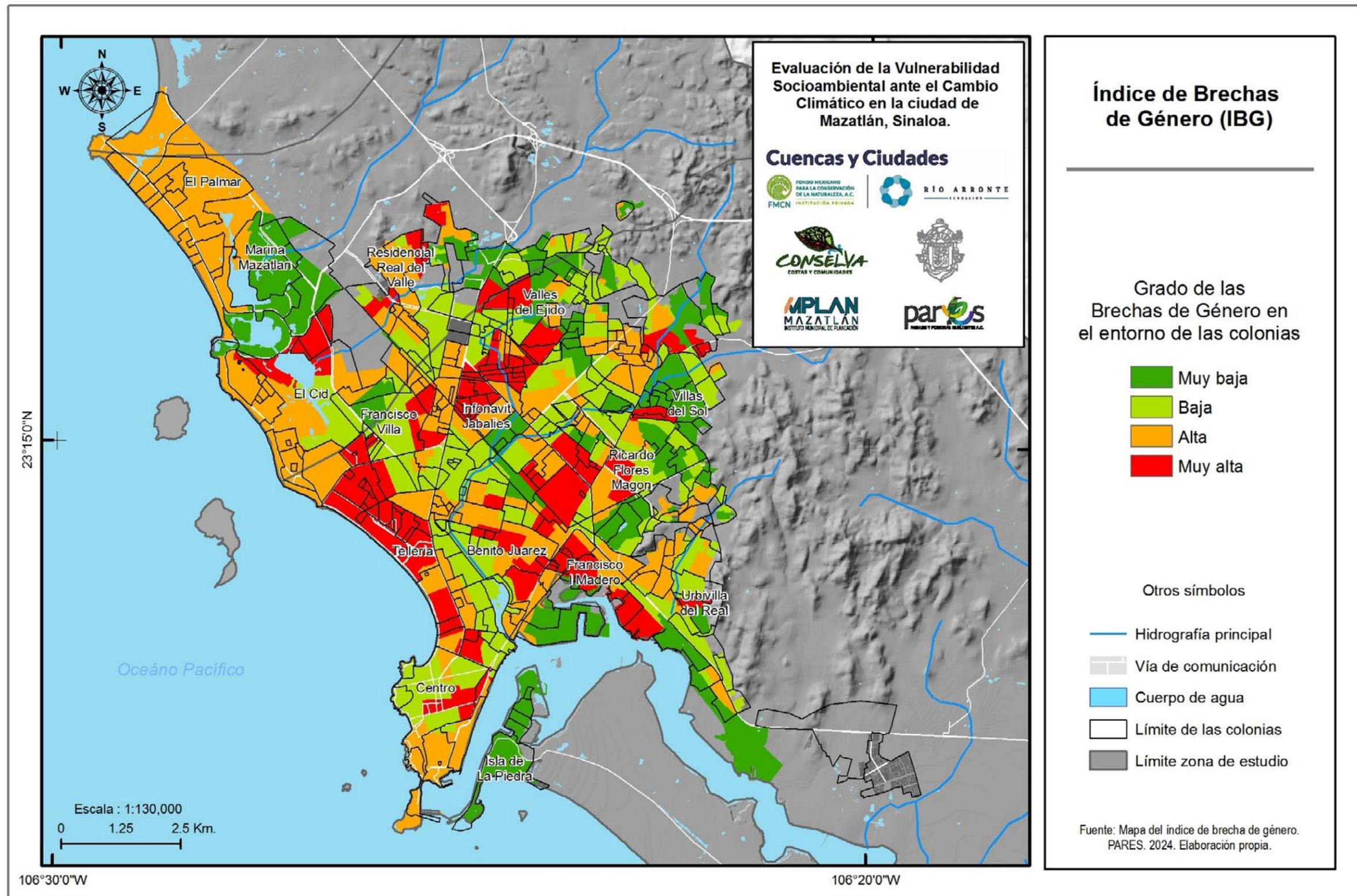


Figura 53. Índice de brechas de género en entorno de colonias. Fuente: Pares A.C.

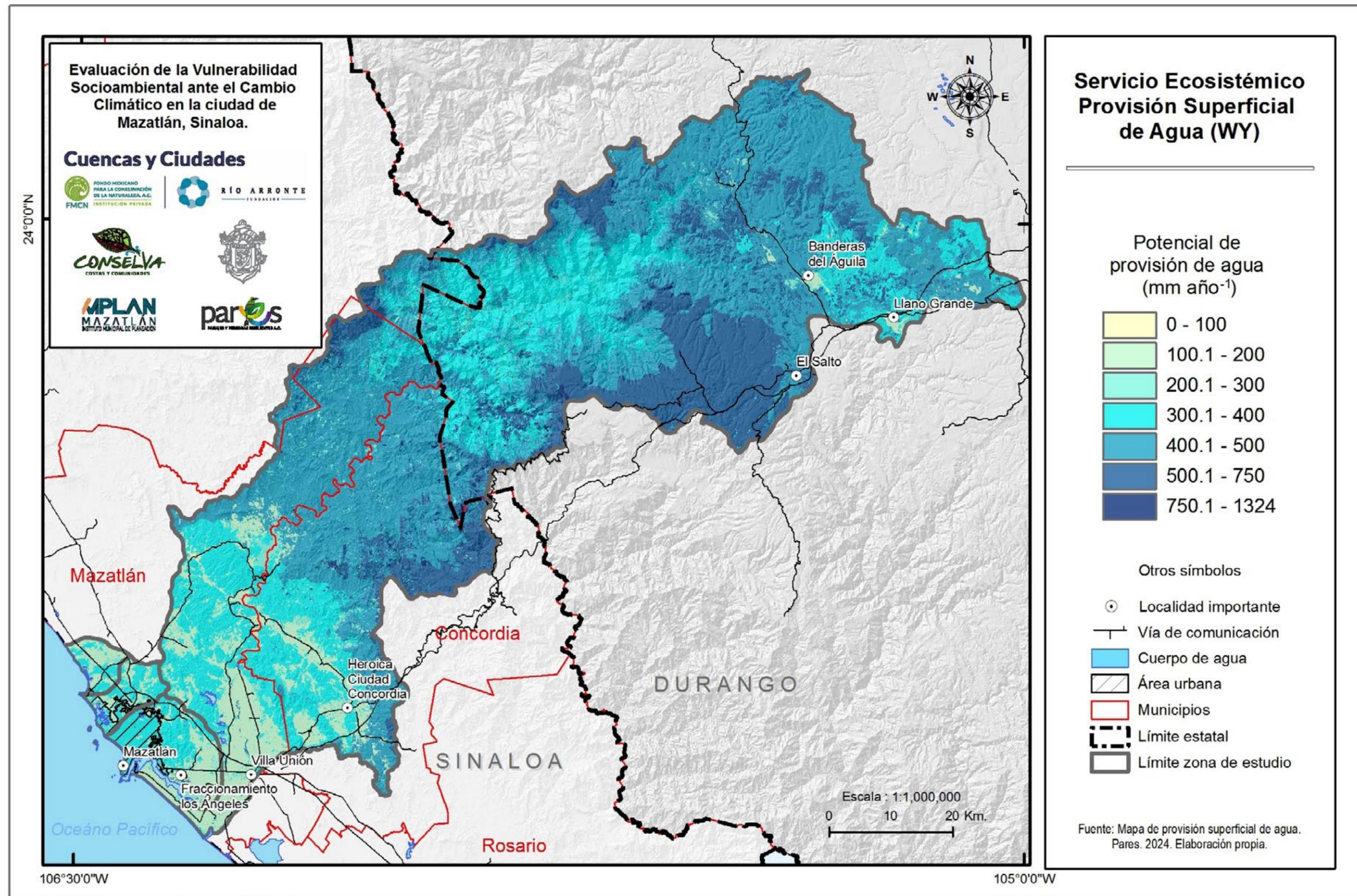


Figura 57. Distribución espacial del servicio de provisión superficial de agua. Fuente: Pares A.C.

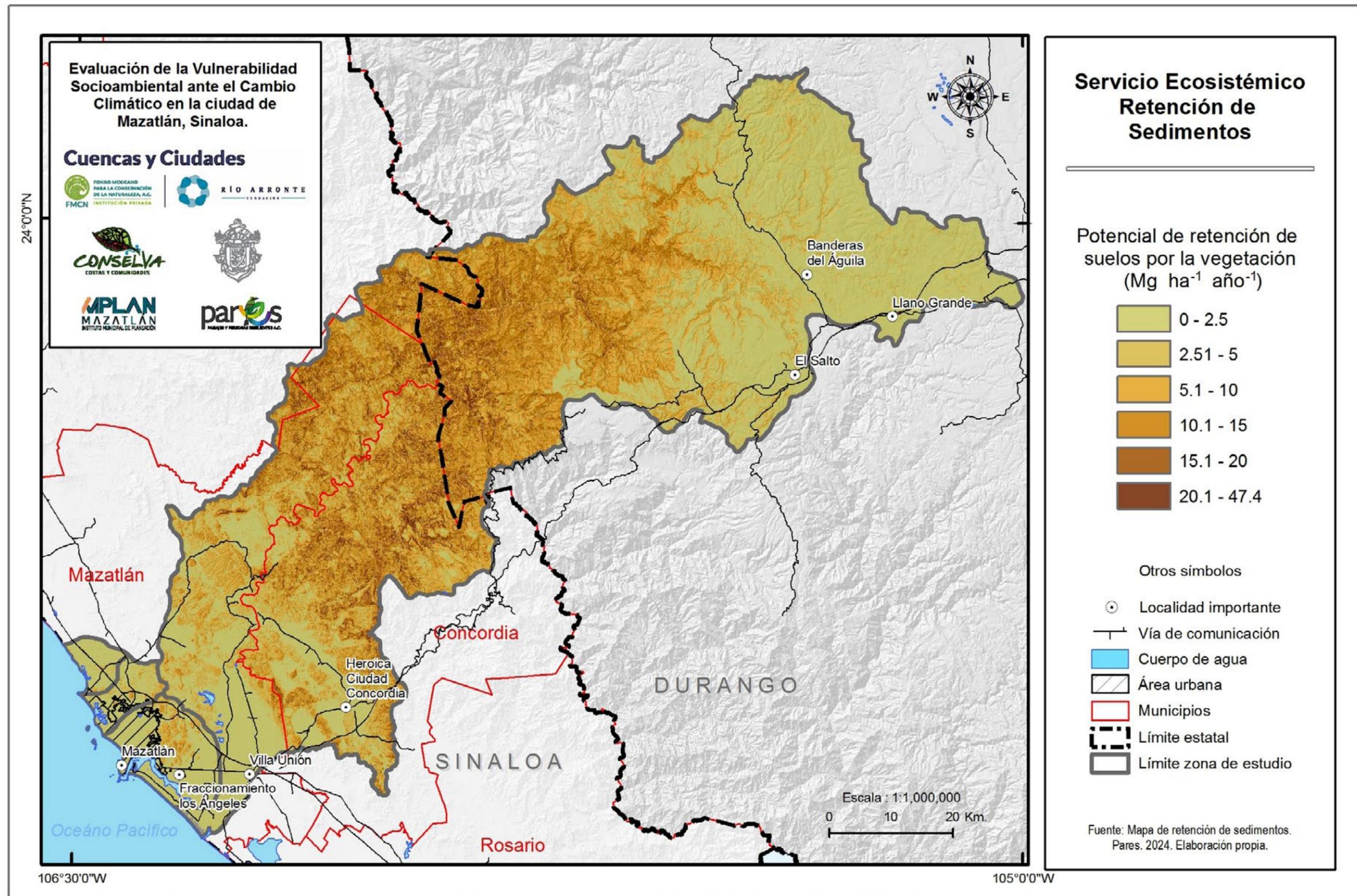


Figura 58. Distribución espacial del servicio de retención de suelo/sedimentos. Fuente: Pares A.C.

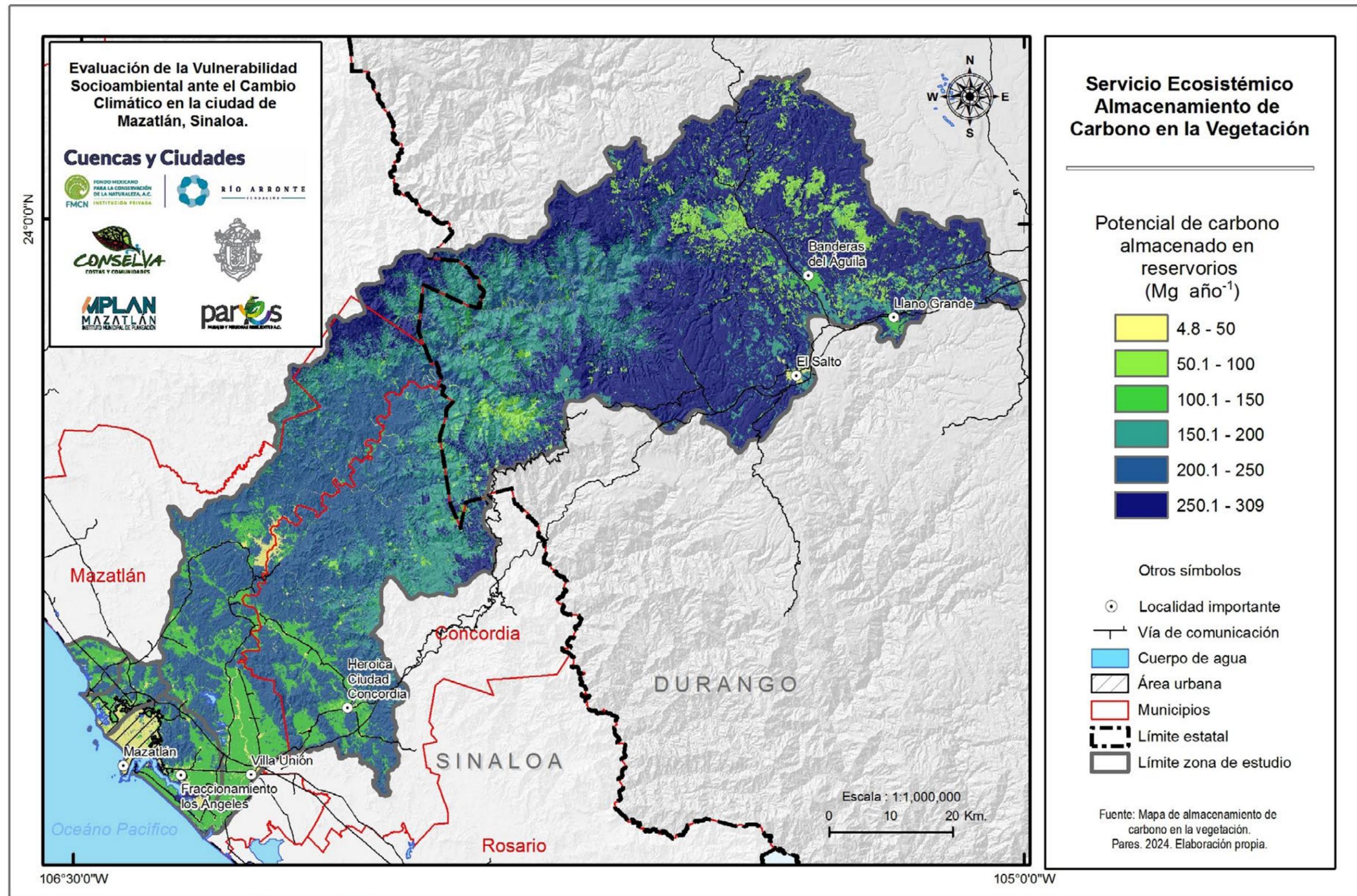


Figura 59. Distribución espacial del carbono almacenado en la vegetación. Fuente: Pares A.C.

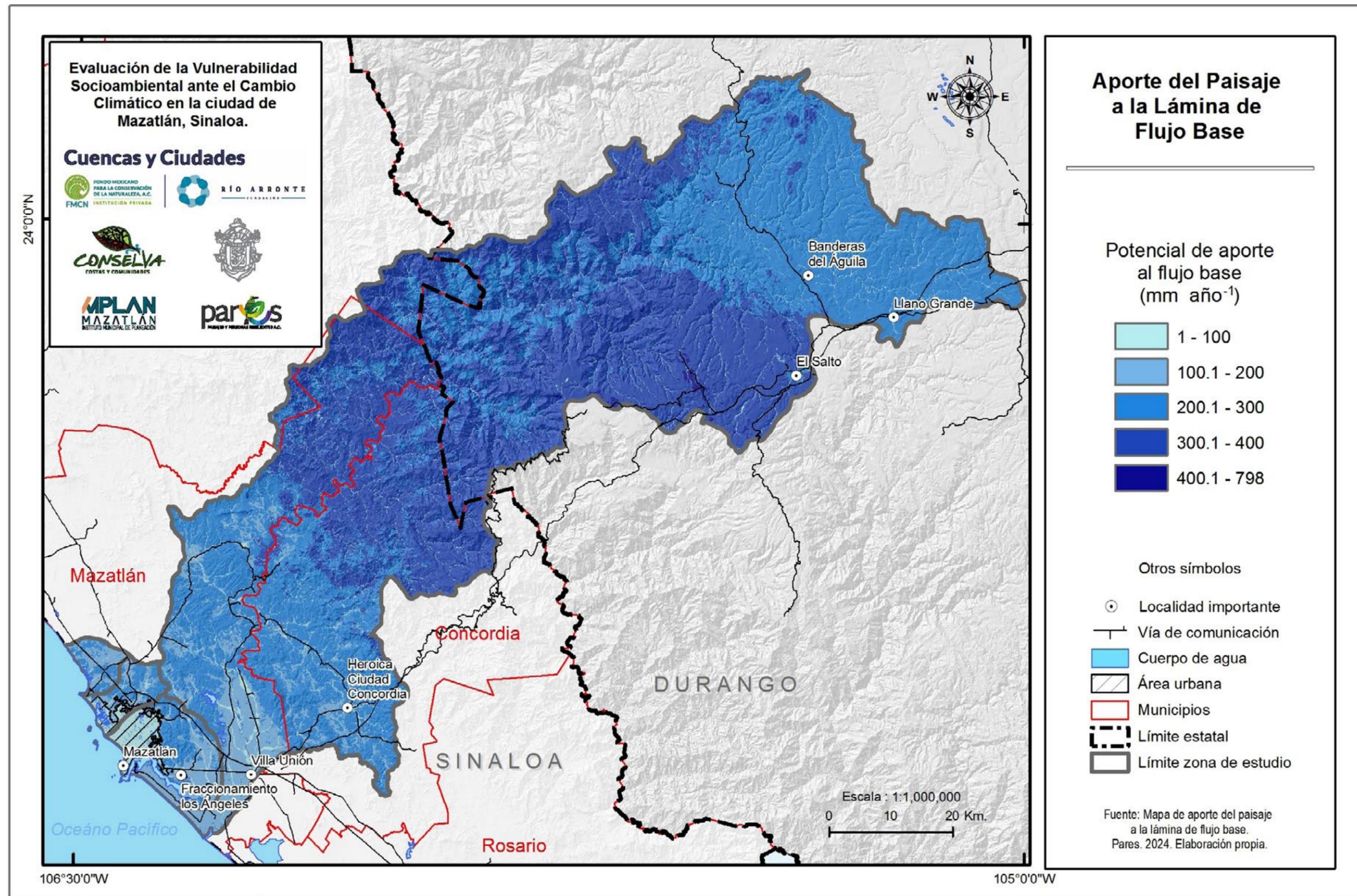


Figura 60. Distribución espacial del aporte de paisaje a la lámina de flujo base de agua. Fuente: Pares A.C.

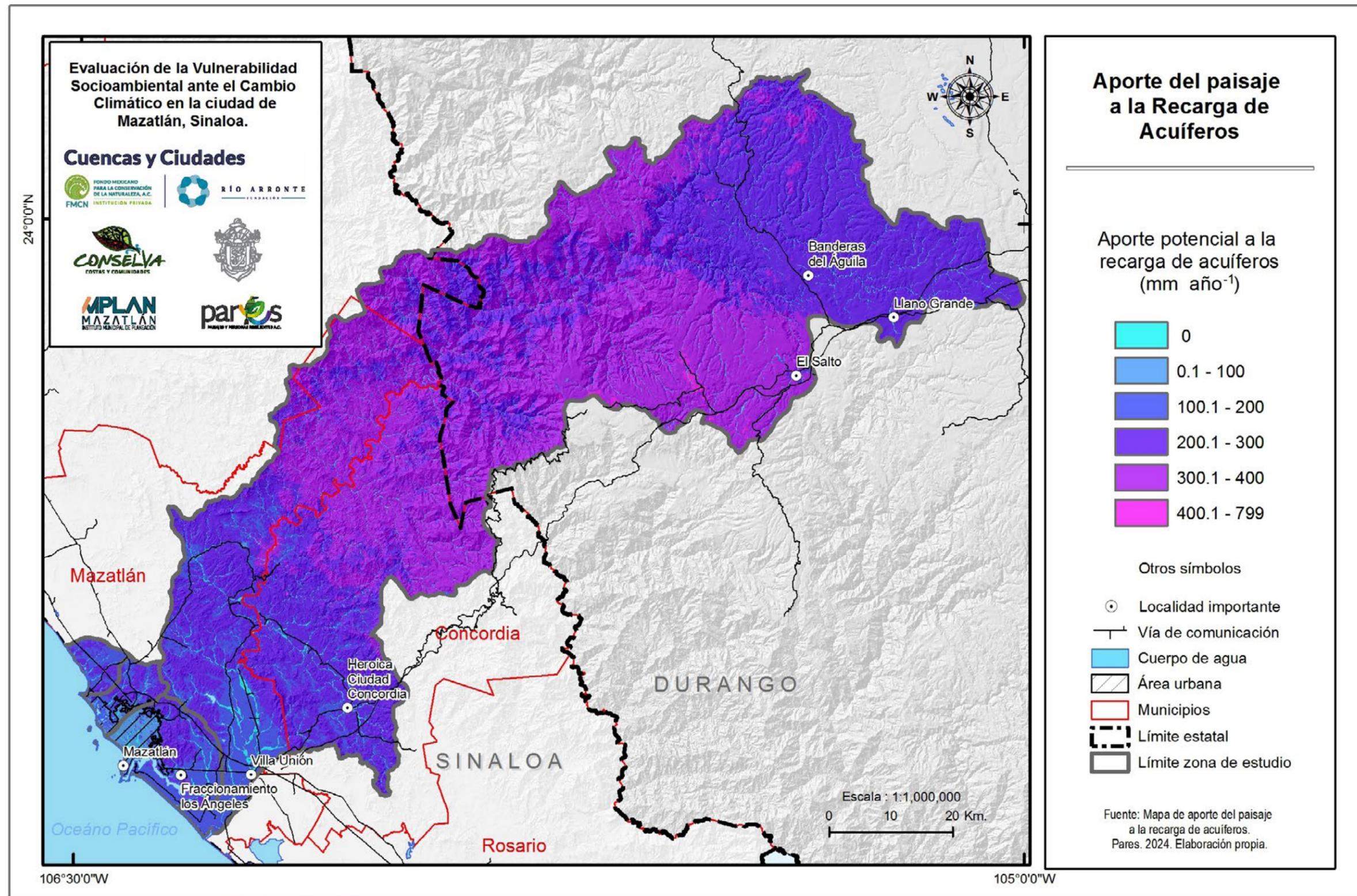


Figura 61. Distribución espacial del aporte del paisaje a la recarga de mantos acuíferos. Fuente: Pares A.C.

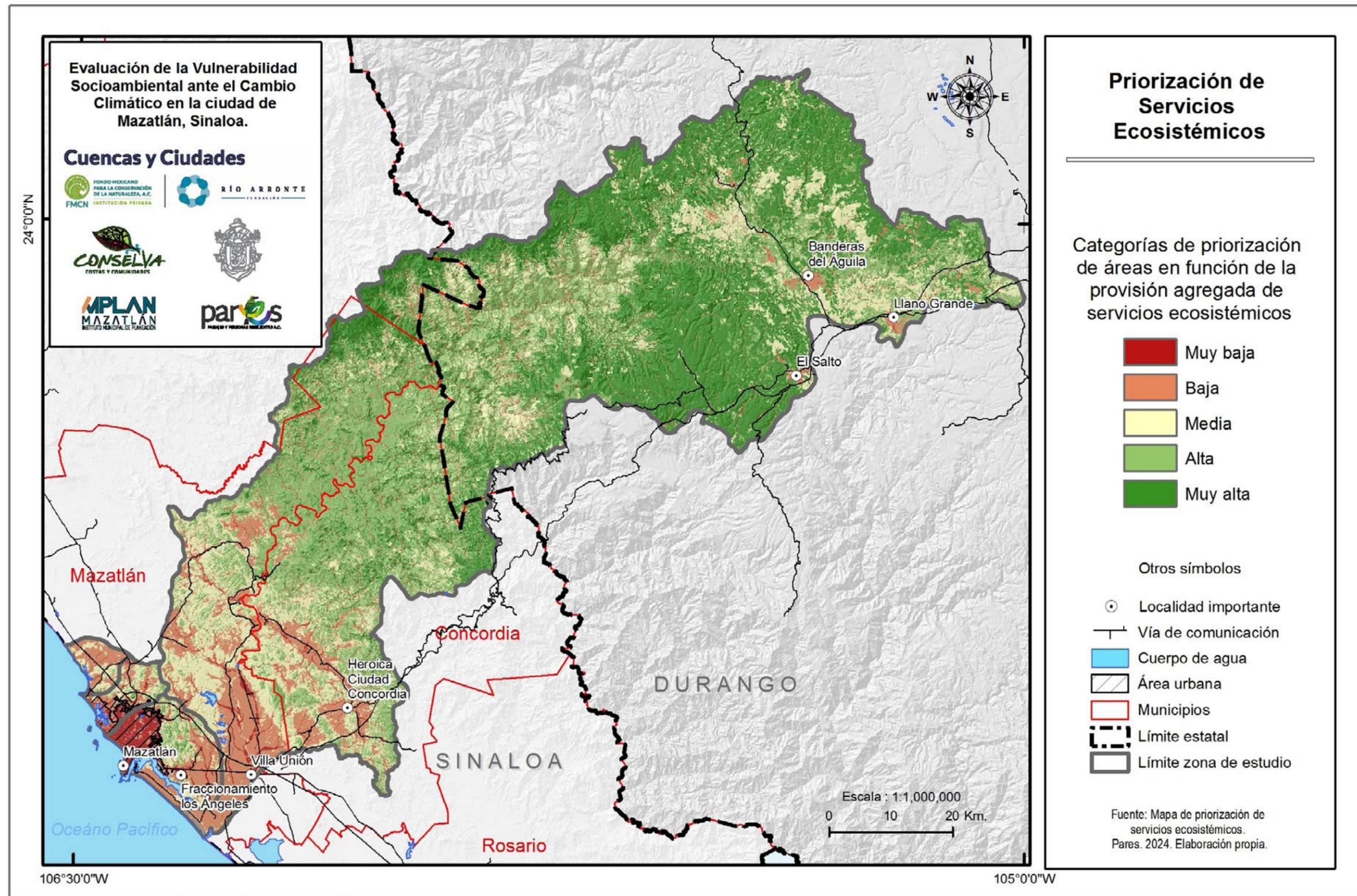


Figura 62. Áreas prioritarias para la provisión de servicios ecosistémicos a nivel de cuenca. Fuente: Pares A.C.

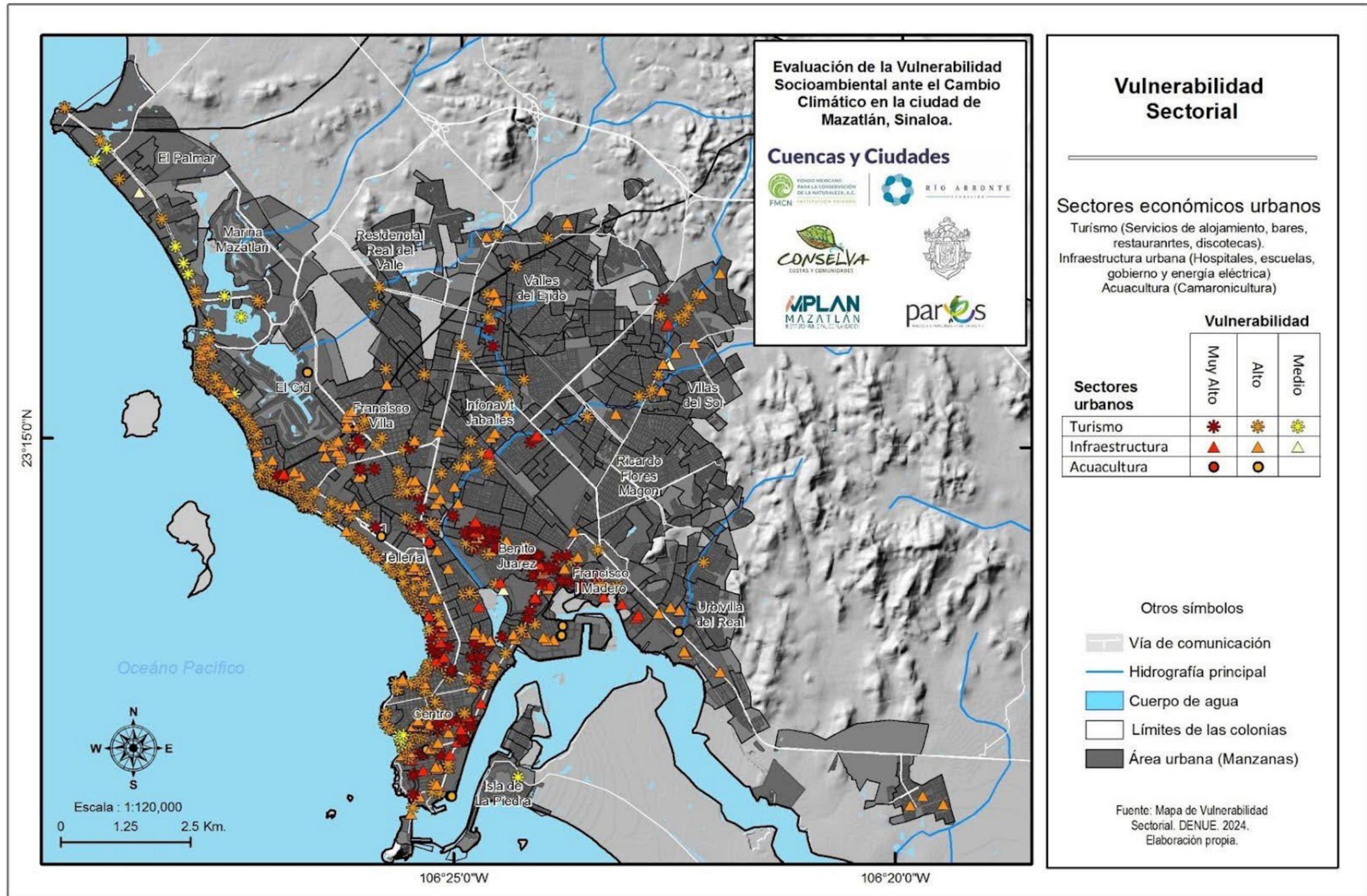


Figura 72 Vulnerabilidad de los sectores urbanos. Fuente: Pares A.C.

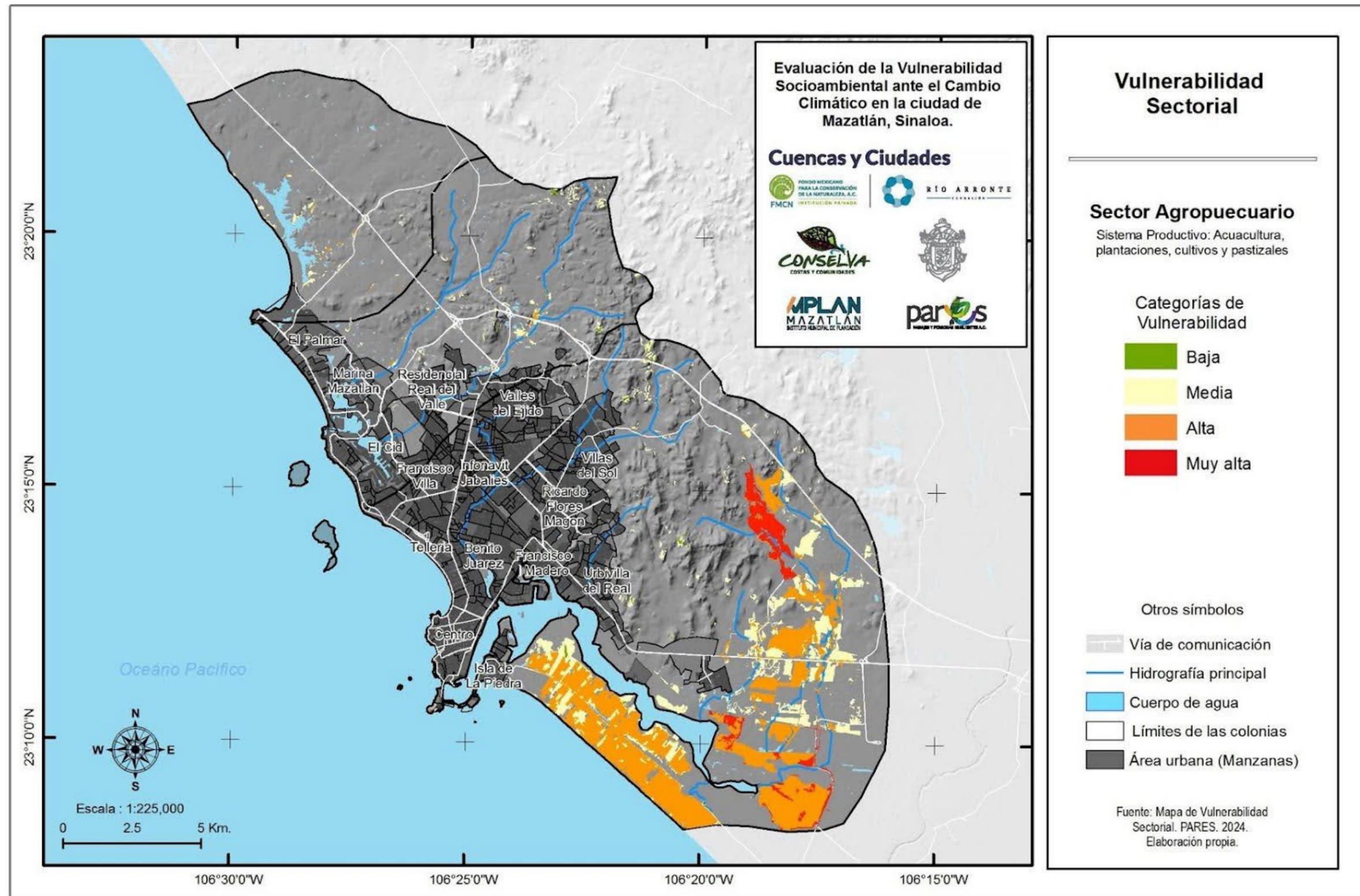


Figura 73. Vulnerabilidad del sector agropecuario. Fuente: Pares A.C.

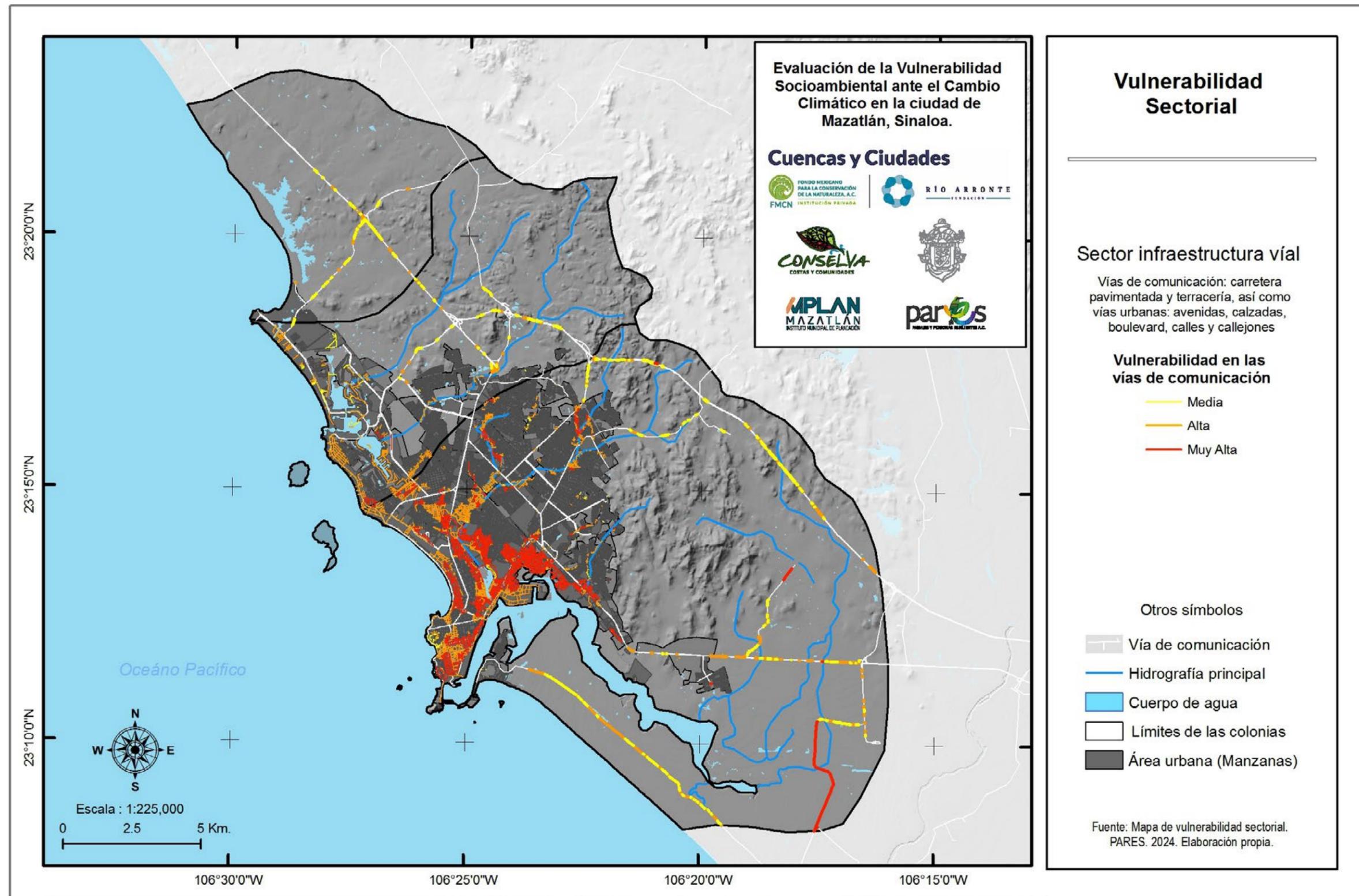


Figura 74. Vulnerabilidad en las vías de comunicación. Fuente: Pares A.C.

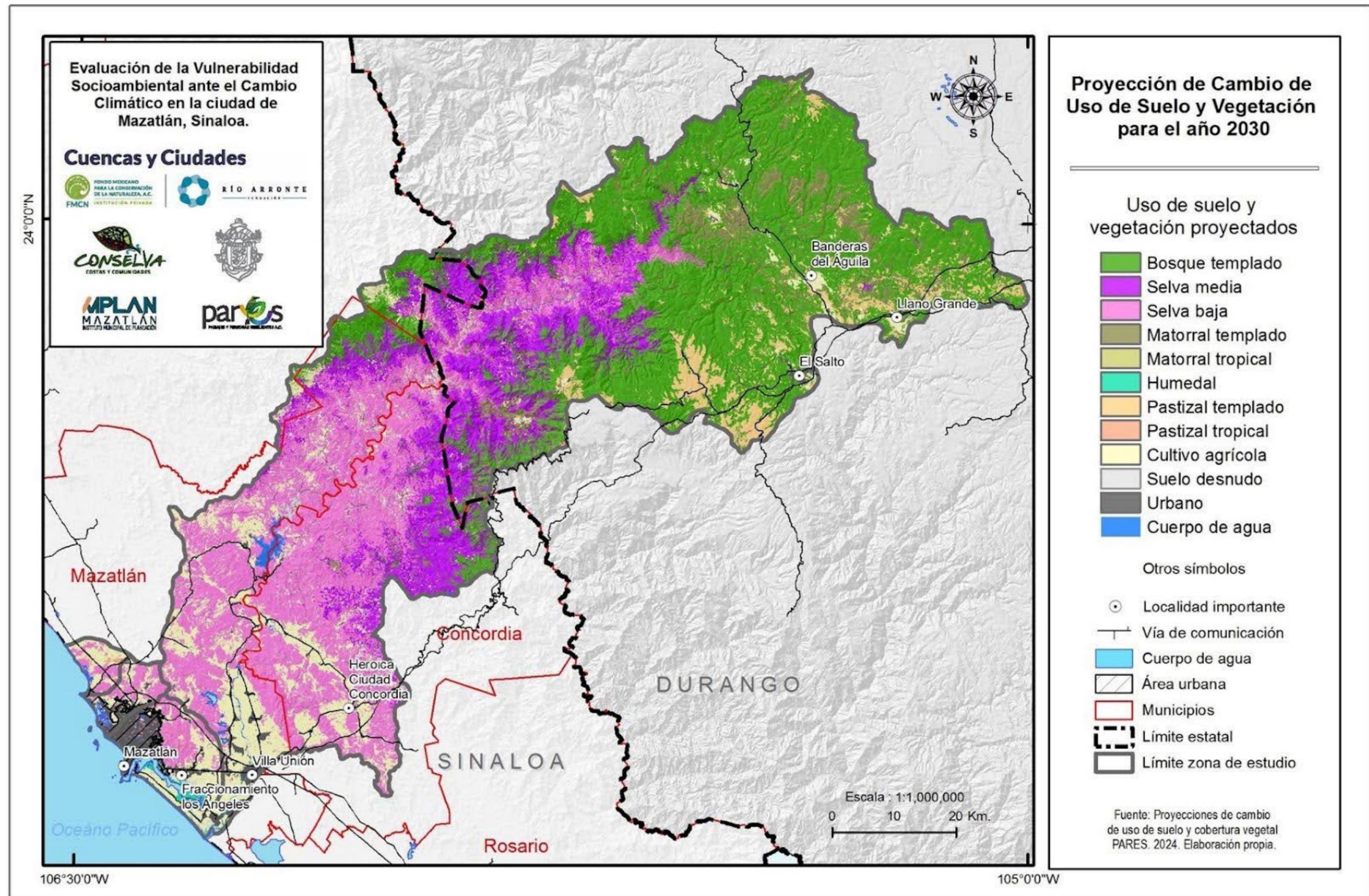


Figura 76. Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2030 (Nivel de cuenca). Fuente: Pares A.C

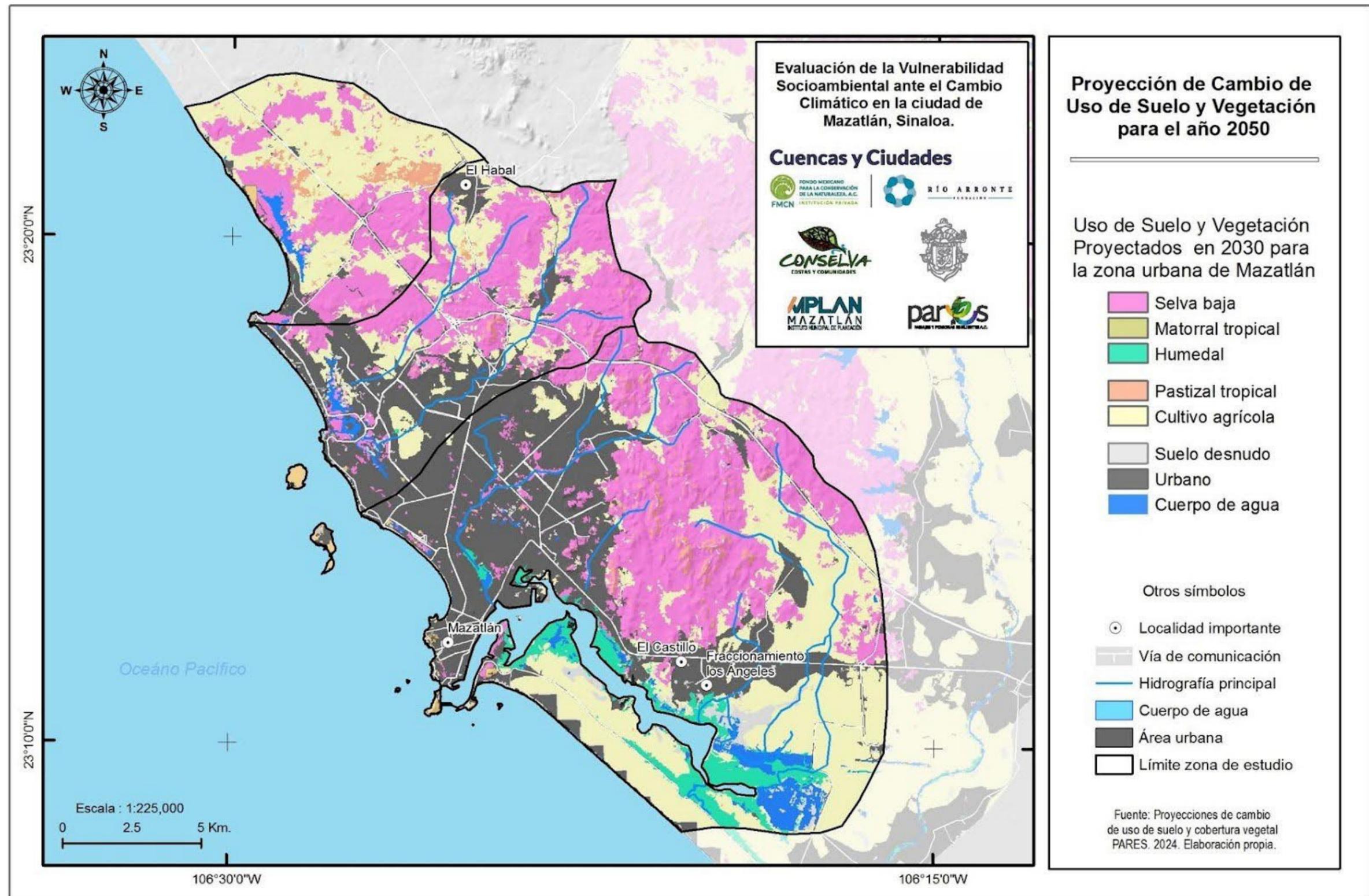


Figura 77. Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2050 (entorno urbano Fuente: Pares A.C)

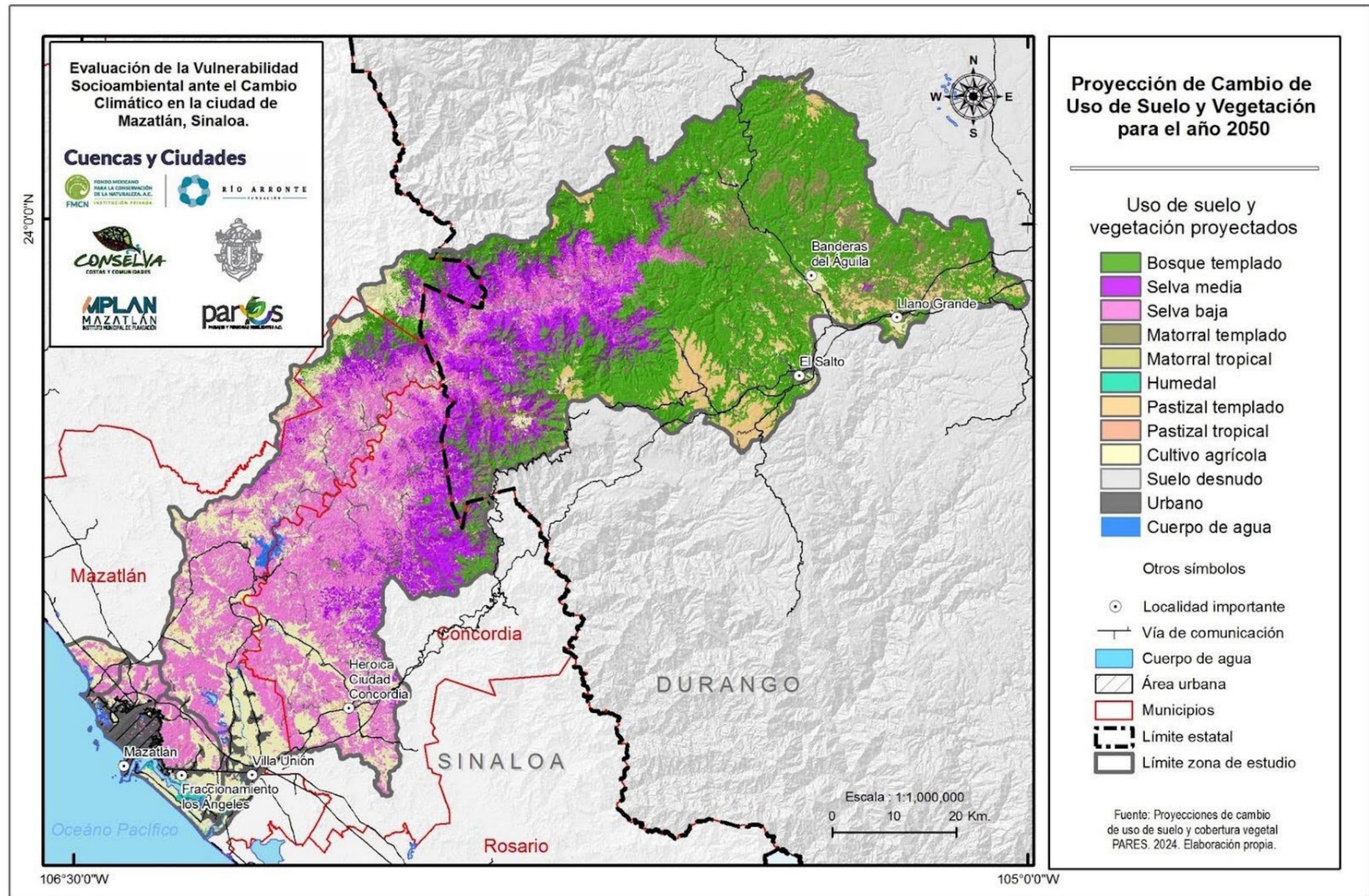


Figura 78. Proyecciones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2050 (Nivel de cuenca). Fuente: Pares A.C

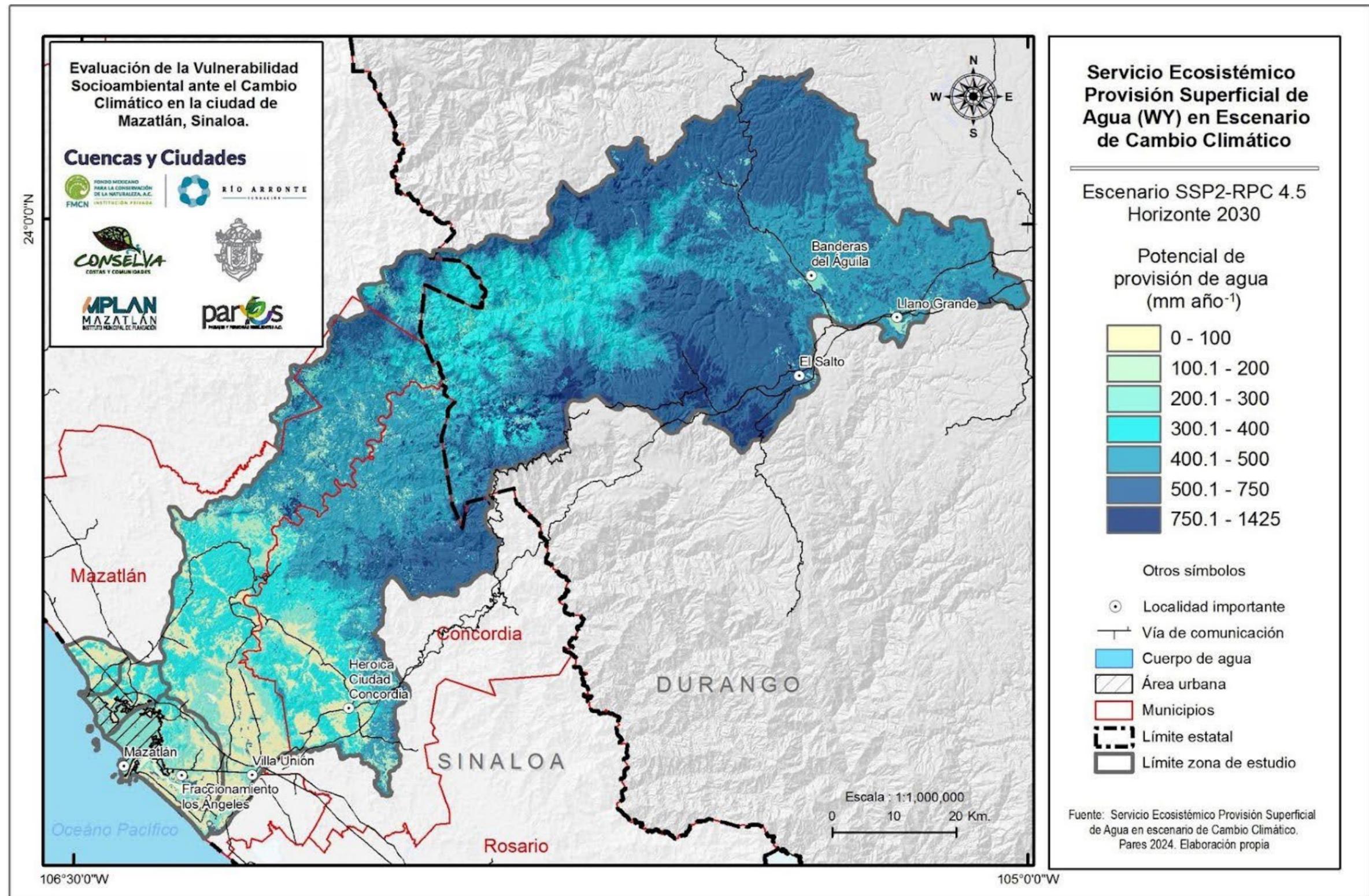


Figura 79. Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C

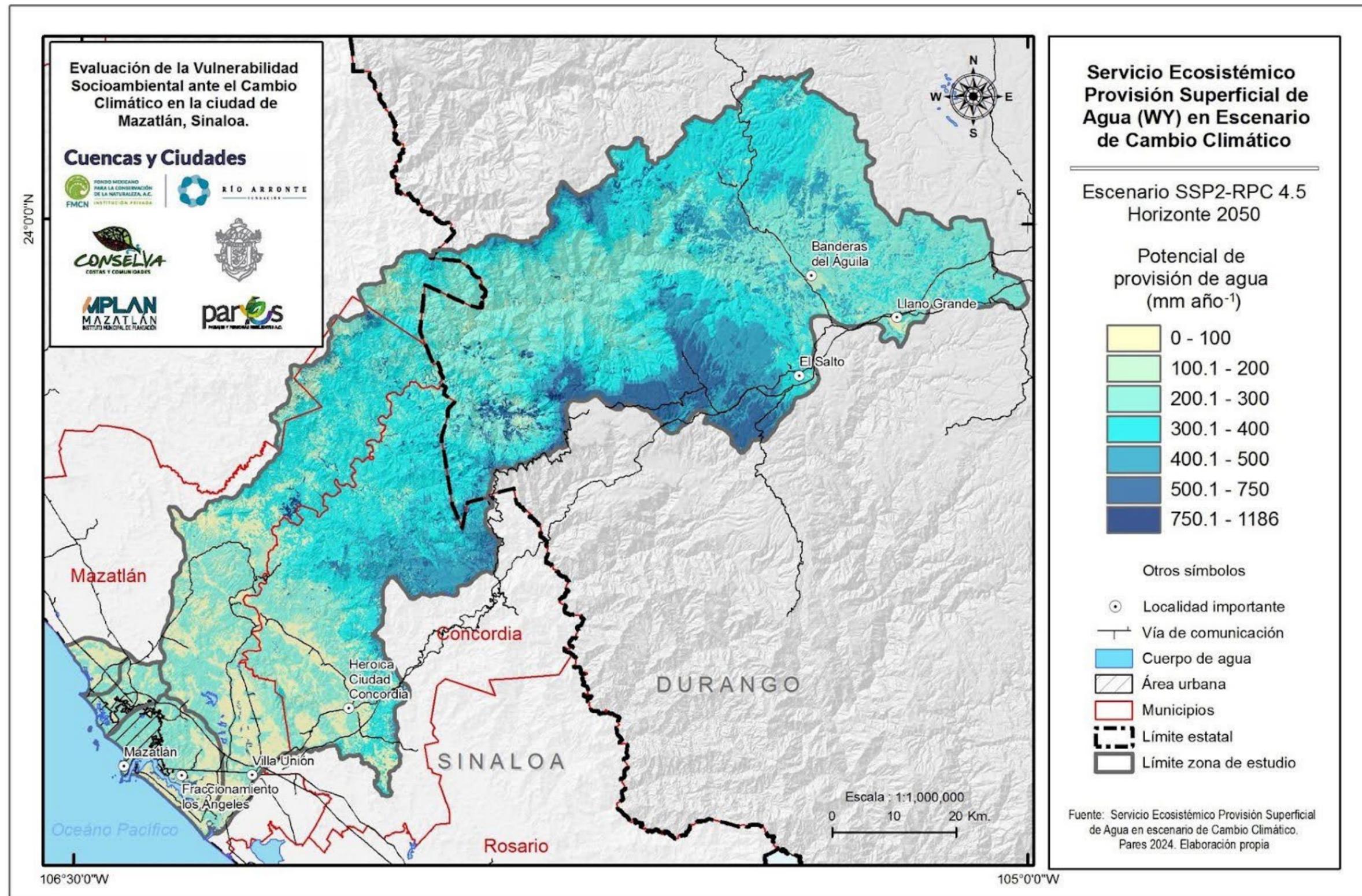


Figura 81. Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

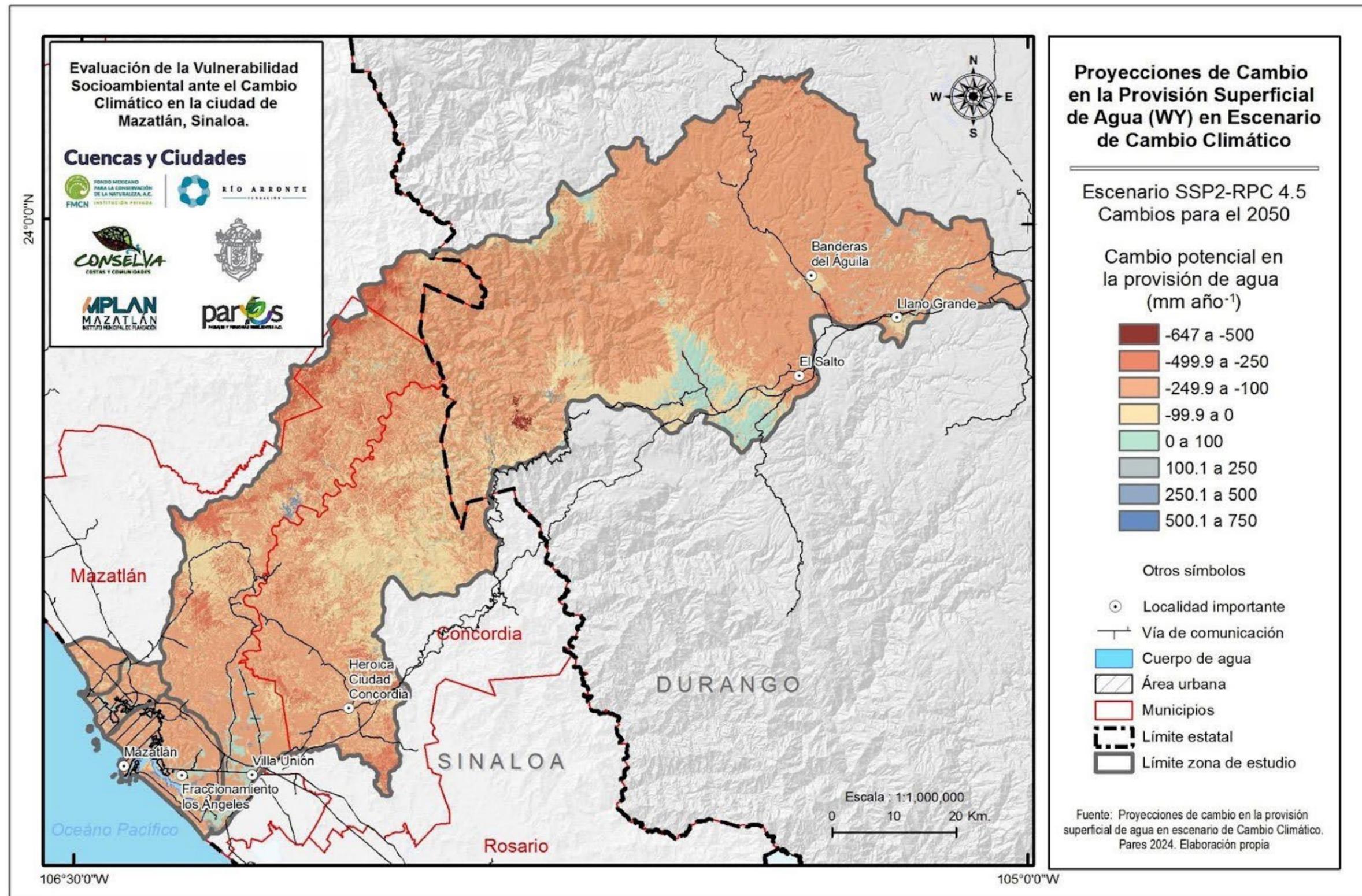


Figura 82. Cambio potencial en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

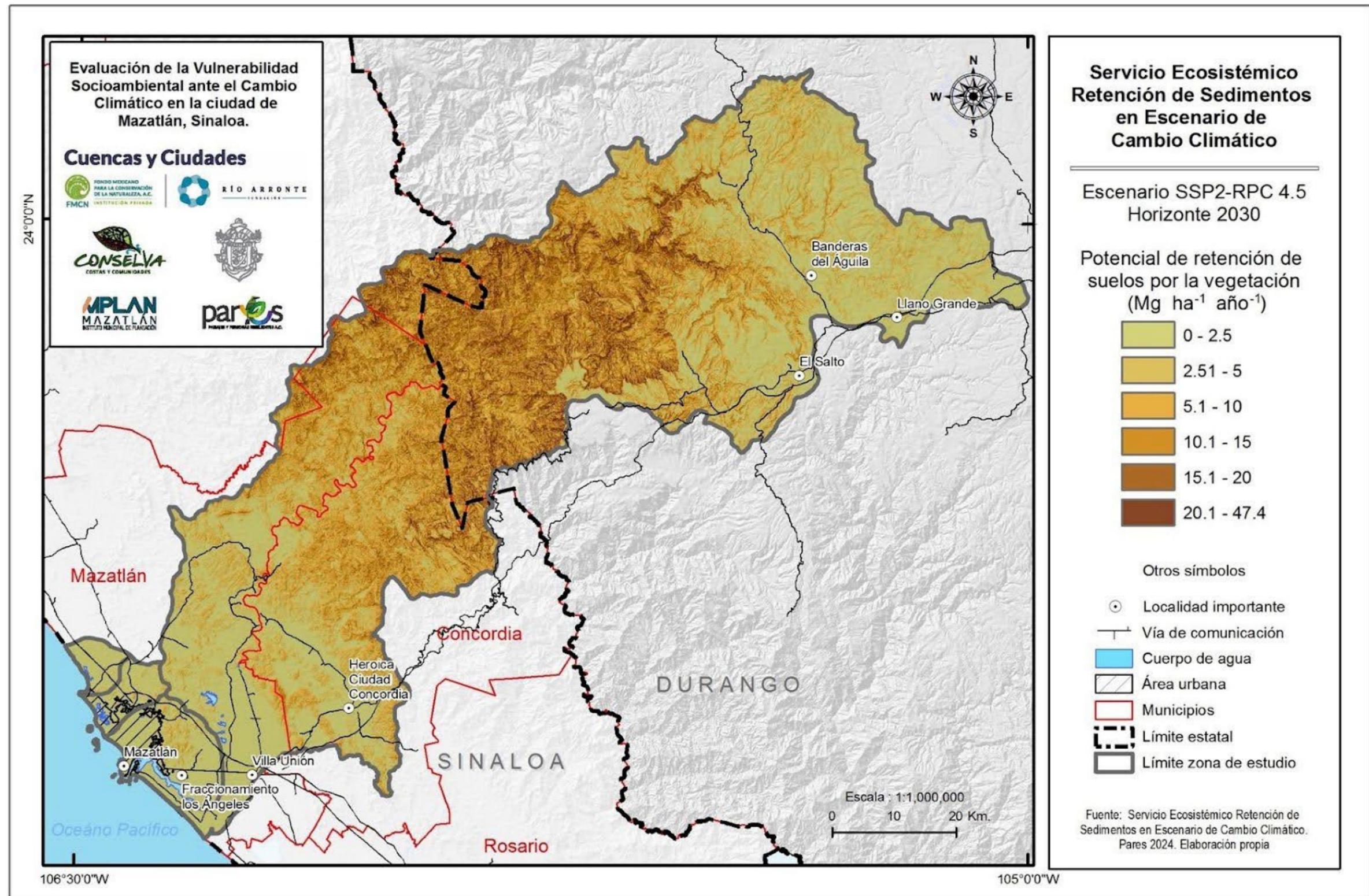


Figura 83. Retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

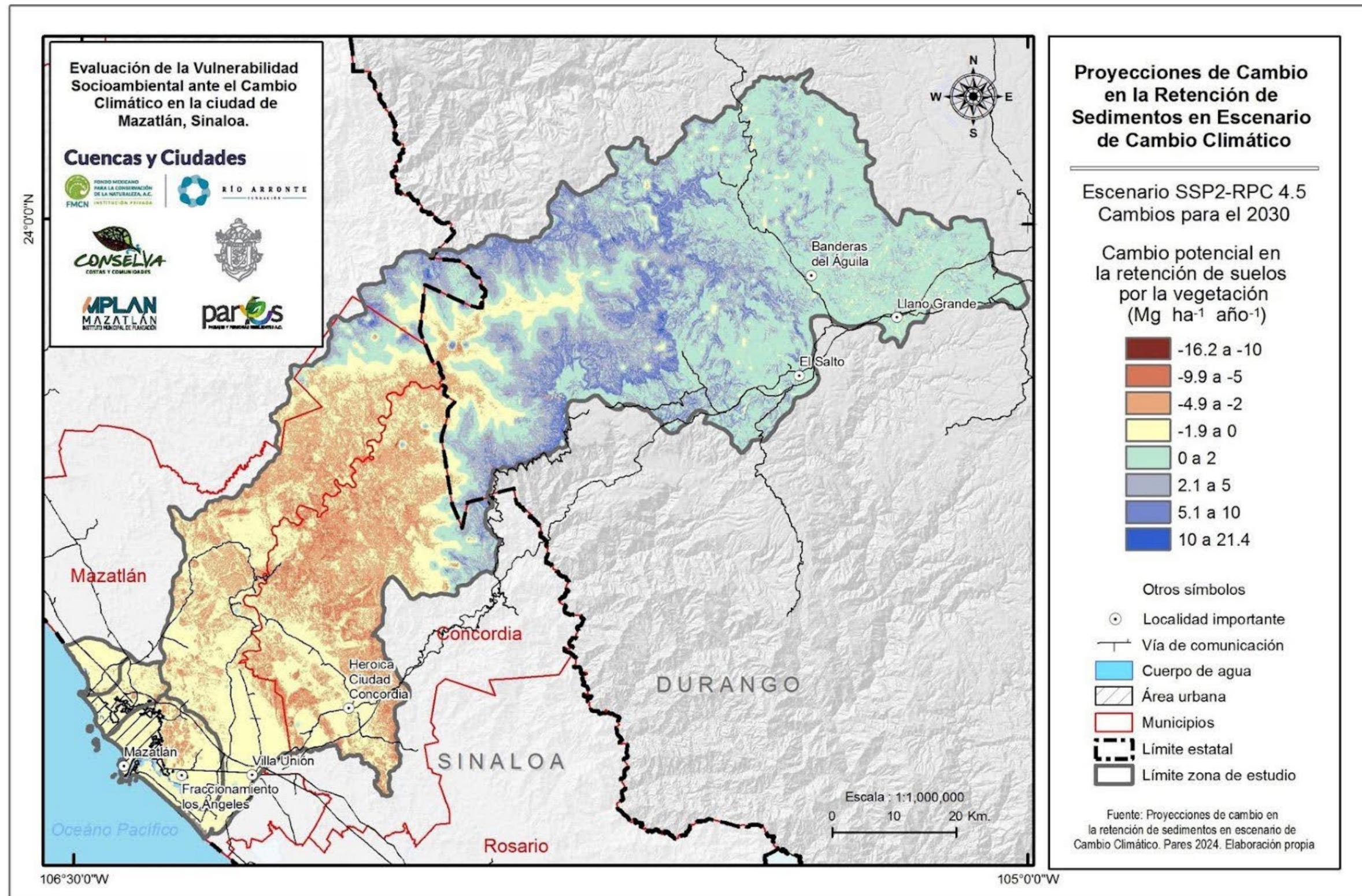


Figura 84. Cambios potenciales en la retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

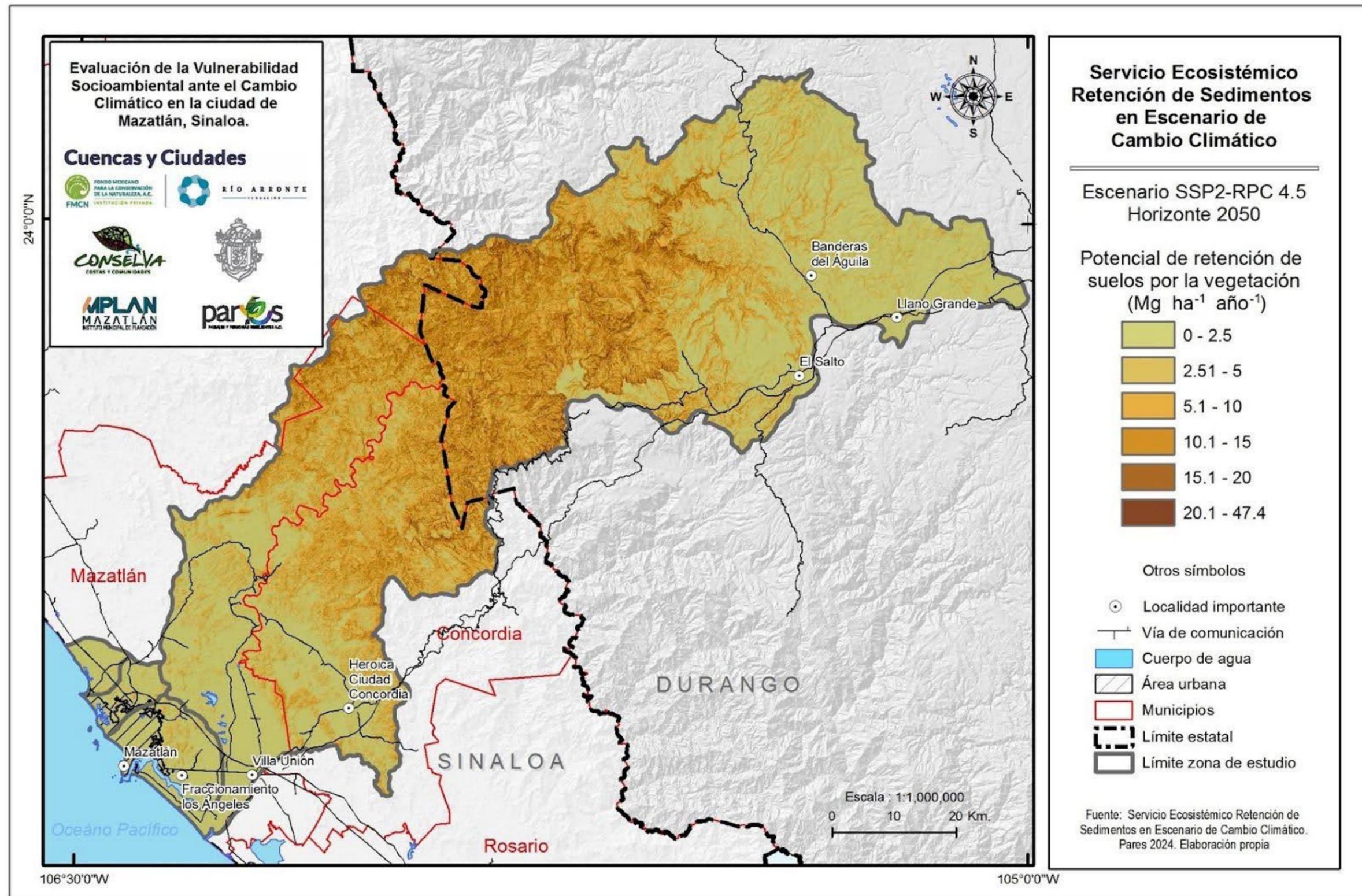


Figura 85. Retención de sedimentos en el escenario RCP 4.5 (2050). Fuente: Pares A.C.

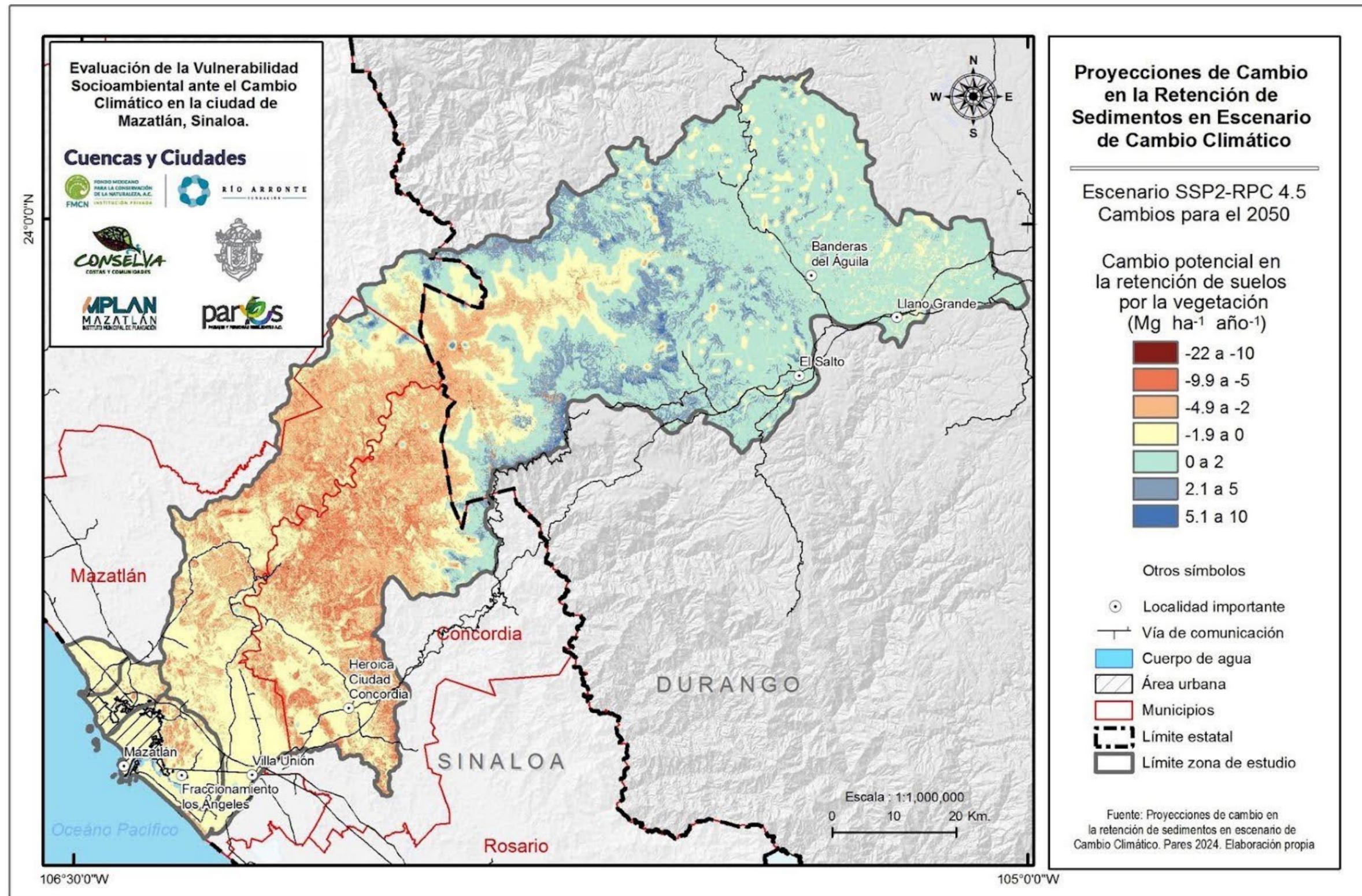


Figura 86. Cambios potenciales en la retención de sedimentos en el escenario RCP 4.5. (2050) Fuente: Pares A.C.

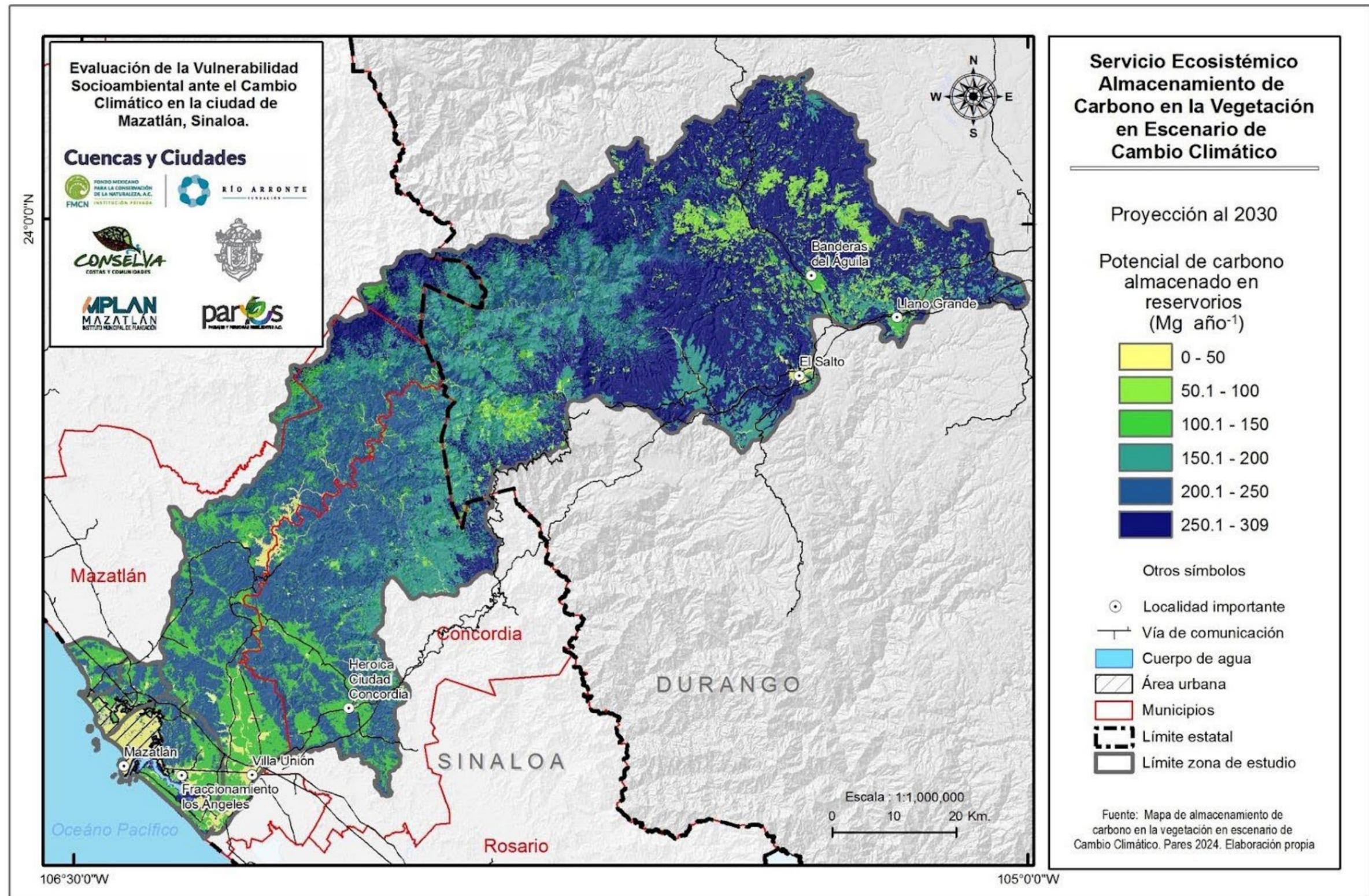


Figura 87. Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

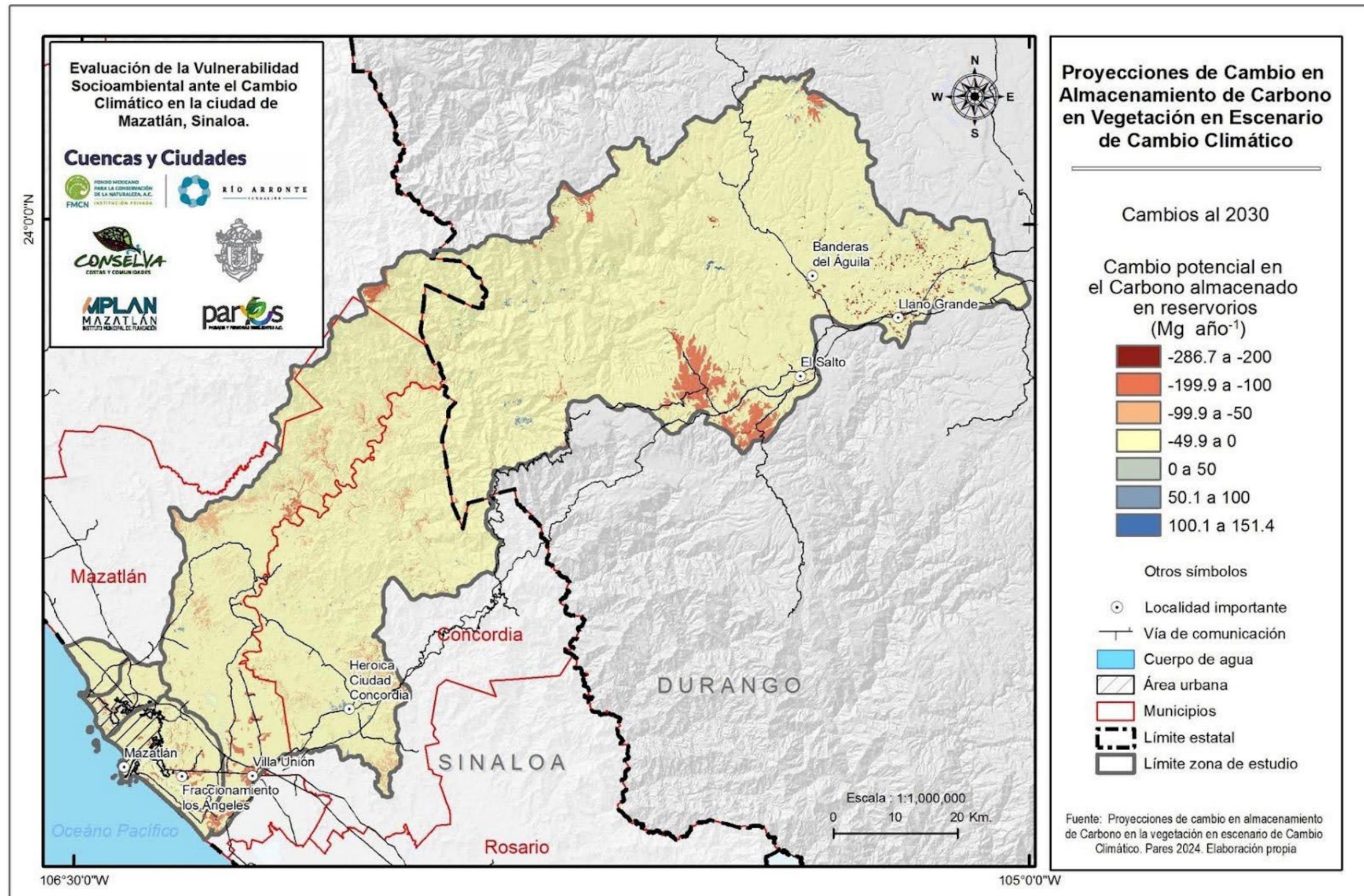


Figura 88. Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

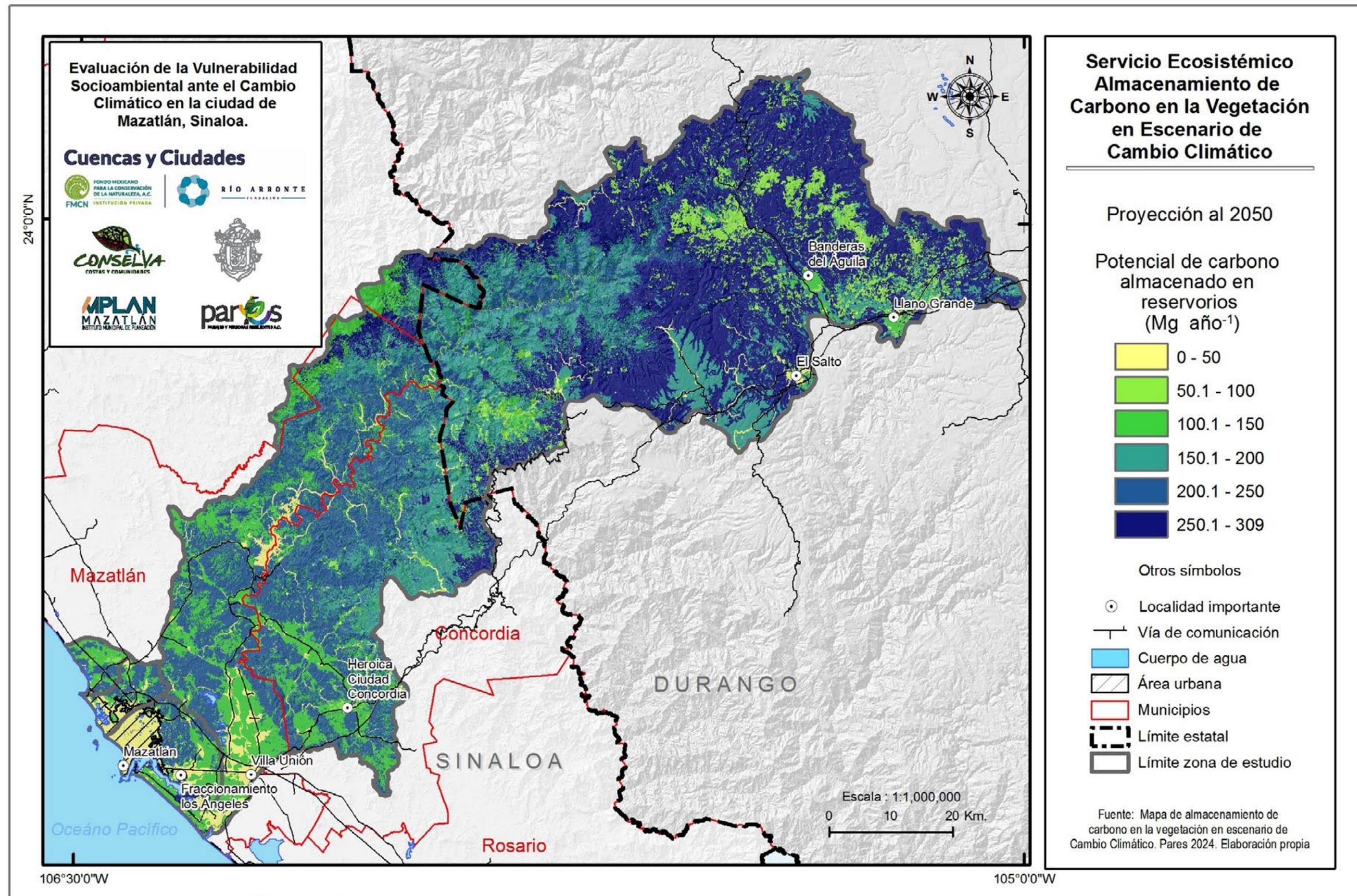


Figura 89. Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

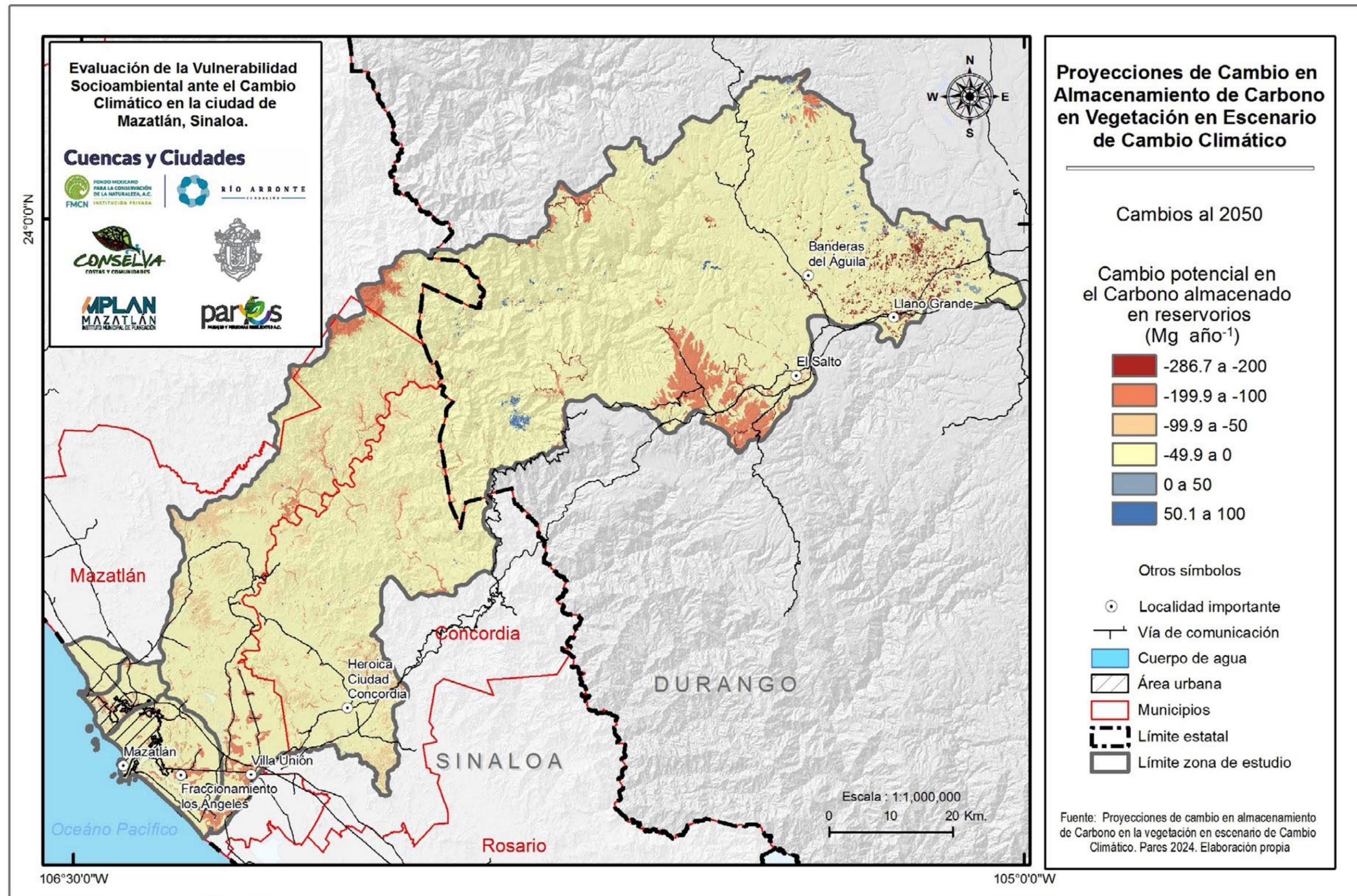


Figura 90. Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

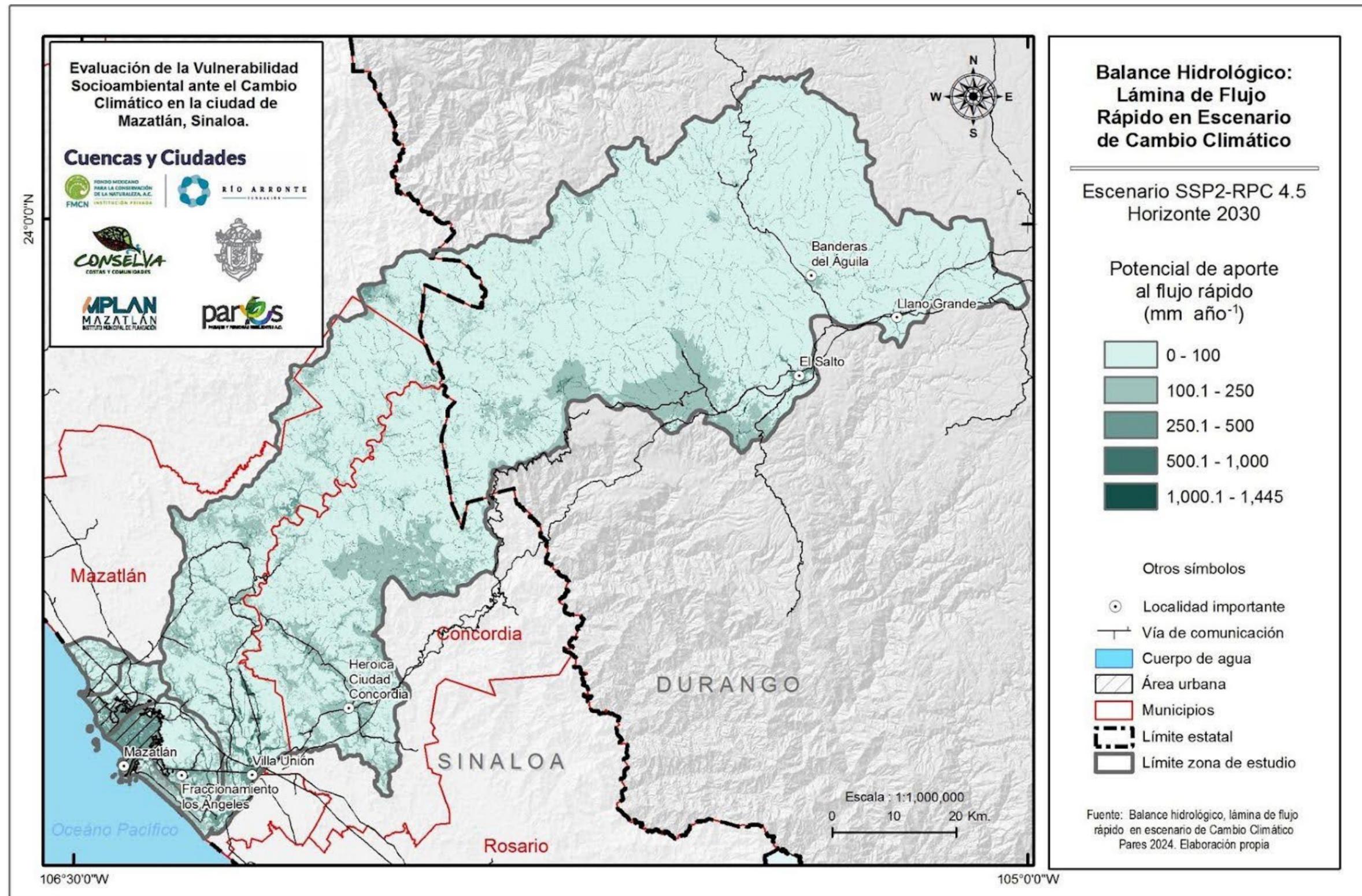


Figura 91. Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

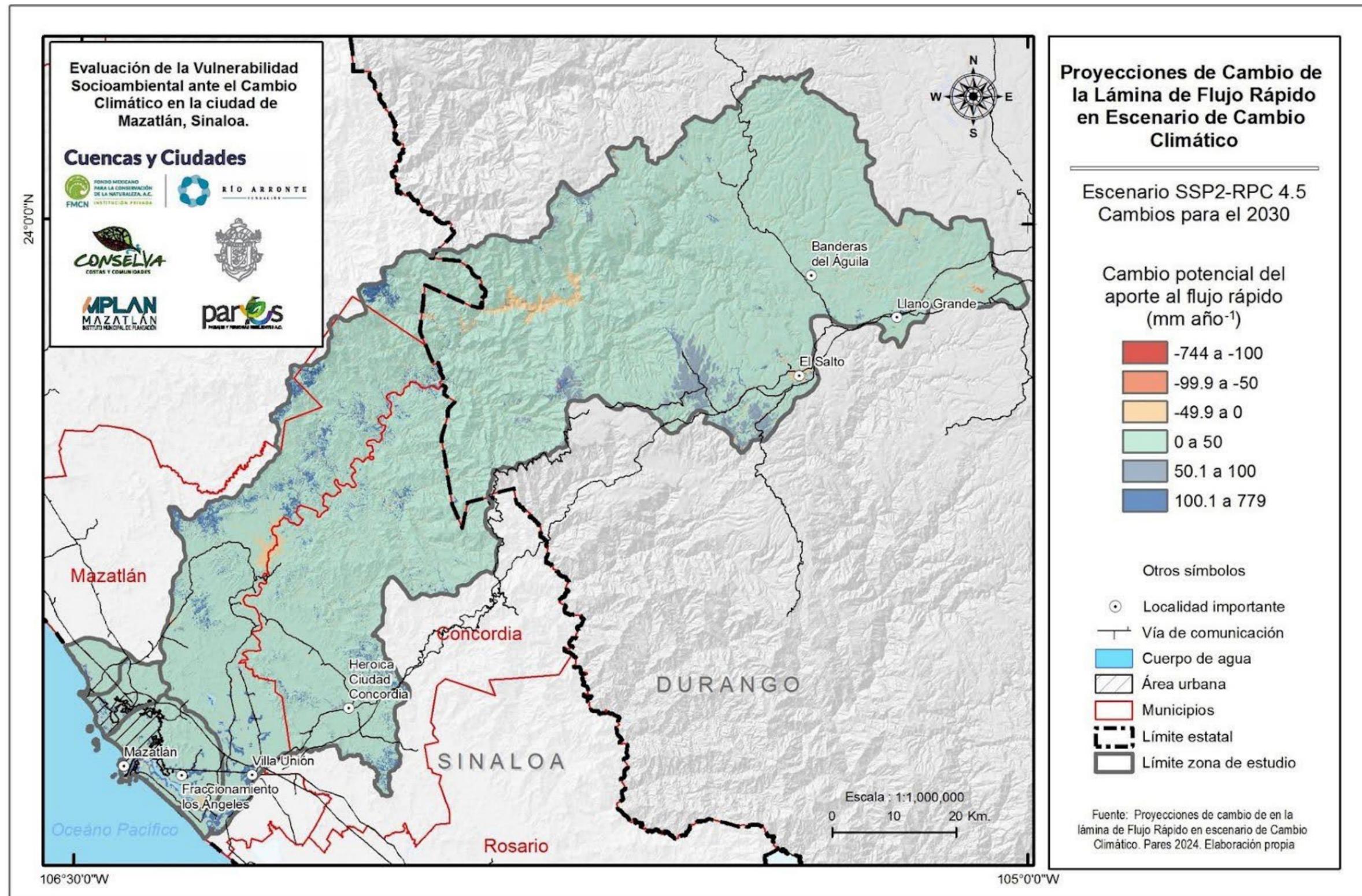


Figura 92. Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

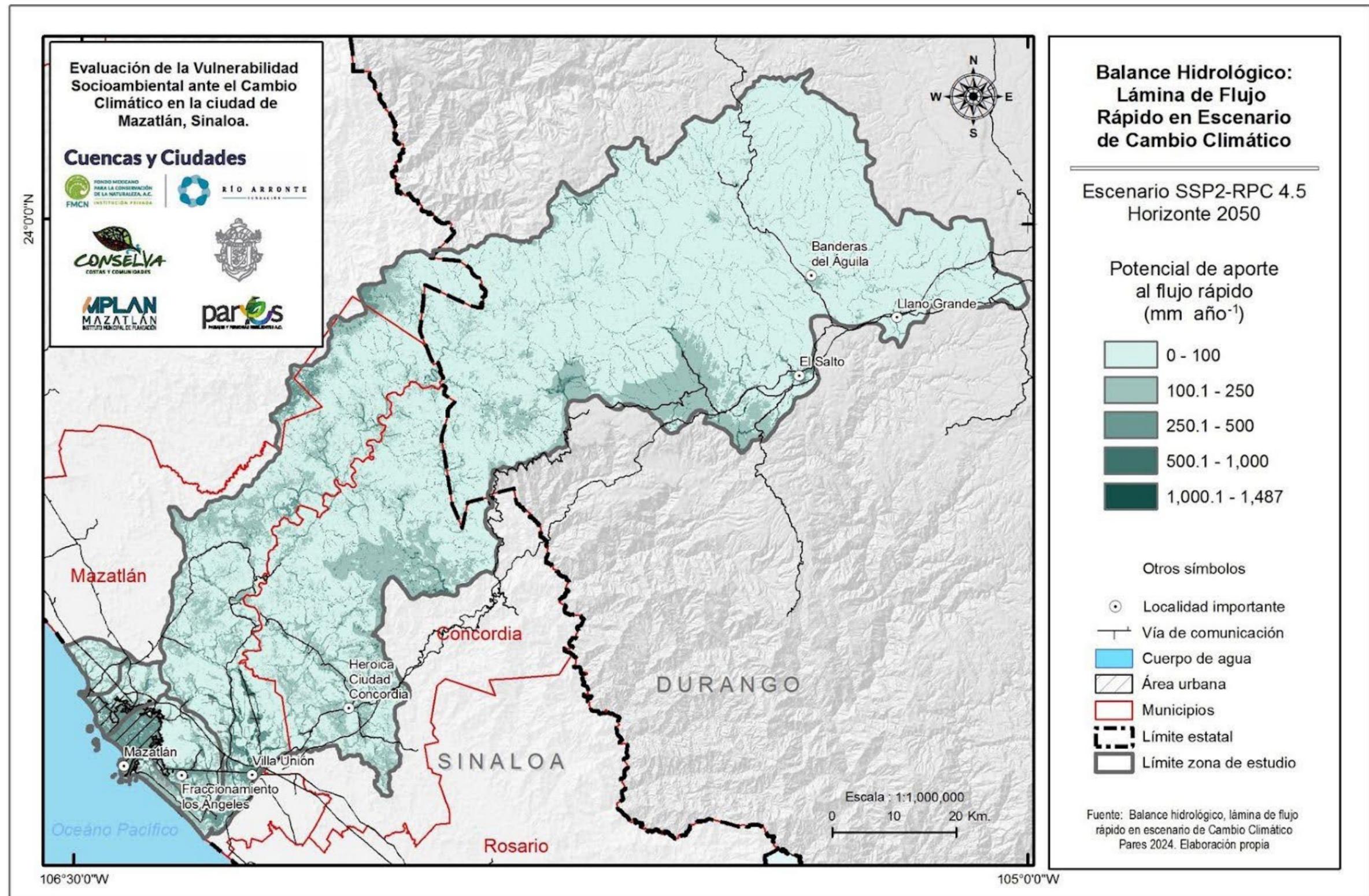


Figura 93. Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

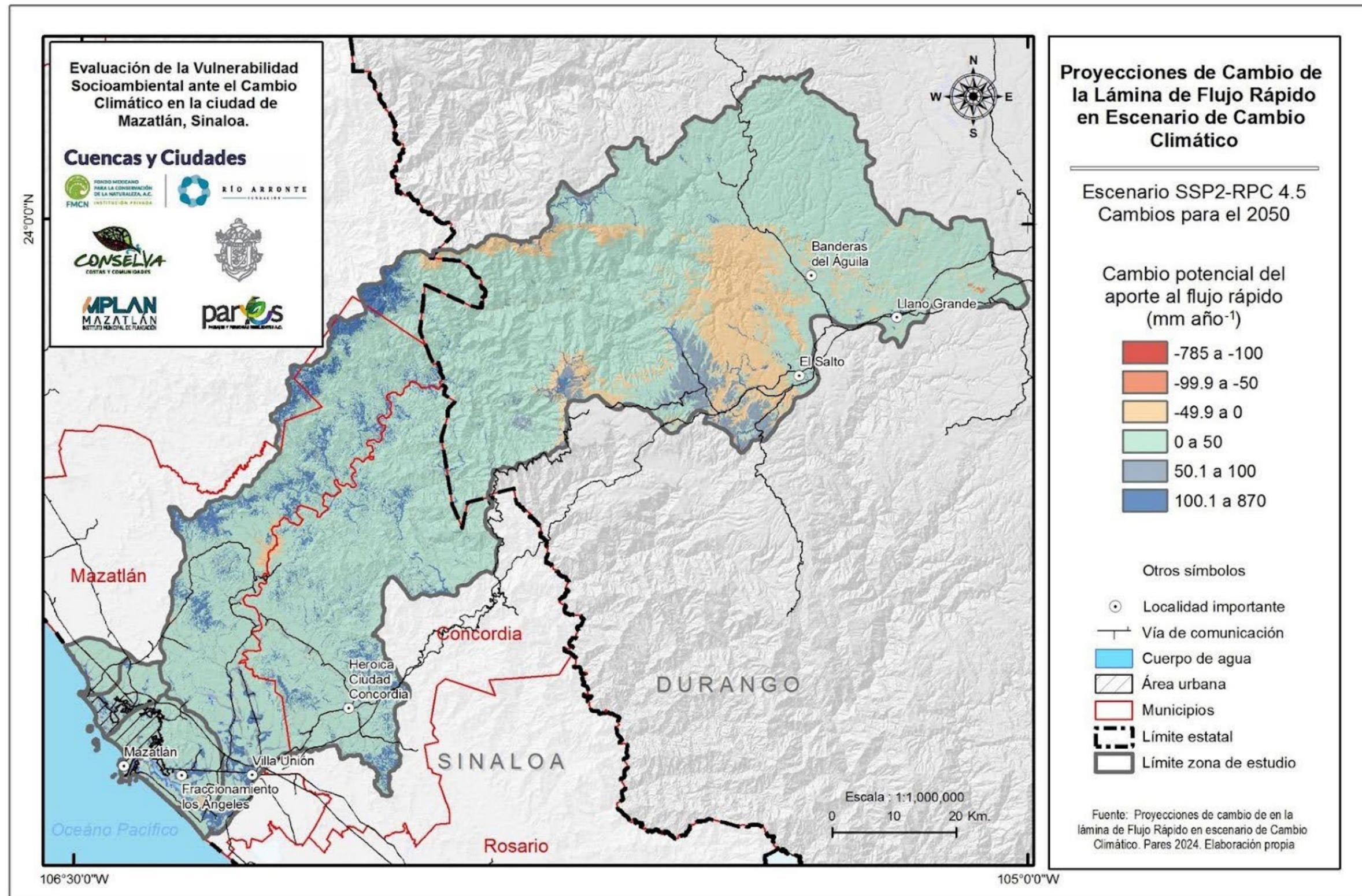


Figura 94. Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

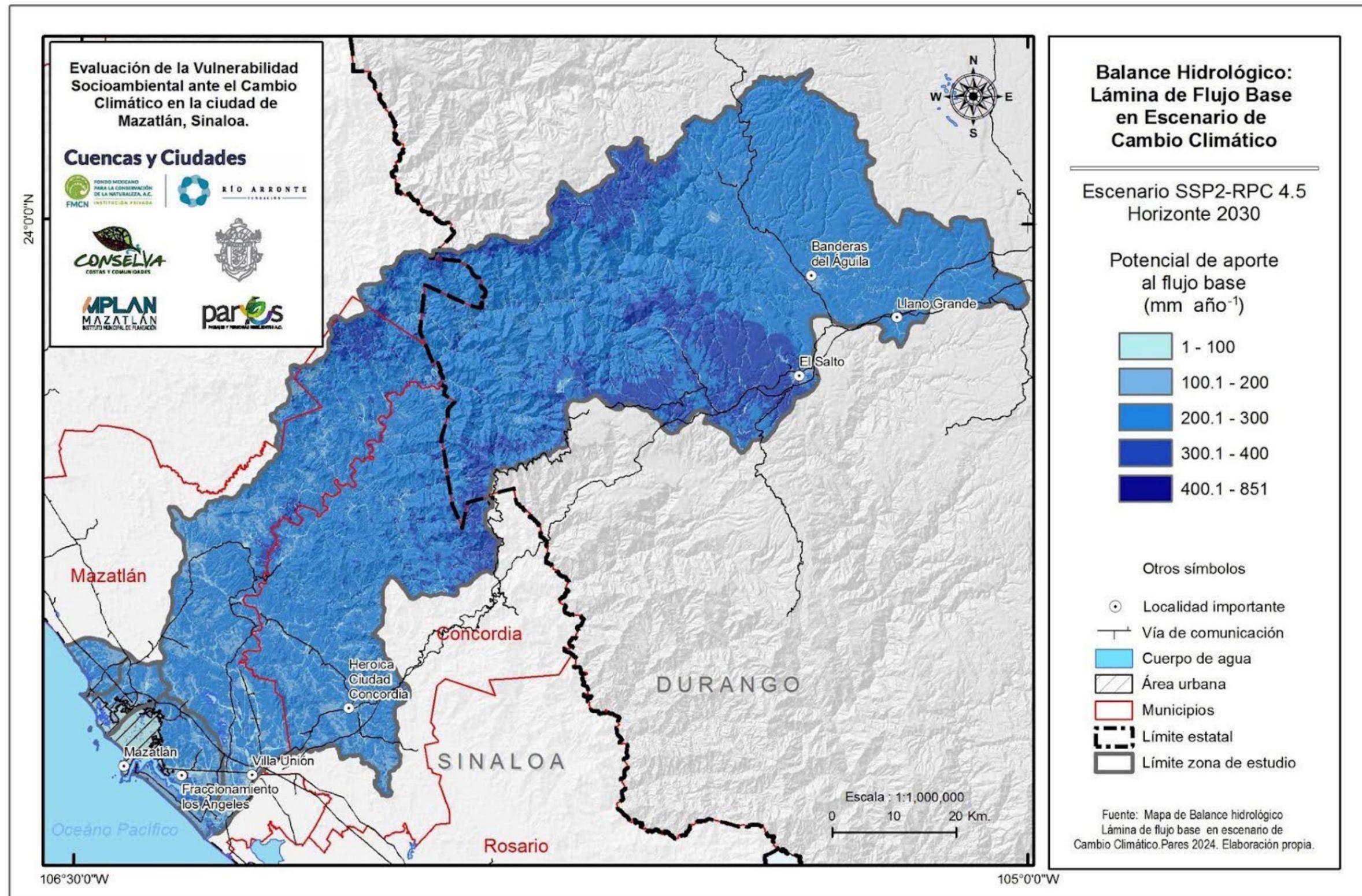


Figura 95. Aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

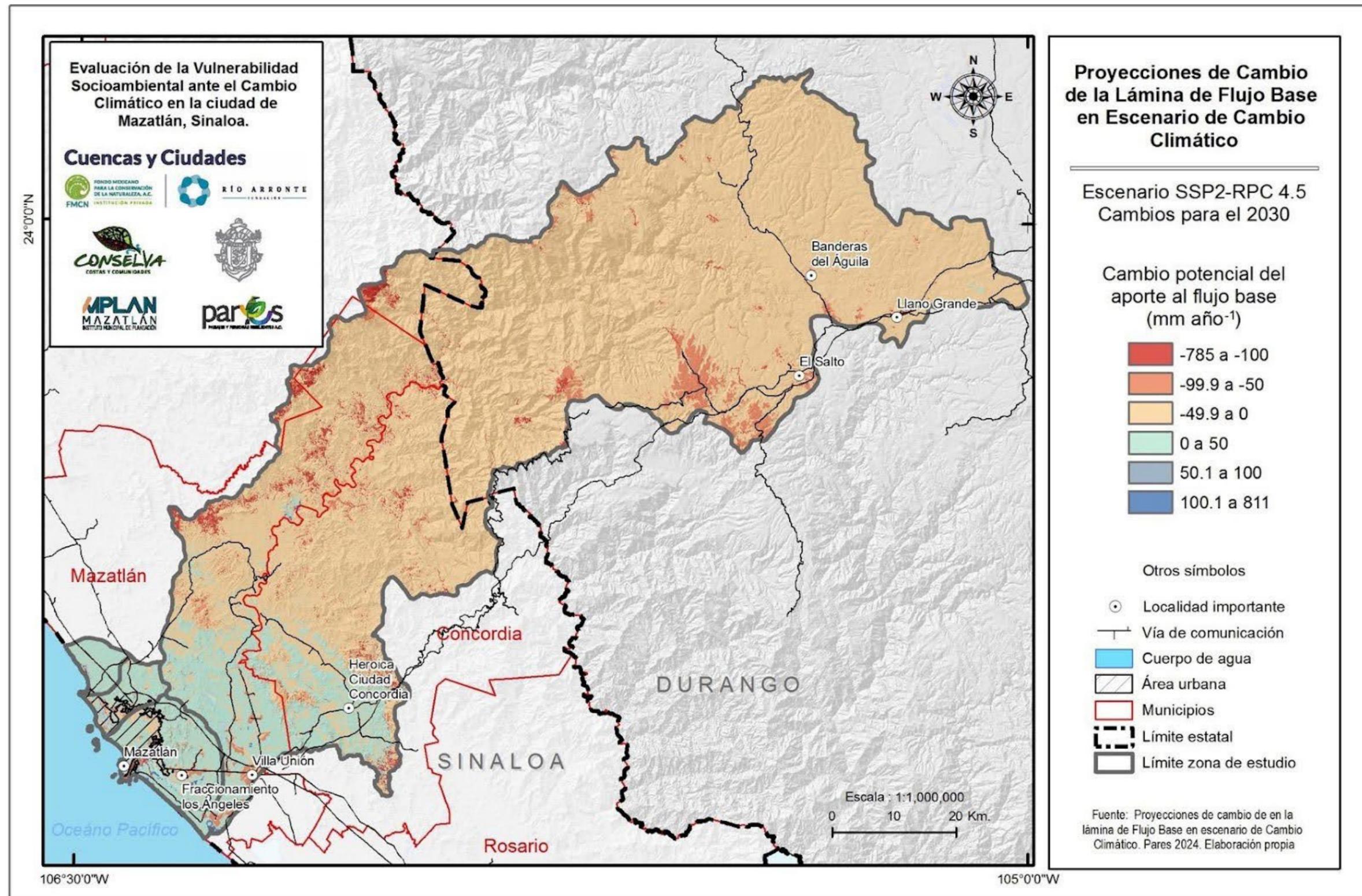


Figura 96. Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

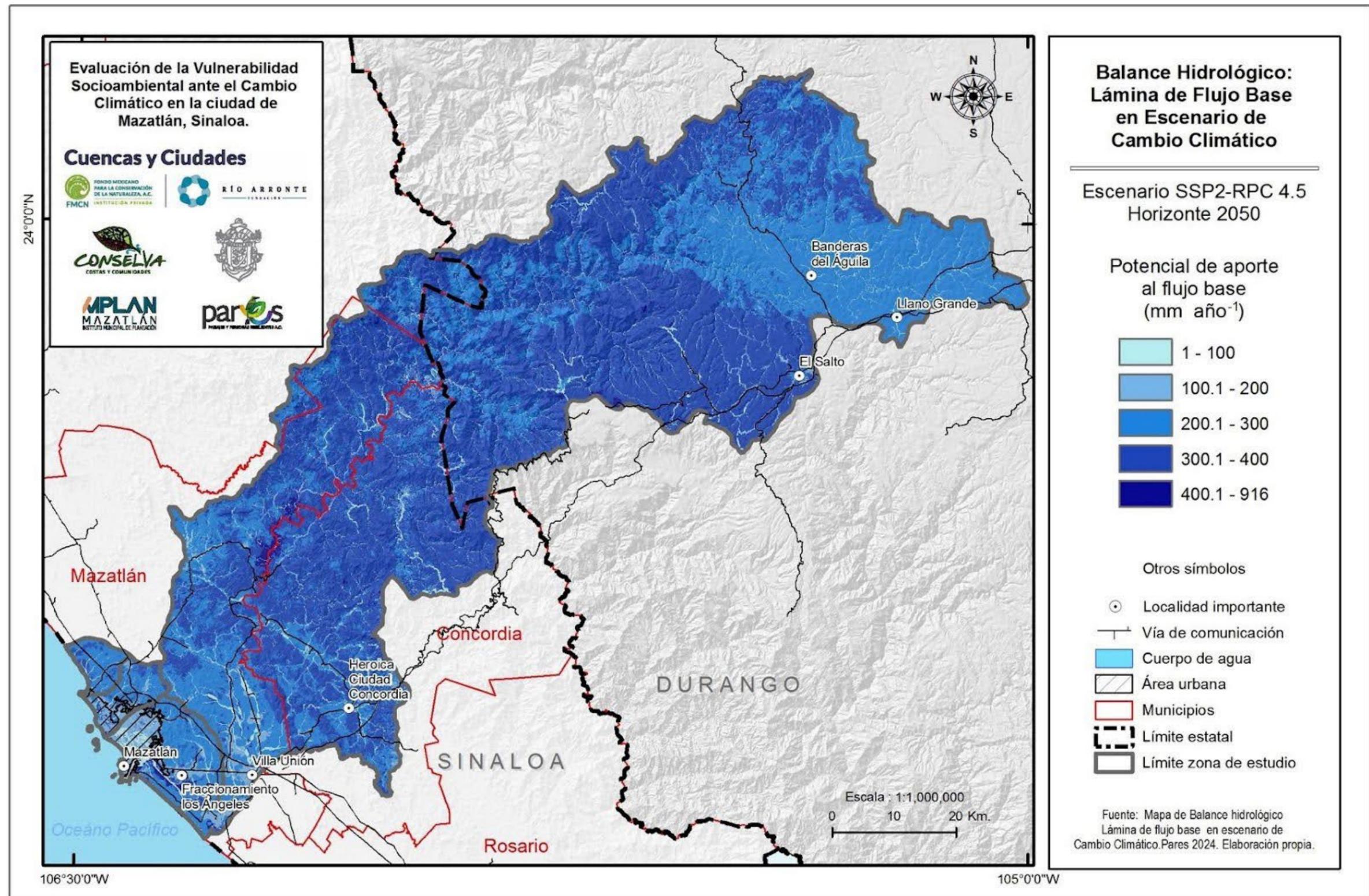


Figura 97. Aporte al flujo base en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

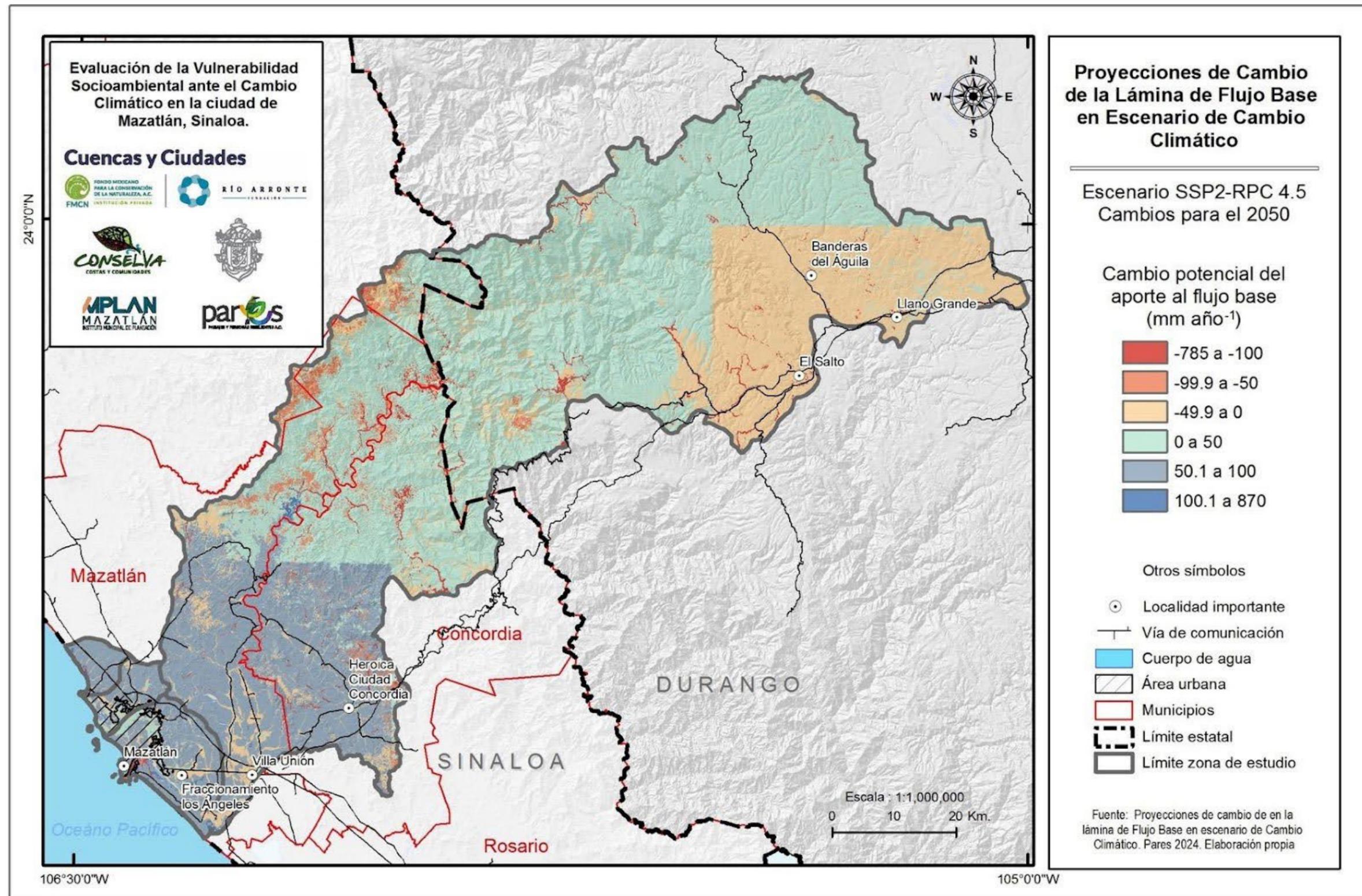


Figura 98. Cambios potenciales en el flujo base en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

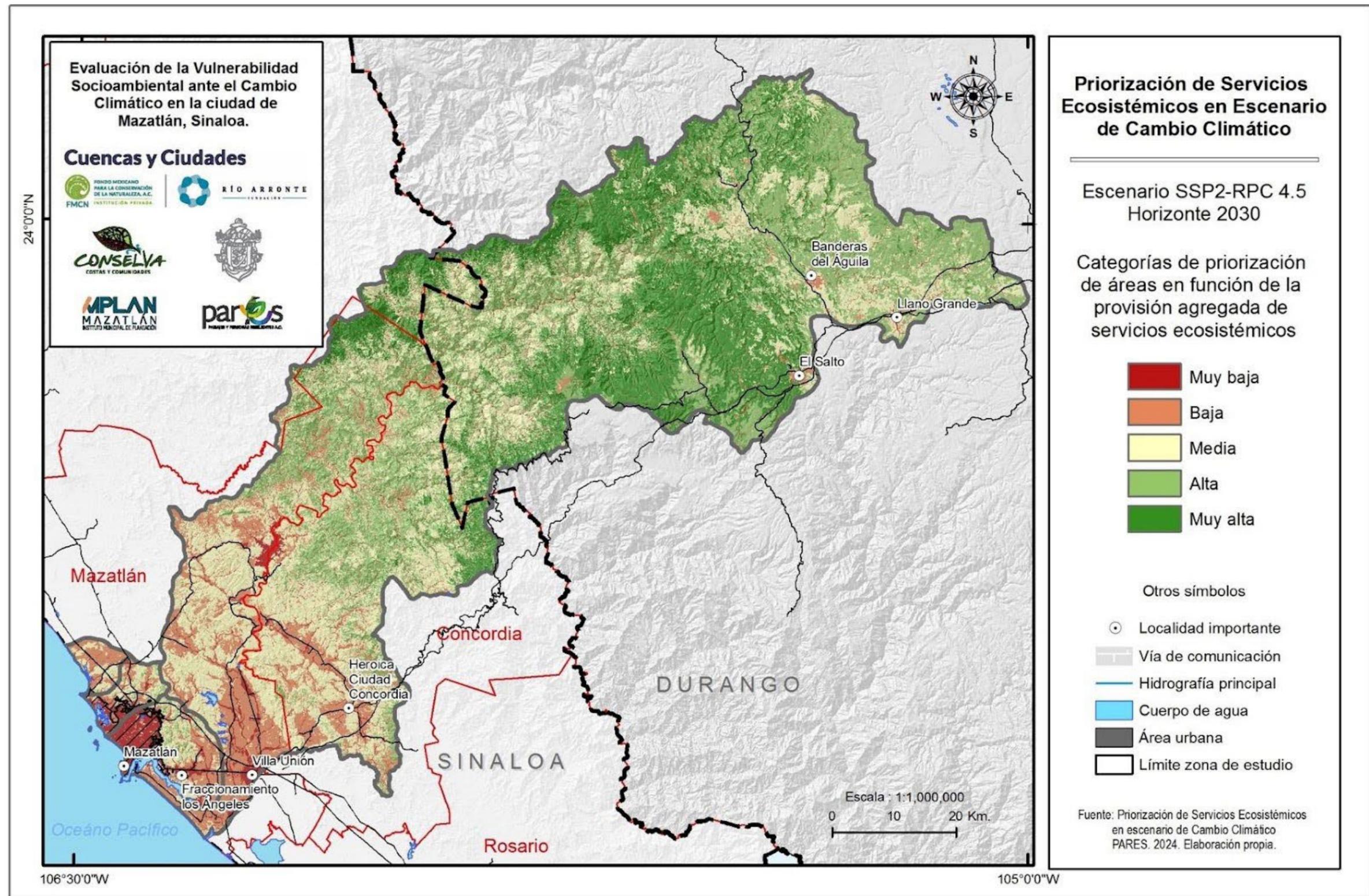


Figura 99. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel de cuenca (2030). Fuente: Pares A.C.

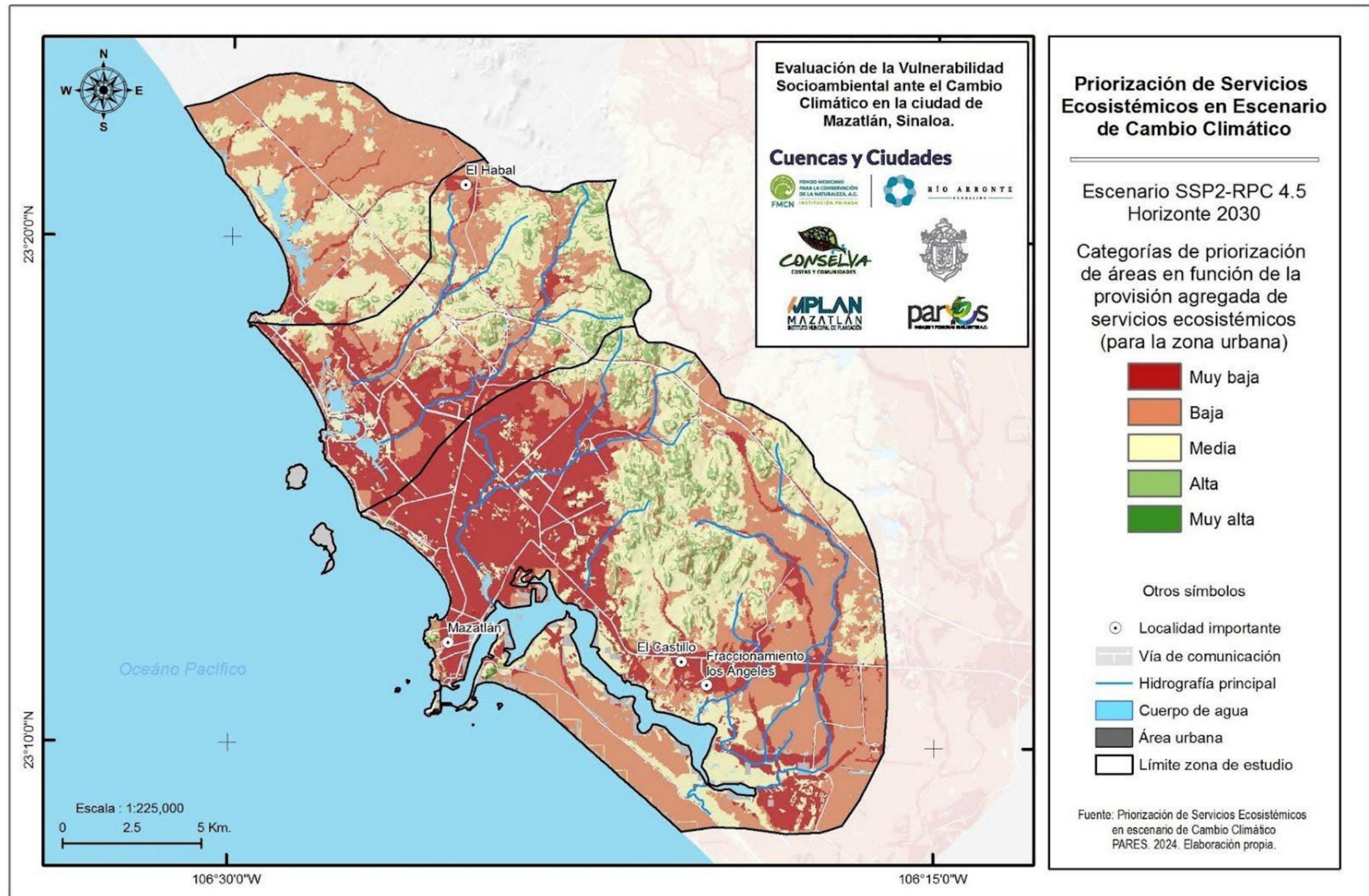


Figura 100. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel urbano (2030). Fuente: Pares A.C.

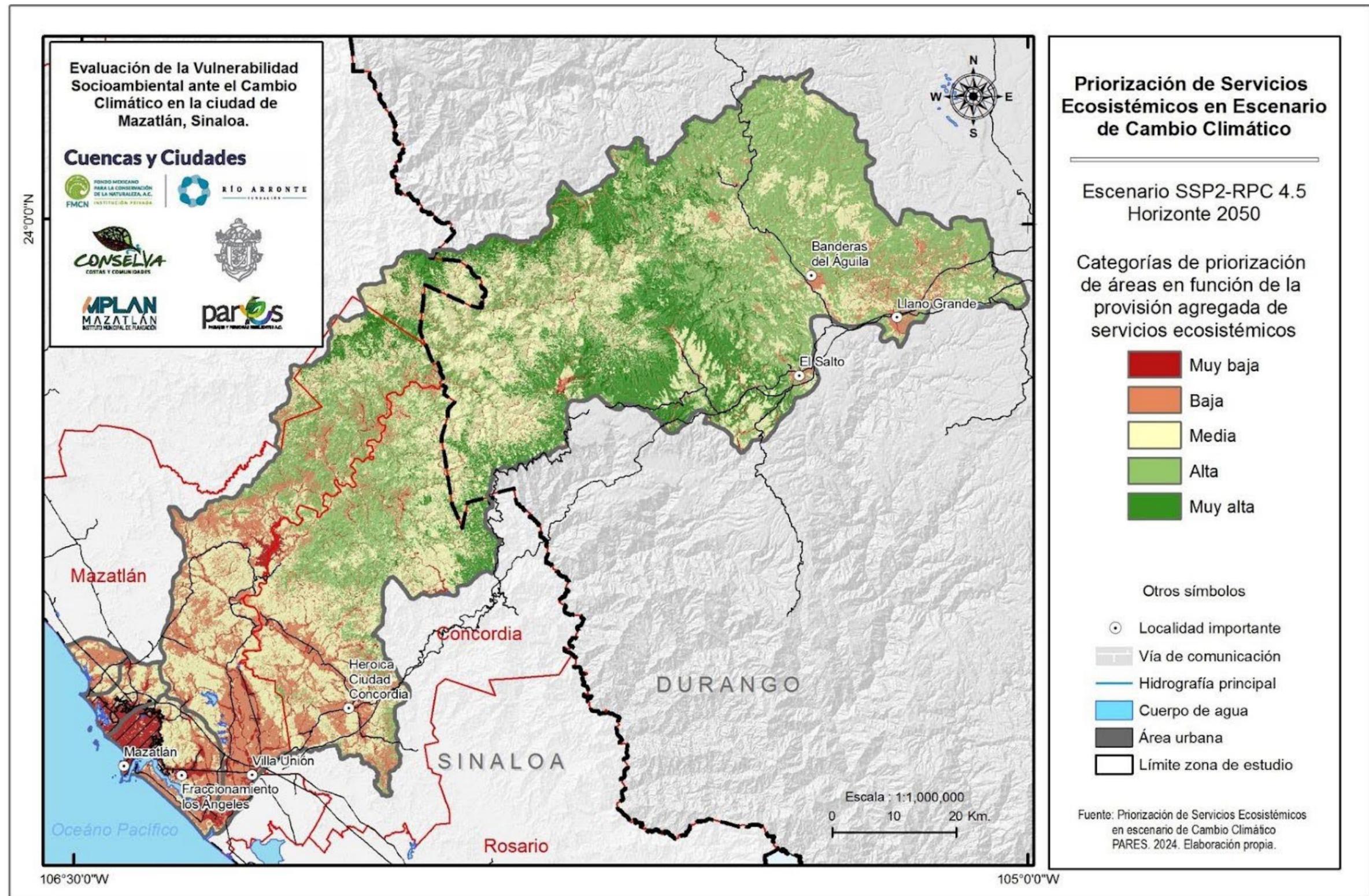


Figura 101. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel de cuenca (2050). Fuente: Pares A.C.

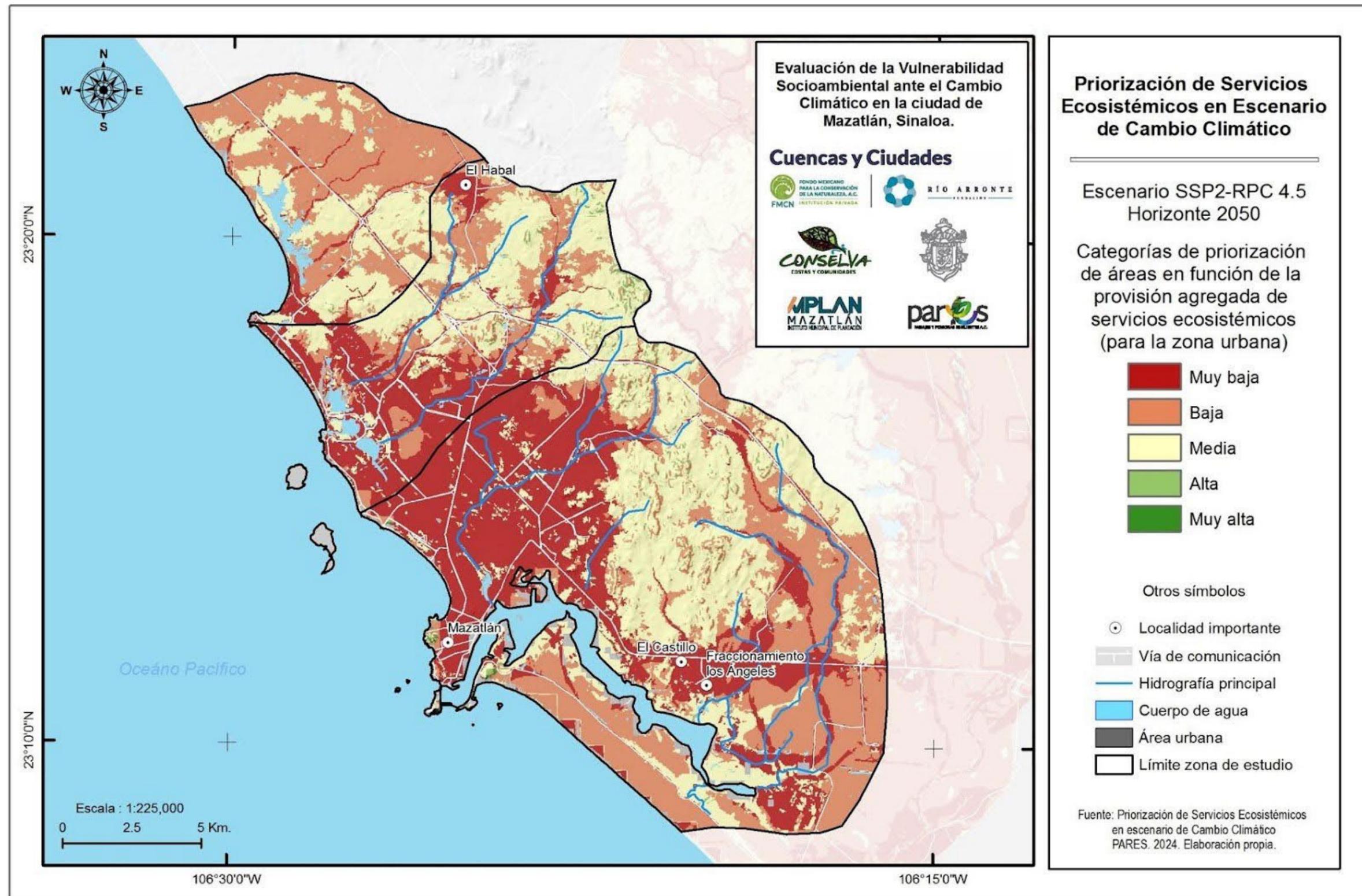


Figura 102. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5. a nivel urbano (2050). Fuente: Pares A.C.

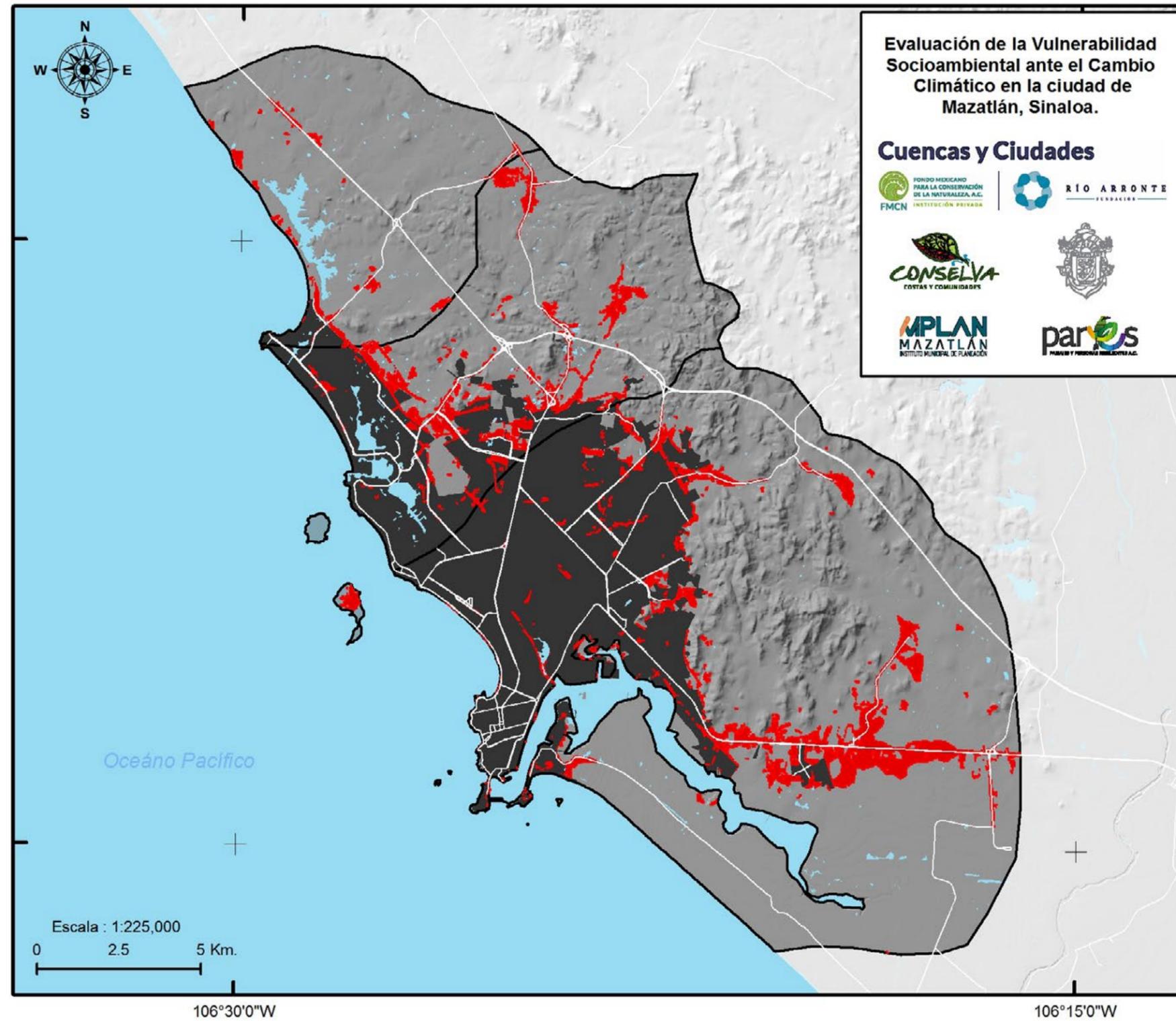


Figura 103. Proyección de zonas de crecimiento urbano de la ciudad de Mazatlán a 2030.
Fuente: Pares, A.C.

Anexo I.

Experiencias en la construcción de modelos multivariados.

- Secretaría de Desarrollo Regional-Gobierno del Estado de Veracruz. 2000. Ordenamiento ecológico de la cuenca del río Bobos - Nautla, Veracruz. Publicado en línea
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2000. Programa de manejo del Área Natural Protegida Ciénaga del Fuerte. Publicado en línea
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2000. Programa de Manejo del Área Natural Protegida Río Pancho Pozas. Publicado
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2000. Programa de manejo del Área Natural Protegida del Río Filobobos y su entorno. Publicado
- INE-Semarnat. 2002. Elaboración de la base cartográfica y bases de datos para el ordenamiento ecológico de la cuenca Lerma - Chapala - Santiago. Publicado
- INE-Semarnat. 2003. Estudio de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma - Chapala. Publicado
- Ayuntamiento de Tatahuicapan, Veracruz. 2003. Asesoría sobre la relación agua-bosque, balance hidrológico y el pago por servicios ambientales en la cuenca del Río Texizapan, Municipio de Tatahuicapan, Veracruz.
- García Coll, I., A. Martínez Otero, A. Ramírez Soto, A. Niño Cruz, A. Juan Rivas, L. Domínguez Barradas. 2004. Relación agua-bosque: delimitación de zonas prioritarias para pago de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca del Río Gavilanes, Coatepec, Veracruz. En: Cotler, H. (Comp.) El manejo integral de cuencas en México, estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Semarnat, México. Publicado
- INE-Semarnat. 2004. Estudio de fragilidad geoecológica de la cuenca Lerma-Chapala. Publicado
- Comisión Federal de Electricidad-Instituto de Ecología, A.C. 2005. Ordenamiento ecológico de la Presa de El Cajón y su entorno, Nayarit.
- GEF-PNUD-Semarnat. 2005. Ordenamiento ecológico comunitario del municipio de Pajapan, Ver.
- Fondos Sectoriales CONACYT - Semarnat. 2004-2005. Elaboración de un manual de herramientas técnicas para ordenamiento ecológico de cuencas hidrológicas: guía para delimitación de paisajes geoecológicos y socioeconómicos.
- Gobierno del Estado de Veracruz. 2006. Ordenamiento ecológico de la cuenca del Río Tuxpan región Veracruz. Publicado

- Pare, L., T. Fuentes, I. García Coll, P. Gerez, M. Muñiz C., y G. Vidriales. 2008. Gestión de la cuenca del río Pixquiac y su interacción con la zona conurbada de Xalapa: esfuerzos desde la sociedad civil. en Denise Soares, María Rosa Nuño y Sergio Vargas (editores), La gestión de los recursos hídricos: Realidades y perspectivas, Tomo I. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Universidad de Guadalajara. Publicado
- Boege, Schmidt, E. 2008. El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México/Eckart Boege; colaboradores Geogina Vidriales Chan, Isabel García Coll (et al.). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. (colaboración en la regionalización). Publicado
- García Coll, I., A. Ramírez Soto, A. Niño Cruz y A. Juan Rivas. 2008. Herramientas para la planeación territorial y el ordenamiento ecológico: elaboración de paisajes geoecológicos y de intensidad de apropiación territorial. Instituto Nacional de Ecología - Semarnat, México (publicado en línea página del INE Semarnat).
- Instituto de Ecología, A.C. 2011. Balance hídrico de la región cafetalera del centro de Veracruz denominada "Faja de Oro". Proyecto Fordecyt no. 139378 "Consolidación de una red agroecológica intersectorial de innovación para lograr una cafecultura sustentable en el centro del Estado de Veracruz". Mokondoko, P.Tesis doctoral.
- Tecnover, A.C. 2012. Estudios específicos para complementar la propuesta de ordenamiento ecológico regional de la cuenca del río Tuxpan, en los municipios del Estado de Hidalgo. Publicado
- Tecnover, A.C. 2012. Estudios específicos para complementar la propuesta de ordenamiento ecológico regional de la cuenca del río Tuxpan, en los municipios del Estado de Puebla.
- Secretaría de Medio Ambiente Gobierno del Estado de Veracruz. Actualización del ordenamiento ecológico de la cuenca del río Tuxpan - Tecnover, A.C. 2012. Veracruz. Publicado en línea
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Veracruz. México. grupo organizador y redactor. Publicado
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 2014-2016. Ordenamiento ecológico local del municipio de Alvarado, con énfasis en los impactos del Cambio Climático. Recursos del Banco Mundial.
- INECC-Banco Mundial. 2016. Colaboración en el proyecto de "Diseño de planes de adaptación para municipios vulnerables en el Golfo de México".
- Instituto de Ecología, A.C. 2017. Proyecto de evaluación integral de la vulnerabilidad al Cambio Climático de la cuenca del Río Jamapa, Ver. y sus repercusiones en el sistema cafetalero, en poblaciones de la cuenca baja (Cd. de Veracruz y otras) vulnerables a inundaciones y en las ANP. Proyecto INECC-Conacyt 2016-2017.
- ONU Programa para el medio ambiente: CityAdapt. 2019. Estudio de vulnerabilidad ante el Cambio Climático en Xalapa y Tlalnahuayocan, Veracruz. ONU Programa para el medio ambiente, México, 156 pp. Publicado

Anexo II.

Infraestructura urbana expuesta en la ciudad de Mazatlán.

Sector	Unidades existentes	Unidades expuestas
Acuicultura	26	16
Camaronicultura	24	15
Piscicultura y otra acuicultura, excepto camaronicultura	2	1
Bares y discotecas	107	77
Bares, cantinas y similares	91	66
Centros nocturnos, discotecas y similares	16	11
Escuelas	304	159
Escuelas de educación media superior del sector privado	3	2
Escuelas de educación media superior del sector público	9	5
Escuelas de educación media técnica terminal del sector privado	2	1
Escuelas de educación preescolar del sector privado	25	11
Escuelas de educación preescolar del sector público	70	30
Escuelas de educación primaria del sector privado	5	3
Escuelas de educación primaria del sector público	110	35
Escuelas de educación secundaria general del sector privado	2	-
Escuelas de educación secundaria general del sector público	166	128
Escuelas de educación secundaria técnica del sector público	5	2
Escuelas de educación superior del sector privado	8	5
Escuelas de educación superior del sector público	13	10
Escuelas de educación técnica superior del sector privado	5	2

Sector	Unidades existentes	Unidades expuestas
Escuelas de educación técnica superior del sector público	1	1
Escuelas del sector privado de educación para necesidades especiales	4	2
Escuelas del sector privado que combinan diversos niveles de educación	37	23
Escuelas del sector público de educación para necesidades especiales	15	14
Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	8	6
Gobierno	49	39
Actividades de seguridad nacional	1	1
Administración pública en general	48	38
Hospitales	17	5
Hospitales del sector privado de otras especialidades médicas	2	-
Hospitales del sector público de otras especialidades médicas	1	-
Hospitales generales del sector privado	11	5
Hospitales generales del sector público	3	1
Restaurantes	611	235
Restaurantes con servicio de preparación de pescados y mariscos	253	117
Restaurantes con servicio de preparación de pizzas, hamburguesas, hot dogs y pollos rostizados para llevar	358	118
Servicio Alojamiento	5	2
Cabañas, villas y similares	7	7
Departamentos y casas amueblados con servicios de hotelería	16	12
Hoteles con otros servicios integrados	70	61
Hoteles sin otros servicios integrados	73	48

Sector	Unidades existentes	Unidades expuestas
Agua y Energía eléctrica	38	20
Captación, tratamiento y suministro de agua realizados por el sector público	30	19
Comercialización de energía eléctrica	1	-
Escuelas del sector público de educación para necesidades especiales	3	1
Escuelas del sector público que combinan diversos niveles de educación	1	-
Gobierno	2	-
Actividades de seguridad nacional	1	-
Total general	1354	679

Anexo III.

Impacto potencial por colonia.

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Reforma	1162	547	23		1732
Del Bosque	1157	659	39		1855
Benito Juárez	910	5234	718	283	7145
Loma Atravezada	820	814	34		1668
Montuosa	763	1086	309		2158
Obrera	674		407		1081
Francisco I. Madero	580	4062	582		5224
12 de Mayo	575	599	20	74	1268
Azteca	557	780	89		1426
Urias	465	874	185		1524
Gabriel Leyva	360	826	17		1203
Playa Sur	112	728	1084	21	2182
Francisco Solís	349	194	599		1142
Antonio Toledo Corro	273	268	667		1208
Casa Redonda	266	1209	609	1059	3143
Quinta Chapalita	259	394	7		660
Francisco Alarcón	243	442	317	456	1458
Independencia	218	893	1071	366	2548
Santa Fe Los Ángeles	218	644	232	1526	2620
Tierra y Libertad	205	106	301		672

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Rafael Buelna	175	1175	148		1498
Casas Económicas	153	301	66		520
Anáhuac	152	160	37		349
Bosques del Rio	141				141
Pino Suarez	129	398	347		874
Ferrocarrilera	128	211	74		413
Infonavit Playas	125	288	79		492
Centro	123	1157	1388	1808	4476
Jesús García	122	919	42		1083
Del Valle	116	369	26		511
Sembradores de La Amistad	116		2		118
Salvador Allende	113	265	121		499
Villas del Estero	112	217			329
Insurgentes		1601	704		2305
Olimpica		1379	112		1491
Rubén Jaramillo		1267	14		1281
Estero		1014	934		1948
Pradera Dorada		911	683	777	2371
Adolfo López Mateos		822	630		1452
Infonavit Jabalines		658			658
Tercera Ampliación de Urías		649	56		705
Lázaro Cárdenas		586	1497	322	2405
Palos Prietos		432	494		926
Klein		393	40		433
La Sirena		391	110		501

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Loma de Juárez		327	17		344
El Toreo		319	818	63	1200
Libertad		309	1203	391	1903
Sánchez Celis		286	693	1231	2210
Esperanza		284	55		339
Federico Velarde		253	1143		1396
20 de Noviembre		229	793	124	1146
Pueblo Nuevo		229	317	474	1020
Las Gaviotas		217		211	428
San Rafael		179			179
Jardines del Tore		171		107	278
La Cima		169			169
El Toro		166	325		491
Santa Virginia		165	9		174
Fovissste Jabalíes		146	23		169
Santa Cecilia		144			144
Hacienda del Mar		130		137	267
San Fernando		128	31		159
Playas del Sol		108	194		302
Los Girasoles		102	10		112
Emiliano Zapata		98	57		155
Arboledas II		92			92
Fovissste Playa Azul		92	21	13	126
Shimizu		86	1		87
Hacienda Victoria		79	9	80	168

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Infonavit Jabalies		86	1		87
Mazatlán I		79	9	80	168
Prado Bonito		74	8	3	85
La Alborada		69	85		154
Cerro del Vigía		60	40		100
Club Real		59	16		75
El Cid		56	189		245
Francisco Villa		55	1016	563	1634
Niños Héroe		55	266	810	1131
Jacarandas		53	236		289
Luis Echeverría		52	1005	1349	2406
Casa Blanca		48	3		51
Mazatlán II		44	23		67
Estadio		36		12	48
Porto Molino		28	29		57
13 de Septiembre				12	12
Alameda			59		59
Alejandría			33		33
Alfonso Cordero			1		1
Ampliación Bugambilias La Esperanza				16	16
Ampliación Villa Verde				94	94
Arboledas I			136		136
Arboledas III				7	7
Bahías				424	424
Balcones de Loma Linda			112	63	175

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Brisas del Mar			273		273
Bugambilias				76	76
Burócrata			57	250	307
Campestre				13	13
Canaco Servitur			58		58
Catalina			82		82
Cerritos Resort				56	56
Costa Dorada				128	128
Delfines				4	4
Demetrio Vallejo			22		22
Don Federico				1	1
Doña Chonita				65	65
Dorados de Villa				320	320
El Castillo				60	60
El Conchi			147		147
El Dorado			121	48	169
El Milagro				11	11
El Palmito				23	23
El Pescador			7	8	15
El Venadillo				64	64
Ex - Hacienda del Conchi				3	3
Flamingos			132		132
Fuentes del Valle				229	229
Genaro Estrada			57		57
Gustavo Diaz Ordaz			78		78

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Hacienda de Uriás		86	10	43	53
Hacienda del Seminario		79	183	27	210
Hacienda del Valle		74		8	8
Hacienda Los Mangos		69	57	556	613
Hogar del Pescador		60	26	16	42
Huertos Familiares		59	1		1
Infonavit Olimpo		56	23		23
Invies Loma Bonita		55		71	7
Isla de La Piedra		55		32	32
Isla Residencial		53	53		53
Jardines de La Riviera		52		50	50
Jardines del Valle		48	53		53
Jaripillo		44	6	2	8
Jesús Kumate		36	2		2
Juan Carrasco			598		598
La Foresta			618		940
La Ladrillera				5	55
Labastida Ochoa				55	62
Las Misiones			1		1
Laureles			1		1
Libertad de Expresión				339	339
Lideres en Acción			14		14
Loma Bonita			8	29	37
Lomas de Mazatlán			59	424	424
Lomas de San Jorge				63	175

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Lomas del Ébano			4		4
Lomas del Porvenir			4	1	5
Lomas del Valle			12		12
Los Caracoles			16		16
Los Magueyes			85		85
Los Pinos			51	17	68
Manuel J. Clouthier			112	175	287
María Antonieta				17	17
Marina Mazatlán				152	152
Mazatlán III			12		12
Mediterráneo Club Residencial			3		3
Mirasol			47		47
Monte Verde				30	30
Nuevo Cajeme			60		60
Olas			122	210	332
Palmillas				1	1
Paraíso			10		10
Parque Industrial Alfredo V Bonfil				1	33
Paseo Alameda I				12	12
Periodista				25	25
Plaza Reforma			106	66	172
Pradera Dorada Etapa 6				109	109
Pradera Dorada V			60	519	579
Pradera Dorada VII				8	8
Prados del Sol				1	1

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Presas del Valle				43	43
Priv. Lomas del Bosque			19		19
Progreso				187	187
Punta Arena				1	1
Ramon F Iturbe			18	3	21
Real Pacifico			7	36	43
Residencial Real del Valle			1	89	90
Residencial Rinconada			147		147
Ricardo Flores Magón			104		104
Rincón de Mazatlán			1		1
Rinconada del Valle				23	23
Sábalo Country Club			297	612	909
San Antonio			37		37
San Francisco Residencial				45	45
Santa Elena			1		1
Santa Rita				19	19
Santa Rosa			1		1
Santa Teresa			51	1	52
Tellería			364		364
Torremolinos			19		19
Urbivilla del Real				8	8
Valle de Urías			43		43
Valle Dorado				25	25
Valles del Ejido			109		109
Valles del Sol			1		1

Colonia	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Total habitantes expuestos
Villa Carey				126	126
Villa de Guadalupe			1		1
Villa de Las Flores			3		3
Villa Florida			10		10
Villa Galaxia			46		46
Villa Satélite			52	406	458
Villa Verde				1	1
Villas de Jaraco			61	118	179
Villas del Sol				18	18
Villas Puerto Iguanas				36	36
Zona Dorada				6	6
Sin Nombre			100	126	526
Total general	12,108	41,290	29,032	19,920	102,350

Anexo IV.

Priorización de servicios ecosistémicos por tipo de vegetación.

Categoría de priorización de SE / Tipo de vegetación	Superficie total (ha)	Porcentaje de la categoría
Muy Alta		
Selva baja caducifolia	170.3	49%
Vegetación 2aria arbórea de selva baja caducifolia	106.9	31%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja caducifolia	36.9	11%
Asentamientos humanos	12.2	4%
Agricultura de temporal anual	7.8	2%
Pastizal cultivado	6.2	2%
Agricultura de temporal permanente	3.0	1%
Vegetación 2aria arbustiva de manglar	1.6	0%
Agricultura de temporal anual y permanente	1.4	0%
Manglar	1.2	0%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	0.7	0%
Cuerpo de agua	0.1	0%
Total	348.2	100%
Alta		
Selva baja caducifolia	1,486.3	43%
Vegetación 2aria arbórea de selva baja caducifolia	1,129.5	32%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja caducifolia	308.4	9%
Agricultura de temporal anual	143.3	4%
Pastizal cultivado	137.8	4%
Vegetación 2aria arbustiva de manglar	79.0	2%

Categoría de priorización de SE / Tipo de vegetación	Superficie total (ha)	Porcentaje de la categoría
Asentamientos humanos	68.0	2%
Acuícola	40.8	1%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	19.3	1%
Agricultura de temporal permanente	11.6	0%
Selva baja espinosa caducifolia	11.6	0%
Manglar	11.0	0%
Agricultura de temporal anual y permanente	5.4	0%
Cuerpo de agua	4.1	0%
Total	3,479.0	100%
Media		
Selva baja caducifolia	2,635.6	28%
Vegetación 2aria arbórea de selva baja caducifolia	1,492.1	16%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja caducifolia	1,027.4	12%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	1,026.5	10%
Agricultura de temporal anual	571.5	6%
Asentamientos humanos	520.5	6%
Acuícola	498.9	5%
Manglar	797.9	5%
Pastizal cultivado	356.0	4%
Vegetación 2aria arbustiva de manglar	170.0	2%
Selva baja espinosa caducifolia	140.4	1%
Cuerpo de agua	125.8	1%
Agricultura de temporal permanente	123.3	1%
Vegetación 2aria herbácea de manglar	57.7	0%
Pastizal inducido	4.7	0%
(en blanco)	0.0	0%
Total	9,382.7	100%

Categoría de priorización de SE / Tipo de vegetación	Superficie total (ha)	Porcentaje de la categoría
Baja		
Agricultura de temporal anual	4,373.1	32%
Pastizal cultivado	2,872.7	211%
Agricultura de temporal anual y permanente	1,783.6	13%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja caducifolia	1,494.2	11%
Asentamientos humanos	1,375.9	10%
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	670.5	5%
Selva baja caducifolia	468.3	3%
Agricultura de temporal permanente	289.3	2%
Vegetación 2aria arbórea de selva baja caducifolia	270.2	2%
Acuícola	94.1	1%
Cuerpo de agua	51.4	0%
Manglar	31.2	0%
Vegetación halófila hidrófila	28.0	0%
Pastizal inducido	22.1	0%
Vegetación 2aria arbustiva de manglar	16.4	0%
Selva baja espinosa caducifolia	14.5	0%
Vegetación 2aria herbácea de manglar	0.9	0%
(en blanco)	0.0	0%
Total	13,856.4	100%
Muy baja		
Asentamientos humanos	520.5	6%
Agricultura de temporal anual	-	1
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja caducifolia	797.9	63.4
Pastizal cultivado	646.8	646.8
Vegetación 2aria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	1,126.6	17.3
Selva baja caducifolia	1,677.7	1116.0

Categoría de priorización de SE / Tipo de vegetación	Superficie total (ha)	Porcentaje de la categoría
Vegetación 2aria arbórea de selva baja caducifolia	4,373.1	32%
Agricultura de temporal permanente	4,373.1	32%
Agricultura de temporal anual y permanente	2,872.7	211%
Cuerpo de agua	1,783.6	13%
Manglar	1,494.2	11%
Acuícola	1,375.9	10%
Vegetación 2aria arbustiva de manglar	670.5	5%
Selva baja espinosa caducifolia	468.3	3%
Vegetación 2aria herbácea de manglar	289.3	2%
Total	270.2	2%
Sin categoría de priorización		
Cuerpo de agua	51.4	0%
Asentamientos humanos	31.2	0%
Pastizal inducido	28.0	0%
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	22.1	0%
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja espinosa caducifolia	16.4	0%
Vegetación secundaria arbustiva de manglar	14.5	0%
Pastizal cultivado	0.9	0%
Agricultura de temporal permanente	0.0	0%
Agricultura de temporal anual y permanente	13,856.4	100%
Vegetación halófila hidrófila	646.8	646.8
Manglar	520.5	6%
Selva baja espinosa caducifolia	-	1
Acuícola	797.9	63.4
Total	646.8	646.8

Glosario

- **Adaptación:** El proceso de ajuste a los cambios reales o proyectados y a sus efectos, con el fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. La adaptación puede ser proactiva (ajuste a los cambios previstos) o reactiva (ajuste a los cambios que se han producido), o una mezcla de ambas.
- **Adaptación basada en Ecosistemas (AbE):** Enfoque que permite aprovechar los beneficios de la naturaleza para hacer frente al Cambio Climático que afecta a las comunidades, los medios de vida, la economía y el bienestar de las personas.
- **Agricultura protegida:** sistema de producción permite controlar factores ambientales como la luz, temperatura, viento, granizo y plagas.
- **Aumento del nivel del mar:** Aumento en el nivel causado por el derretimiento de los glaciares y polos, lo que genera que el agua salada avance dentro de los continentes modificando las condiciones del suelo, los ecosistemas, las zonas de cultivo y las zonas habitacionales.
- **Biodiversidad:** Por diversidad biológica se entiende la variedad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.
- **Cambio Climático:** Se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del Cambio Climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.
- **Capacidad adaptativa:** Es la capacidad de un sistema para ajustarse al Cambio Climático (incluida la variabilidad climática y los eventos extremos), moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades y enfrentar las consecuencias.
- **Capacidad de infiltración.** Cantidad máxima de lluvia que puede absorber un suelo determinado en unas condiciones dadas (UN, 2023).
- **Captura de carbono:** Las plantas y organismos fotosintéticos juegan un papel importante en el ciclo del carbono, ya que utilizan el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, agua y energía para obtener oxígeno (O₂) y materia orgánica. Parte del carbono que absorben las plantas se captura y almacena en los suelos.
- **Comunidad:** Una comunidad es un grupo de personas que pueden vivir o no en la misma zona, aldea o vecindario, y que comparten una cultura, hábitos y recursos similares. Las comunidades son grupos de personas que también están expuestas a las mismas amenazas y riesgos, como las enfermedades, los problemas políticos y económicos y los desastres naturales.
- **Conductividad hidráulica:** Es una propiedad física que expresa la facilidad con la que el agua se mueve a través de los poros del suelo. Es una medida de la permeabilidad del suelo, es decir, de su capacidad para transmitir fluidos.
- **Cuenca hidrográfica:** Concepto utilizado para designar un territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua de lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común. Es decir que, toda el agua acumulada desemboca ya sea en un afluente más grande, una laguna o el mar.
- **Desastre y riesgo:** Un desastre se refiere a las alteraciones graves del funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos riesgosos que interactúan con las condiciones sociales vulnerables, efectos adversos generalizados sobre la población humana o en el ámbito material, económico o ambiental que requieren una respuesta inmediata a la emergencia para satisfacer las necesidades humanas esenciales, y que puede requerir apoyo externo para la recuperación. Un riesgo, por el contrario, es una ocurrencia potencial de una tendencia o suceso físico de origen natural o humano que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. Cuando un riesgo supera la capacidad de un sistema para hacer frente a sus efectos, se produce un desastre.
- **Ecosistema:** Unidad funcional que consta de organismos vivos, su entorno no vivo y las interacciones entre ellos.
- **Erodabilidad del suelo:** Es un índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas de cada suelo. Cuanto mayor sea la erodabilidad mayor porcentaje de erosión
- **Erosión costera:** es el proceso gradual de desgaste, desplazamiento y pérdida de material en las costas debido a la acción combinada de factores naturales y humanos. Las fuerzas del mar, como las olas, las mareas y las corrientes, son los principales agentes que erosionan la costa. Además, el aumento del nivel del mar asociado con el Cambio Climático también contribuye significativamente al proceso de erosión.
- **Erosividad de la lluvia:** Representa la energía con que las gotas de lluvia que caen a una determinada intensidad pueden romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable.
- **Escenario:** Una proyección de las condiciones futuras en un plazo determinado. Pueden utilizarse para comprobar la eficacia de las opciones bajo diferentes supuestos.
- **Exposición:** La presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos medioambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.
- **Eventos climáticos extremos:** Son eventos climáticos de alta intensidad o duración que superan los patrones climáticos normales en una región. Ejemplos de estos



WWW.FMCN.ORG