



FMCN

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



RÍO ARRONTE
FUNDACIÓN



SOCIEDAD DE HISTORIA NATURAL
Niparajá

Estudios de Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático

LA PAZ (BAJA CALIFORNIA SUR)



RÍO ARRONTE
FUNDACIÓN



Estudios de Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático | La Paz (Baja California Sur)

Autores: Nadia Itzel Castillo Pérez, Ana Karen Angón Rodríguez, Alberto Niño Cruz, Roberto Monroy Ibarra, Isabel García Coll, Sergio Alfredo Angón Rodríguez y Simón Pierre Mokondoko Delgadillo

Diseño y diagramación: **Fósforo** (fsfr.mx) | Fotografías: FMCN, Pares A.C. y colaboradores | Fotografía de portada: Israel Sánchez Alcántara |

Favor de citar el presente documento de la siguiente manera: **Angón Rodríguez, S. A., García Coll I., et al. (2025). Estudios de vulnerabilidad socioambiental ante el cambio climático. La Paz (Baja California Sur). Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. y Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. México.**

Estudios de Vulnerabilidad Socioambiental ante el Cambio Climático

LA PAZ (BAJA CALIFORNIA SUR)

Contenidos

1. Objetivo general	6
2. Resumen ejecutivo	8
3. Antecedentes	10
4. Análisis climático	20
5. Análisis de vulnerabilidad	62
6. Portafolio de Soluciones basadas en Naturaleza	198
7. Siglas y acrónimos	222
8. Glosario	224
9. Referencias	228

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 Sociedad de Historia Natural Niparajá 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.

Objetivo general

Desarrollar el estudio de vulnerabilidad socioambiental actual y futura ante eventos relacionados con la variabilidad climática para la ciudad de La Paz, Baja California Sur 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.

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 La Paz, Baja California Sur, considerando peligros climáticos, exposición de la población, sistemas productivos y ecosistemas, sensibilidad socioeconómica y capacidad adaptativa basada en ecosistemas. Los principales peligros identificados en La Paz son inundación por desborde de arroyos y marea de tormenta, erosión e inestabilidad de laderas. Actualmente, 29,825 habitantes distribuidos en 394 manzanas están expuestos a peligros relacionados con el clima, especialmente en colonias como Miramar, Chametla, La Esperanza y Fraccionamiento Juárez. De los sistemas agrícolas que rodean a la ciudad, 15,328 hectáreas (75% del total) se encuentran expuestas.

La infraestructura urbana, incluyendo instalaciones de gobierno, turismo y escuelas, también presenta alta exposición. Cerca de 136,644 personas en La Paz tienen algún grado de sensibilidad socioeconómica y la desigualdad de género agrava esta vulnerabilidad.

Los ecosistemas, en particular los bosques de encino y la selva baja al sur y sureste de la zona de estudio son cruciales para garantizar la disponibilidad de agua, aportando alrededor de 505.8 millones de m³/año. Por su parte, los ecosistemas boscosos de las Sierras de El Novillo, Las Cruces y Trincheras retienen 4,1 millones de toneladas de suelo al año, evitando su arrastre hacia la ciudad. La selva baja caducifolia es un ecosistema prioritario para la conservación de los servicios ecosistémicos.

En cuanto a la vulnerabilidad de la población urbana, actualmente 30,628 personas presentan algún grado de vulnerabilidad, concentradas en la colonia Miramar, Chametla, La Esperanza 2 y Fraccionamiento Juárez. 171 instalaciones urbanas y 87.8km de vialidades, así como 8,303 hectáreas de tierras agrícolas también son vulnerables. Debido al crecimiento urbano, en el año 2030 podría presentarse una pérdida de 2,645 hectáreas de cobertura vegetal, principalmente de selva baja caducifolia. En ese sentido, la población expuesta podría aumentar a 65,175 personas, siendo los ecosistemas como la selva baja los 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 tormentas tropicales, 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 una ciudad de La Paz 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.

Antecedentes

3.1. 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 períodos prolongados, generalmente décadas o períodos 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 “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 períodos 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 en 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-Habitat, actualmente el 78% de la población vive en ciudades, estos centros 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).

Como resultado, incluso efectos menores del cambio climático pueden afectar a un gran número de personas y pueden tener graves consecuencias para los sistemas urbanos más amplios (Arias *et al.*, 2021; Hardoy & Romero LanKao, 2011). 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). 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 período 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.
- Las densidades de población en las áreas urbanas pueden reducir o ejercer presión sobre los espacios verdes que podrían reducir el calor, la escorrentía del agua y la contaminación del aire.
- Deterioro en la red de distribución de agua, así como los sistemas de medición y cobro deficientes.
- 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 las ciudades del norte de México que experimentan 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, los sistemas urbanos 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 el Panel Intergubernamental de Cambio Climático 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 inundaciones, deslizamiento de laderas, sequías y ondas de calor relacionadas con eventos hidrometeorológicos extremos. Estos impactos se refieren a los efectos en la vida, medios de subsistencia, salud, bienestar, ecosistemas y especies, bienes económicos, sociales y culturales, 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% 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 La Paz, Baja California Sur, 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.

Otro aspecto crucial para La Paz son las inundaciones costeras y las provocadas por arroyos de respuesta rápida.

Muchas de las ciudades con vocación 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, entre otros. En zonas densamente pobladas las precipitaciones intensas derivadas de eventos climáticos extremos producen flujos rápidos que causan inundaciones, especialmente próximas a los sistemas de drenaje que son incapaces de lidiar con esa cantidad de agua. Estos eventos generalmente afectan a las colonias asentadas cerca de o en cauces de arroyos intermitentes o efímeros que carecen de esta infraestructura de protección y muchas veces de los servicios básicos, así como de la ayuda para la recuperación.

3.2. Percepción del cambio climático

Para abordar de manera integral los desafíos que plantea el cambio climático en la ciudad de La Paz, Baja California Sur, se realizó un análisis de percepción dirigido a la ciudadanía. Este análisis tiene como objetivo identificar si los ciudadanos 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 esta encuesta diseñada 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.

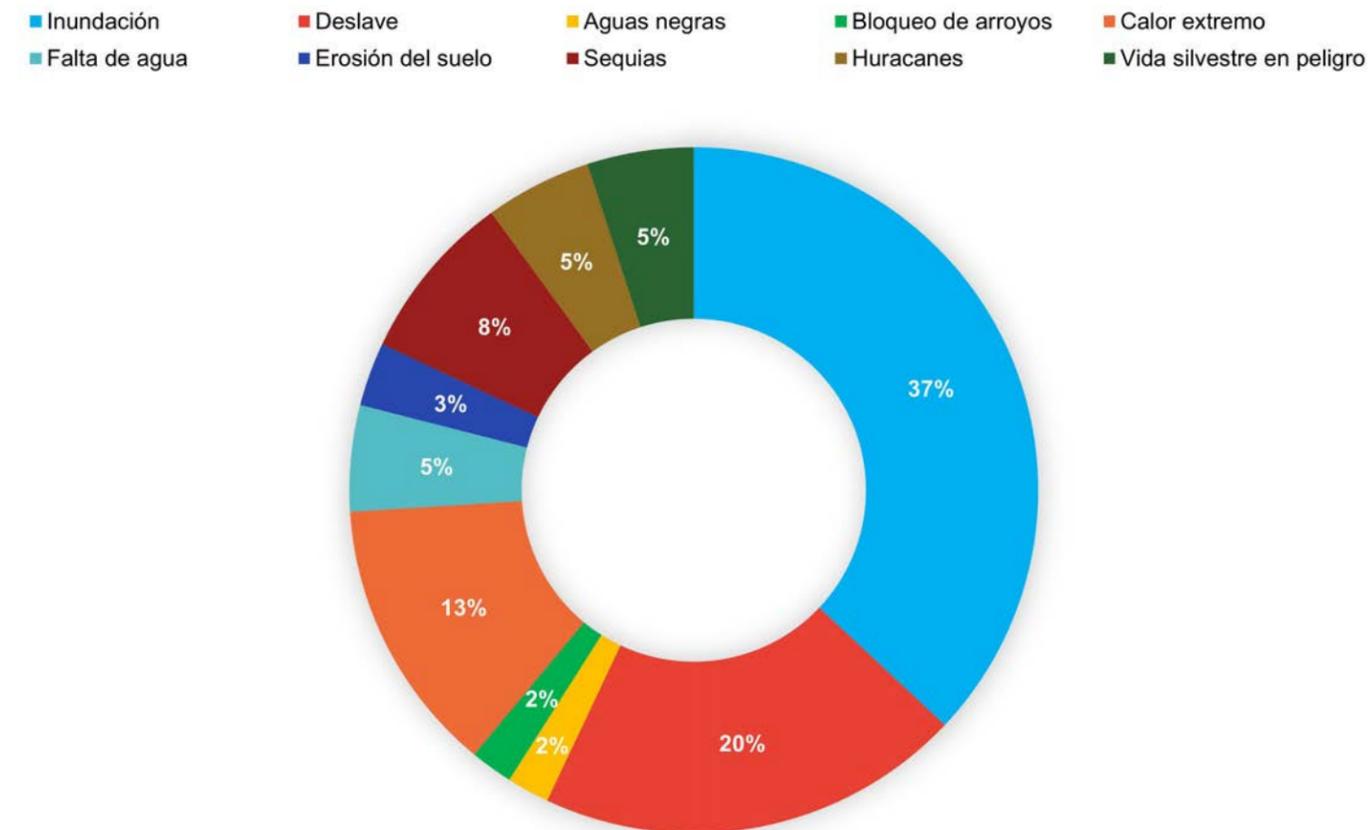
3.2.1. Percepción Ciudadana

Para llevar a cabo el análisis de la percepción ciudadana sobre los peligros climáticos en la ciudad de La Paz, 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 40 respuestas, de las cuales el 75% correspondieron a mujeres y solo 25% a hombres. En términos de nivel educativo, el 52.5% de los encuestados dijo tener licenciatura y el 42.5% posgrado. En cuanto a la distribución por edad, el grupo mayoritario se ubicó entre 35 y 50 años (47.5%). Las personas que respondieron a la encuesta son profesionistas (17.24%), empleados (13.79%), investigadores (6.9%); con igual porcentaje hay empleados del sector turístico,

consultores, estudiantes y empleados de gobierno. En cuanto a su lugar de trabajo, algunas de las dependencias de gobierno en las que están empleados son: el Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología (COSCYT), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Secretaría de Finanzas y Administración y Secretaría de Seguridad Pública (SSP).

En respuesta a la pregunta sobre las zonas de la ciudad que se consideran más vulnerables ante eventos climáticos extremos, los encuestados identificaron principalmente aquellas zonas próximas a los arroyos (27%), las zonas próximas a los cerros (10%), la cuenca (10%), y la ciudad (7.5%); este análisis muestra que las áreas cercanas a los arroyos son una de las principales preocupaciones.

En cuanto a los peligros relacionados con el clima, se preguntó a los ciudadanos cuáles consideraban más relevantes. Los resultados revelaron que el 37.5% identificó a las inundaciones como la principal amenaza, mientras que un 20% señaló que los deslaves, por su parte el 12.5% mencionó al calor extremo. Otros peligros como los huracanes, y algunas consecuencias como la falta de agua fueron mencionados por un porcentaje menor de encuestados (**Gráfica 1**), lo cual hace evidente en qué medida la ciudad se ve afectada por los efectos del cambio climático. 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 consecuencias, por ejemplo, algunos mencionaron problemas como aguas negras, esta falta de claridad puede ser un obstáculo para realizar acciones en materia de prevención en la ciudad.



Gráfica 1. Principales respuestas sobre peligros relacionados con el clima que los ciudadanos identificaron. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del cambio climático en La Paz.

Conocer la condición socioeconómica de las personas que viven en zonas de peligro climático en la ciudad de La Paz es crucial por varias razones, por una parte, 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 (65%), seguidas por el estrato medio (30%).

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 otro lado, 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 este sentido los ciudadanos han observado: Inundaciones (27.5%), más días con olas de calor (25%), más días de sequía (20%). Los periodos de menos lluvia (15%), pérdida de playas (7.5%) y aumento en el número de tormentas y huracanes (5%). 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 la sección 4 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 (12%), dengue (10%), respiratorias (7%). 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 3% 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 los estudios de vulnerabilidad, atlas de riesgos 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

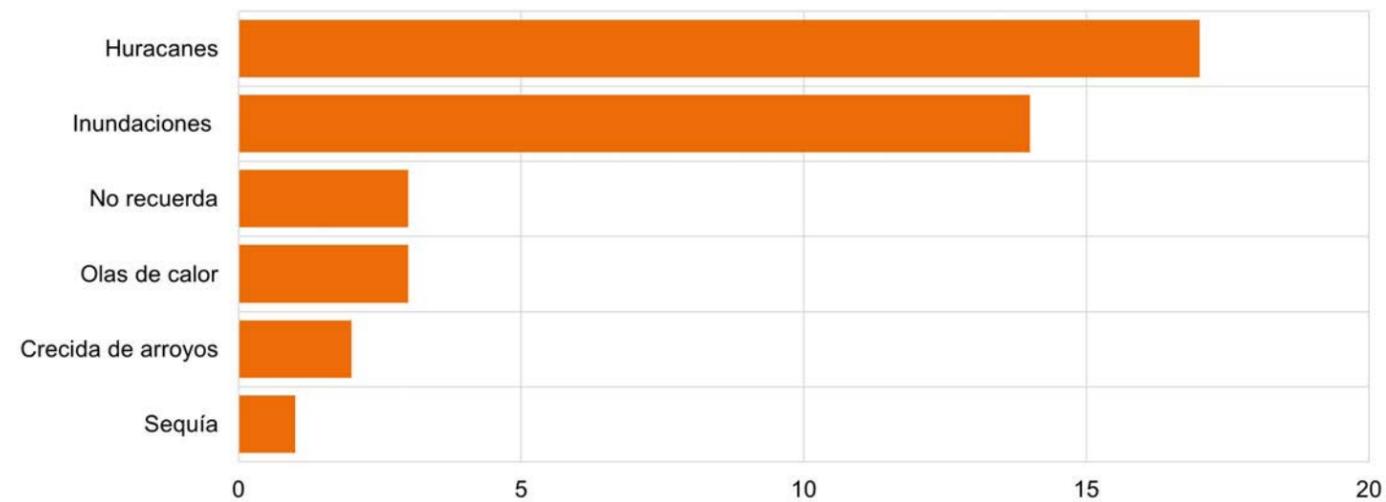
y participar activamente en la planificación y gestión del riesgo. Además, un mayor conocimiento contribuye a una mayor resiliencia comunitaria, al fomentar una cultura de prevención y adaptación frente a los impactos del cambio climático. En este sentido los ciudadanos encuestados en su mayoría dijeron no conocer estudios de vulnerabilidad ante el cambio climático para la ciudad de La Paz, de los pocos que respondieron afirmativamente (9.5%), mencionaron el Atlas de vulnerabilidad, el Mapa de riesgo del estado de Baja California Sur y el Plan de Protección Civil.

El análisis muestra que, la mayoría de las personas que respondieron no están al tanto de la existencia de evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo actuales en su ciudad. Esto revela que el conocimiento sobre estrategias y planes de gestión de riesgo climáticos esta 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 La Paz, destacando en particular los huracanes Liza (1976) y Odile (2014). Las olas de calor y la crecida de arroyos también se mencionan, pero con menor frecuencia. Una pequeña porción de encuestados no recuerda ningún desastre climático específico probablemente se explica por el rango de edad de estas personas, **(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 La Paz.



En ese 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 25% de los encuestados indicaron no haber recibido ningún tipo de apoyo tras un desastre climático, mientras que el 22.5% afirmó no saber si las personas afectadas recibieron o no asistencia institucional. Por otro lado, el 52.5% señaló que ellos o sus conocidos sí recibieron apoyo, principalmente del Gobierno Federal, organizaciones civiles, Gobierno estatal, de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). En cuanto al tipo de apoyo, este consistió principalmente en la entrega de despensas y provisión de albergues temporales.

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 federal es la fuente de apoyo más mencionada, lo que subraya su papel central en la respuesta a desastres climáticos a nivel nacional. La diversidad de respuestas sugiere que el apoyo provino de varias fuentes, 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 76.3% de los encuestados manifestó haber sido impactado por eventos climáticos. Las principales afectaciones reportadas fueron inundaciones (26.3%), falta de

servicios (15.79%), daño a casa y bienes materiales (10.53%) y daño en la infraestructura que brinda servicios (7.8%).

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 algunas ideas, entre las que destacan la concientización, la prevención, el cuidado del agua y no tirar basura. Surgieron algunas otras expresiones que reflejan una variedad de ideas más específicas y técnicas, tales como disminuir el efecto invernadero, construir considerando riesgos de huracanes, crear oasis urbanos, incrementar la resiliencia

al cambio climático en áreas productivas, prohibir construcciones en zonas de alto riesgo, planes de desarrollo, mejoras urbanas y cambios en la estructura eléctrica.

Aunque los encuestados proponen acciones individuales como el cuidado del agua y no tirar basura, 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 La Paz. 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 y ofrecieron una variedad de definiciones, las cuales se presentan de manera detallada en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1. ¿Qué 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 La Paz.

ARGUMENTO	%
1. Adaptarse al cambio, seguir con la cotidianidad, adaptarse al nuevo clima	41.9
2. Las demás respuestas pueden agruparse básicamente en acciones para ajustarse, adaptarse, modificar costumbres, actividades o tomar medidas para vivir en zonas de peligro, entre otras.	Resto de la muestra

Las respuestas denotan que la mayoría de los encuestados están familiarizados con el concepto de adaptación. Sin embargo, interpretan parcialmente la adaptación al cambio climático, la ubican simplemente como el ajuste pasivo al nuevo clima sin la implementación de acciones concretas. La adaptación al cambio climático debe implicar medidas activas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos, no solo una aceptación pasiva de los cambios.

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 que el 22.5% 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**.

La adaptación del cambio climático es:	%
Adaptarse al cambio, adaptarse al nuevo clima	41.9
Acciones realizadas por el hombre para que los efectos negativos del cambio climático sean menores y la afectación al ser humano y su infraestructura se reduzca	3.2
Capacidad de respuesta ante una amenaza	
Generar resiliencia/adaptación a condiciones cambiantes	
Acciones orientadas en áreas específicas (transporte, energía, forestal y residuos sólidos)	

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 La Paz.

Aunque los encuestados conocen medianamente el concepto de adaptación al cambio climático, el enfoque basado 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 adaptación al cambio climático 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 sobre que es la Adaptación basada en Ecosistemas, de entre las respuestas se identificó que el 21% proporcionó explicaciones que reflejan un moderado conocimiento del enfoque, pero una buena parte (42.5%) no sabe de qué se trata este enfoque (**Cuadro 3**).

Cuadro 3. Qué es Adaptación basada en Ecosistemas para los ciudadanos. **Fuente:** Pares A.C. con información de la encuesta de percepción ciudadana del cambio climático en La Paz.

Respuestas
Es una estrategia de adaptación al cambio climático que aprovecha las soluciones que se apoyan en la naturaleza y los servicios ecosistémicos
Soluciones basadas en los recursos naturales/servicios ecosistémicos
Son un tipo de adaptación al cambio climático que utiliza los servicios ambientales de los ecosistemas de la zona
Es un enfoque de conceptos y procesos que promueve el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas para ayudar a las personas a reducir los efectos adversos de la variabilidad y el cambio climático.
Utilizar la naturaleza para ayudar con la adaptación. Ej. zonas de infiltración para reducir inundaciones.

Al indagar sobre la percepción del papel de los ecosistemas en la mitigación del cambio climático, se observó una diversidad de respuestas. Si bien el 74% reconoce su importancia, el 9% aún no comparte esa visión. Entre quienes sí identificaron beneficios, destacaron servicios como la recarga de acuíferos, los manglares como protección contra huracanes, vegetación para reducir la temperatura de la ciudad y la protección contra desastres naturales. Sin embargo, solo la mitad de los que reconocieron su importancia proporcionó respuestas alineadas con la definición. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de comunicación y educación ambiental más efectivas, que permitan a la población comprender, conocer 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 abrumador 82% afirmó que dicha destrucción incrementa significativamente el riesgo. Entre las principales razones mencionadas se encuentran el daño a los ecosistemas, la alteración de los ciclos ecológicos, la extinción de la fauna, la deforestación. Asimismo, se destacaron efectos como el incremento de fenómenos climáticos extremos, la pérdida de especies de flora y fauna, la alteración en el ciclo de vida de diversas especies. 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 La Paz. 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 y las Soluciones basadas en la Naturaleza. 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 general del cambio climático y sus impactos en la ciudad, pero se requieren esfuerzos para profundizar en el conocimiento y abordar las brechas de información.
- Si bien la mayoría de los encuestados tienen un conocimiento básico sobre el cambio climático y sus peligros asociados, se identificaron vacíos en la comprensión de conceptos específicos como la Adaptación Basada en Ecosistemas y la distinción entre peligros climáticos y sus consecuencias.
- Se necesitan estrategias de educación ambiental y comunicación más efectivas para fortalecer la comprensión pública del cambio climático y sus implicaciones locales.

Análisis climático

Entender la climatología actual y futura de la ciudad de La Paz, Baja California Sur es fundamental para evaluar la 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 La Paz, 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 La Paz 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 se encontró que la península de Baja California es parte de América del Norte, tiene una forma de cuña que se extiende hasta el Océano Pacífico y comparte el característico llamado clima desértico del desierto de Sonora, junto con los estados de Sonora, Baja California y Chihuahua, en el norte de México (INEGI, 2024).

La ciudad de La Paz se ubica en un cinturón que contiene los desiertos más grandes del mundo, cabe destacar que la ciudad se encuentra a pocos kilómetros sobre el Trópico de Cáncer, su clima se considera dentro de la clasificación Cálido y Seco. En invierno la temperatura oscila entre los 10° C y 23° C, mientras que en el verano y parte del otoño entre junio y octubre, la temperatura puede variar entre 26° C hasta 37° C. La temporada de lluvias intensas coincide con la época de ciclones (septiembre, octubre y noviembre), durante los meses de octubre a junio los vientos soplan del noroeste en tanto que en verano lo hace del suroeste (cnario La Paz,s.f., INEGI, 2024).

La mayor parte de la precipitación está asociada a perturbaciones tropicales como ciclones, depresiones y huracanes, y en una pequeña parte se asocia con la presencia del monzón mexicano -la región monzónica de México se define por la ocurrencia de este fenómeno durante la mitad más cálida del año-. Esto está relacionado con la capacidad de las montañas de la Sierra Madre Occidental para absorber energía y crear células de circulación de viento que se extienden desde el Océano Pacífico hasta la mesa alta, la altura de este sistema topográfico se intensifica después de la Península de Baja California, que reduce el gradiente de presión. En la parte norte de esta región también se producen remolinos fríos en invierno (Rivas *et al.* 2014).

Para abordar el análisis de la climatología local del área de estudio, se seleccionaron 49 estaciones meteorológicas del banco de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), los criterios para seleccionarlas fueron que estuvieran dentro del municipio de La Paz y próximas a la ciudad.

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 La Paz. 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 La Paz, 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.

En el caso de las estaciones meteorológicas revisadas para la ciudad de La Paz, se identificó una densidad de datos adecuada dentro de las series temporales disponibles. Esto permitió analizar los periodos completos sin necesidad de realizar un corte temporal. No obstante, para ciertas pruebas comparativas, se seleccionaron años coincidentes específicos con el fin de facilitar la comparación de datos entre distintos periodos.

El análisis consideró las pautas de la guía estadística para análisis de datos meteorológicos propuestas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018). En primera instancia los datos de las estaciones meteorológicas se sometieron al control de calidad de datos (QC, por sus siglas en inglés), este se llevó a cabo a través del programa Rclimdex¹ (Zhang *et al.*, 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 precipitación, mediante el uso de índices de valores extremos desarrollado por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés) (Vázquez-Aguirre, 2010). (Cuadro 4).

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.

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

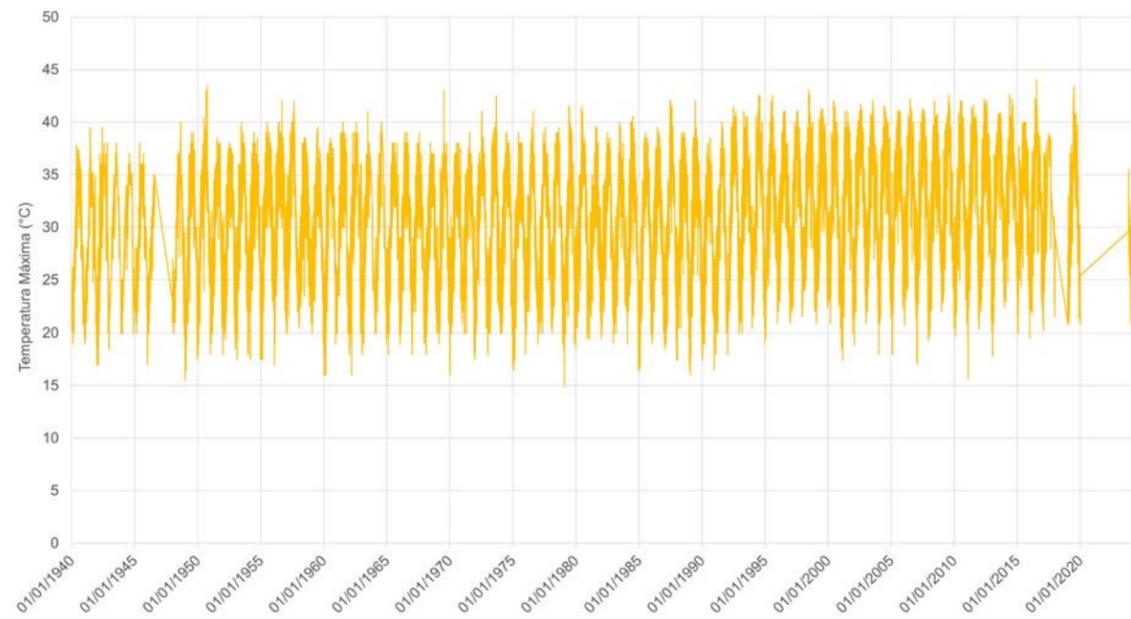
Cuadro 4. Índices básicos de cambio climático del ETCCDI. Fuente: Vázquez-Aguirre, 2010.

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.

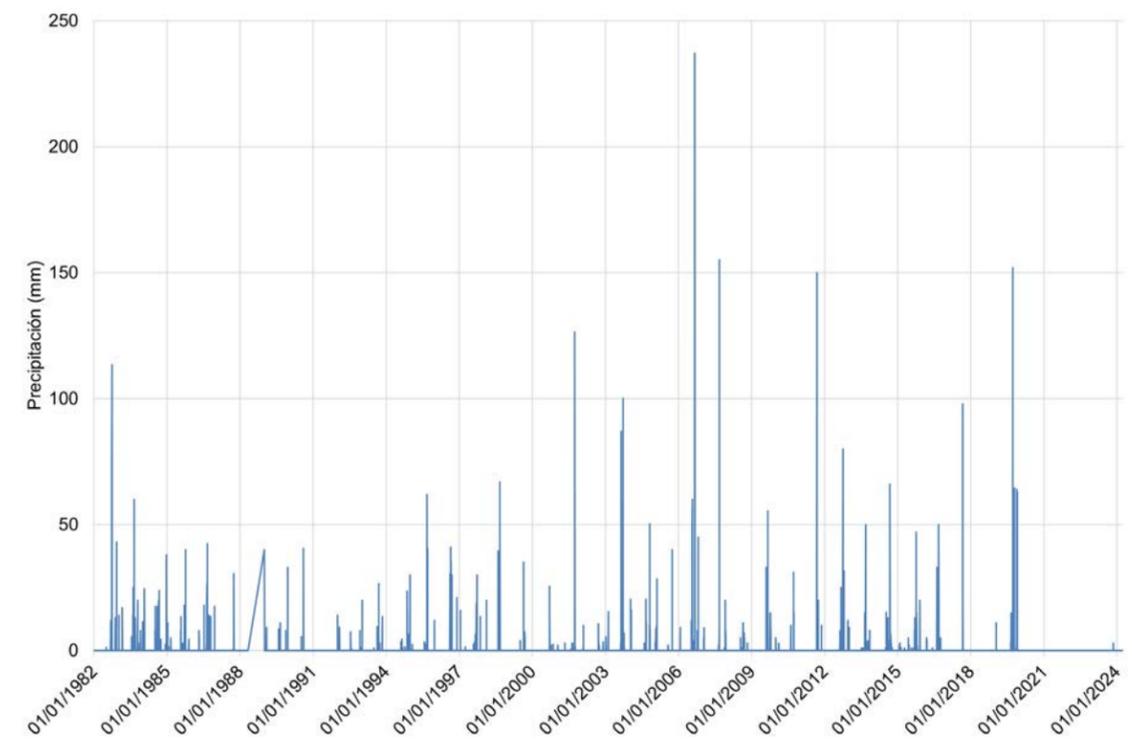
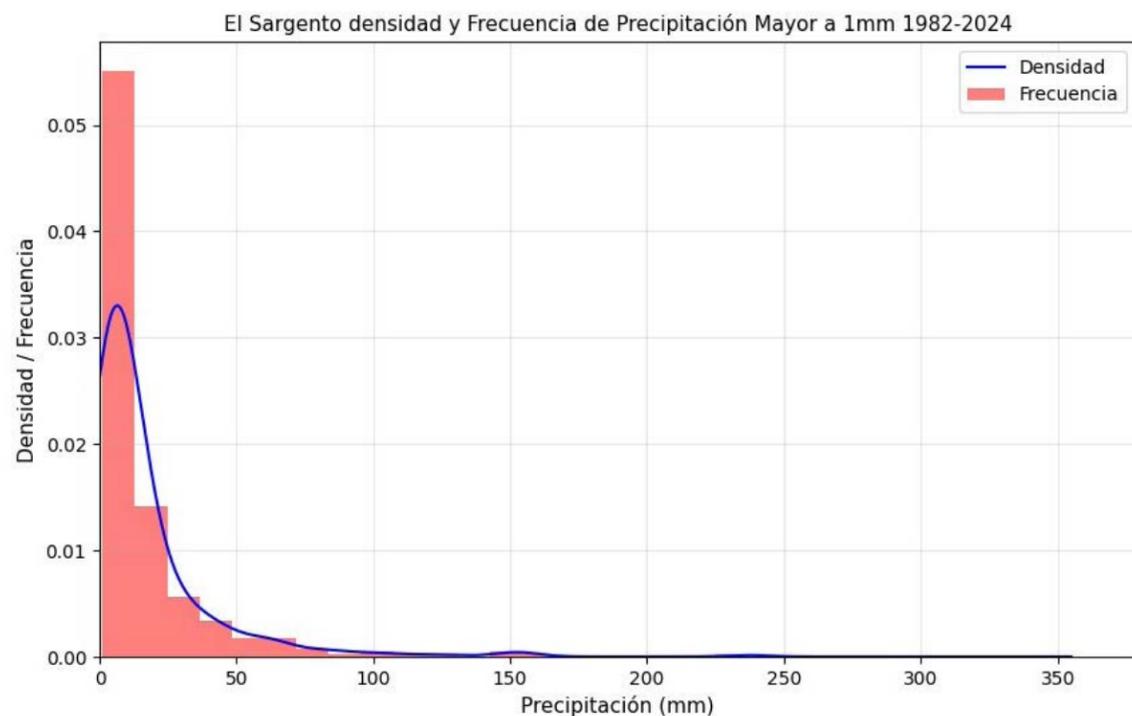
Para llevar a cabo un control de calidad adecuado de los datos meteorológicos, se revisaron series completas, incluyendo los vacíos de información. La estación La Paz DGE es una de las que cuenta con una de las series de datos más completas, abarcando el periodo de 1940 a 2024. En la **Gráfica 3** se muestra el control de calidad (QC) aplicado a la serie de temperatura máxima, donde también se observa la onda anual y la distribución de la temperatura máxima. Asimismo, se identifican los años con datos faltantes, representados como espacios en blanco dentro de la serie. Como puede verse el análisis se basa en por lo menos 30 años de registros, lo que permite una interpretación adecuada de la climatología local.



Gráfica 3. Serie de temperatura máxima estación La Paz DGE, control de calidad de datos (QC). Fuente: Pares A. C.

De las estaciones analizadas, 34 superaron el control de calidad de datos. Entre éstas, se seleccionaron aquellas más cercanas a la ciudad, tomando en cuenta las que contaban con al menos el 80% de los datos diarios. Además, se aplicaron criterios de coherencia y consistencia, como se muestra en las Gráficas 4a y 4b.

Gráfica 4a. Densidad y frecuencia precipitación (QC). Fuente: Pares A. C.



Gráfica 4b. QC de serie de datos de precipitación estación meteorológica El Sargento. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

En la Gráfica 4a se muestra un histograma en color rojo de la estación meteorológica El Sargento, 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 abcisas se detalla la cantidad de precipitación registrada en milímetros. La gráfica revela la ocurrencia de eventos extremos con acumulaciones superiores a 150 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 4b se muestra la serie completa de datos de precipitación para la misma estación en el periodo 1981-2024, en ella pueden apreciarse los vacíos de información que se presentan como una línea recta próxima al eje de las abcisas.

Con base en el criterio de proximidad geográfica, se seleccionaron 9 estaciones que superaron el control de calidad (QC), utilizando la distribución de las temperaturas máximas y mínimas como referencia. Para analizar la climatología de la ciudad, estas estaciones se agruparon en tres zonas: i) región norte (estaciones al norte de la ciudad), ii) región centro (estaciones dentro de la ciudad), y iii) región sur (estaciones al sur de la ciudad), las estaciones seleccionadas fueron: El Carrizal, El Pilar, El Sargento, El Triunfo, La Paz DGE, Las Pocitas, Los Cantilitos, Quemado, San Antonio Sur, San Juan de los Planes y San Pedro.

Para confirmar la preselección de estaciones meteorológicas, se analizaron los datos de éstas 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 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 (H₀), en la que se asume que las medias de la variable de precipitación son similares entre las tres estaciones de cada región analizada (norte, centro y sur de la ciudad). Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 5.

NORTE						
Origen de las variaciones	Suma de cuadros	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculado	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	210.538	2.0	105.269	1.039	0.353	3.003
Dentro de los grupos	110551.546	1092	101.237			
Total	110762.084	1094				
CENTRO						
Entre grupos	170.376	2.0	85.188	1.731	0.177	3.003
Dentro de los grupos	53724.889	1092	49.198			
Total	53895.265	1094				
SUR						
Entre grupos	763.515	2.0	381.757	3.009	0.049	3.003
Dentro de los grupos	138499.312	1092	126.830			
Total	139262.828	1094				

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza por regiones. Fuente: Pares A.C.

Los resultados del análisis de varianza presentados en el Cuadro 5 confirman la hipótesis nula para las estaciones seleccionadas en las regiones norte y centro. Sin embargo, en la región sur, la hipótesis es rechazada, ya que los valores de F calculado superan a F crítico. Esta situación valida la coherencia climática en las regiones norte y centro.

Una vez verificados los criterios de calidad en los datos, se confirma que las estaciones meteorológicas seleccionadas y listadas en el Cuadro 5 reproducen de manera efectiva la señal climática que afecta a la ciudad. Por lo tanto, sus datos son adecuados para el análisis de la climatología local, tanto presente como futura.

Para continuar con el análisis de la climatología local de la ciudad de La Paz se optó por utilizar los datos de las estaciones meteorológicas de la región centro ya que son las estaciones que cubren de mejor forma la zona urbana. Su ubicación geográfica se indica en el Cuadro 6 y la Figura 1.

Cuadro 6. Estaciones meteorológicas región centro, La Paz. Fuente: SMN, (2024)

NO.	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)
1.	La Paz	24.13472222	-110.3361111
2.	El Sargento	24.08027778	-109.9944444
3.	San Pedro	23.925	-110.2638889

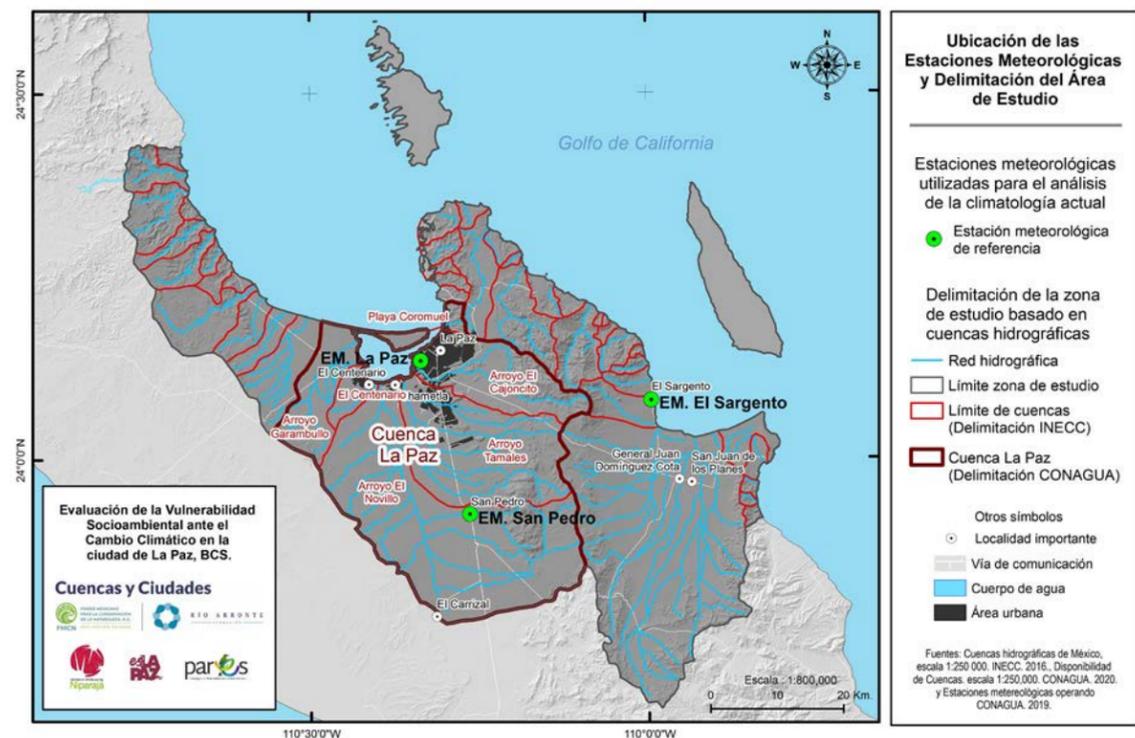


Figura 1. Ubicación geográfica de referencia climatológica región centro La Paz. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

4.1.2. Precipitación

Anivel estatal se reporta que la precipitación mínima es de menos de 300 mm anuales, a excepción de las partes altas de las sierras donde puede alcanzar puntuales de entre 400 y 600 mm. La temporada de lluvias ocurre, con vientos subtropicales de alta presión que se desplazan hacia el sur, siendo los dominantes los del Pacífico oriental. Las regiones del Océano Pacífico desde el paralelo 26° N hacia el sur, incluyendo la porción oriental de la Península de Baja California, tienen un máximo de precipitación en septiembre, lo que coincide con la temporada de ciclones tropicales del Pacífico región (Cruz- Falcón et al., 2011; García E.1974; Semarnat, 2015).

Por otra parte, hacia el final del verano se presentan tormentas tropicales y ciclones que recargan los acuíferos de la región por las precipitaciones más abundantes.

A partir del análisis de las normales climatológicas más recientes se determinó que la ciudad de La Paz tiene una precipitación anual promedio de 265 mm, esta ocurre principalmente durante el verano, con valores máximos mensuales en agosto y septiembre. Al final del verano se presentan tormentas tropicales y ciclones.

Con el objetivo de caracterizar la evolución pluviométrica de la región se utilizaron los datos de las estaciones de referencia (La Paz DGE, El Sargento y San Pedro), 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 pueden 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 La Paz, 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 Vazquez-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.

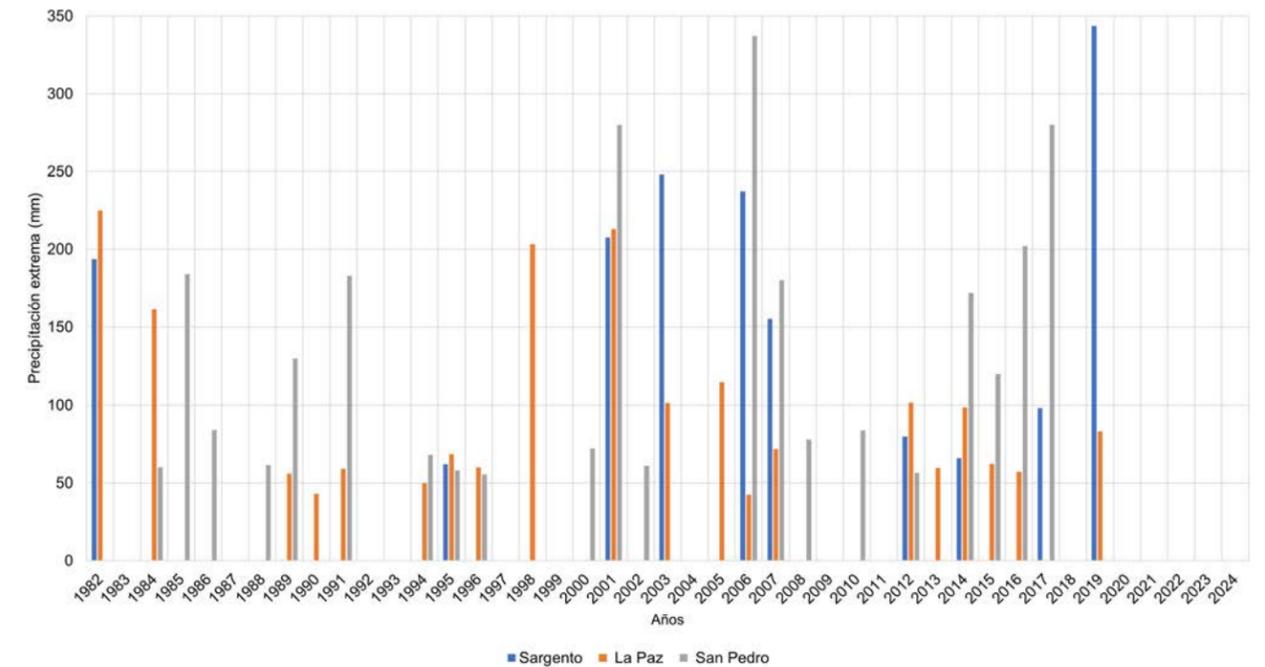
En la ciudad de La Paz que cuenta con un clima tropical, el índice CWD ayuda a identificar la duración de los episodios de lluvia prolongada, lo que es fundamental para comprender la estacionalidad de las precipitaciones, también puede ayudar en la evaluación del peligro de inundación, ya que al conocer los periodos con un alto CWD, se pueden valorar los riesgos de inundación, especialmente en la zona urbana de La Paz 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 indicaron que en 2019 se registraron precipitaciones extremas del orden más de 350 mm, por su parte en 2006 se registraron puntuales de alrededor de 330 mm, probablemente asociadas a la ocurrencia de los huracanes Lorena y Paul respectivamente, mientras que en los demás años se aprecian precipitaciones más moderadas del orden de entre 50 y 150 mm, tal como se aprecia en la **Gráfica 5**.



Gráfica 5. Precipitación extrema en las estaciones de referencia periodo 1982-2004. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

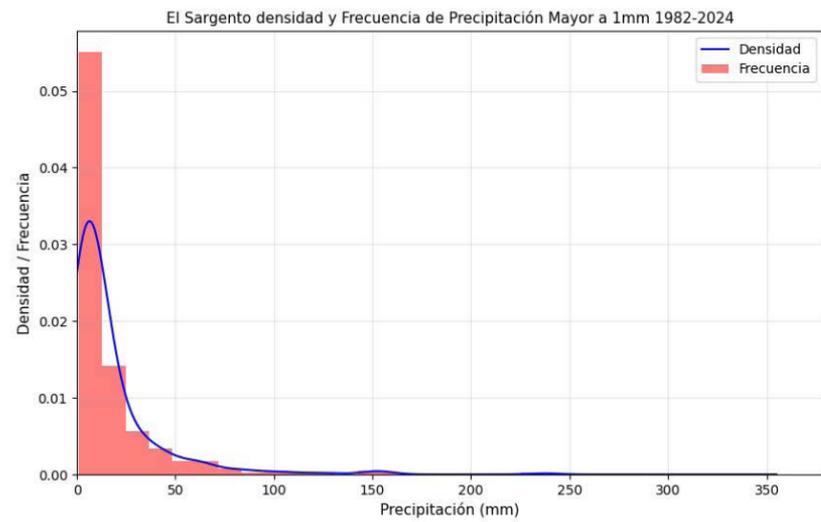
Para determinar los umbrales de precipitación normal y atípica, se llevaron a cabo pruebas de distribución de la densidad, las cuales describen cómo se distribuye la cantidad de precipitación en una zona específica a lo largo del tiempo. Estas pruebas permiten comprender la frecuencia, intensidad y variabilidad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

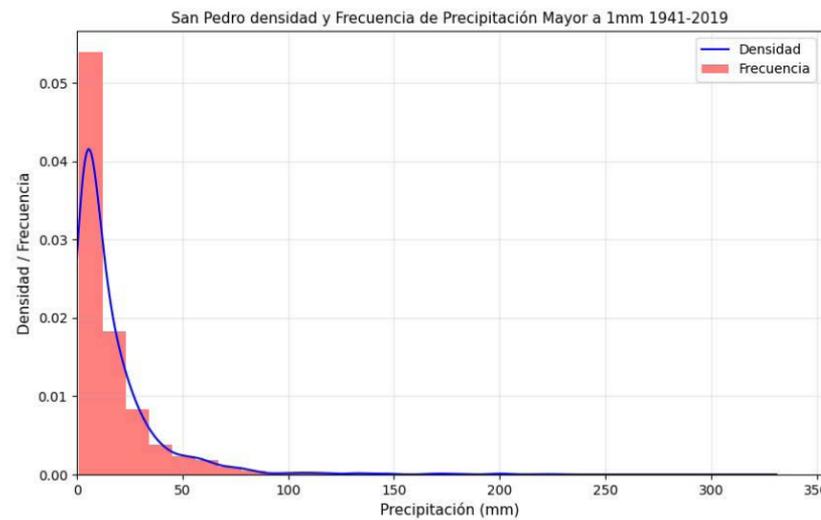
En términos de vulnerabilidad ante el cambio climático, estas pruebas son valiosas para detectar cambios en los patrones de precipitación a lo largo del tiempo, lo que puede revelar tendencias relacionadas con el cambio climático, como el aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas.

Los resultados del análisis revelan que las precipitaciones normales en la ciudad de La Paz se encuentran entre 0 y 25 mm, mientras que valores superiores a este umbral se consideran atípicos (**Gráfica 6a, b y c**). Además, en estas gráficas se puede observar la ocurrencia de eventos extremos de lluvia, con valores que superan los 350 mm en un día en las estaciones La Paz DGE y El Sargento.

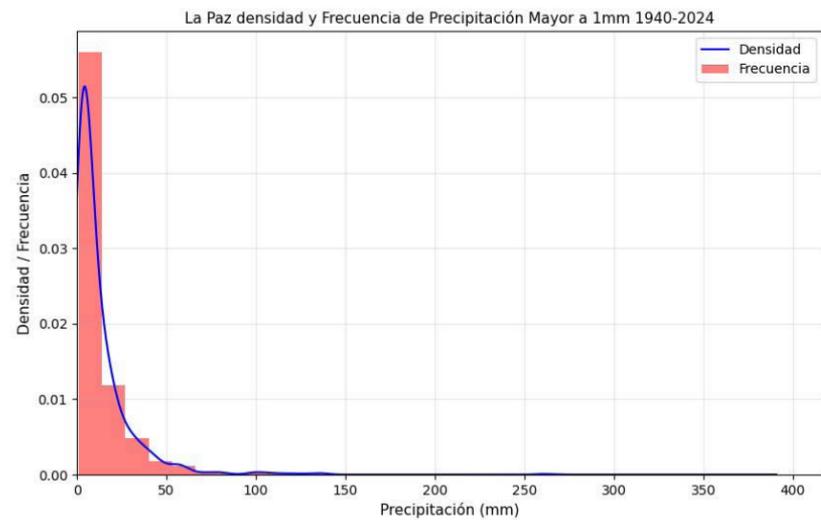
En este análisis se aprecian comportamientos similares en la precipitación por lo que se puede concluir que la señal climática no varía y se confirma como una región climática.



a.



b.



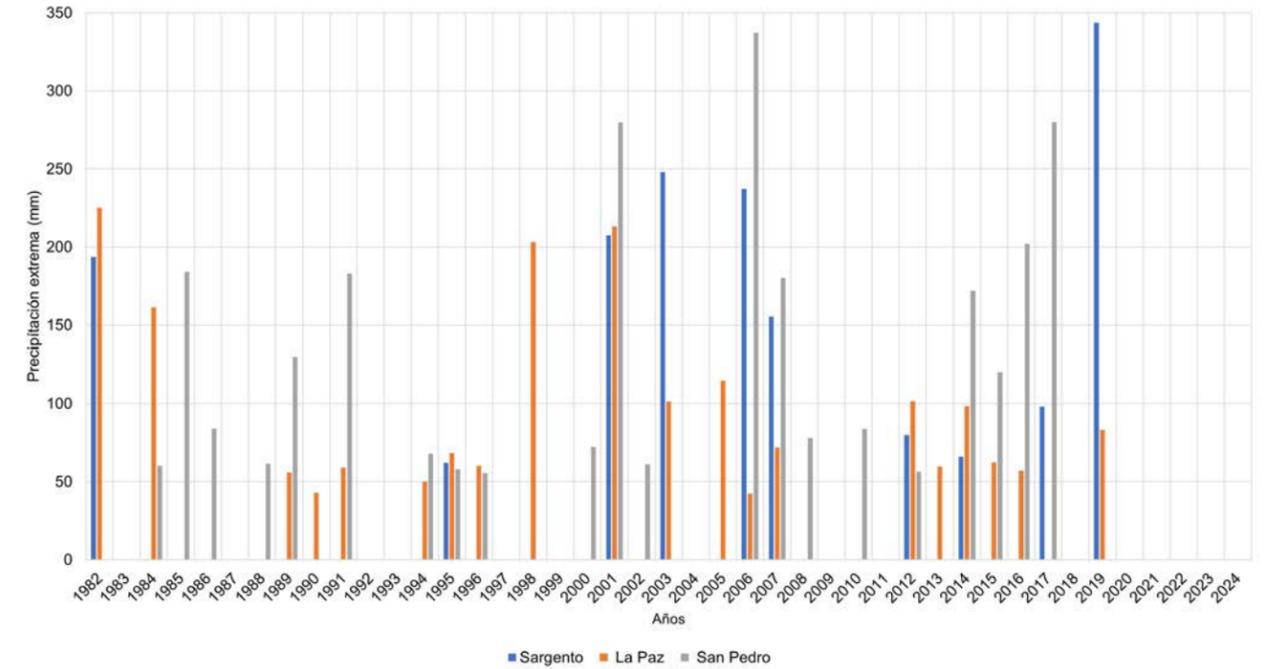
c.

Gráfico 6 a, b y c. Densidad y frecuencia de precipitación en las estaciones La Paz DGE, El Sargento y San Pedro. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional

4.1.4. Días secos continuos

Derivado del análisis del índice CDD en las estaciones de referencia, se encontró que aparentemente existe una tendencia de incremento en los días secos consecutivos (Gráfica 7).

Gráfica 7. Cantidad de días consecutivos secos por año. Fuente: Pares A.C.



A nivel climatológico en la ciudad de La Paz, los resultados del análisis del índice de días secos continuos (CDD) revelan una tendencia preocupante de incremento en los días secos consecutivos a partir de la década del 2000. Este aumento es notable, con años récord como 2011, donde se registraron 294 días secos en la estación La Paz, y 2017, en la que la estación El Sargento reportó 333 días secos consecutivos. Estos resultados sugieren un posible cambio en los patrones de sequía, lo que podría tener implicaciones significativas para la disponibilidad de agua y la resiliencia del ecosistema local en el futuro.

Lo anterior probablemente se explica por la influencia significativa de 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. Durante los eventos de El Niño, es común que la ciudad experimente un aumento en la cantidad de días secos consecutivos. El Niño tiende a desplazar las corrientes de humedad que normalmente traerían lluvias a la región, resultando en un clima más seco de lo habitual. 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.

Durante los eventos de La Niña, La Paz 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 La Paz. 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 en los últimos años no puede concluirse que la tendencia encontrada sea atribuible al cambio climático.

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 (La Paz DGE, El Sargento y San Pedro). Se analizaron por separado en su climatología y en conjunto respecto a los índices climáticos. Para el análisis se utilizaron los siguientes:

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 Vázquez Aguirre, 2010 Tn_{kj} 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, la gestión integral del agua y la 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 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.

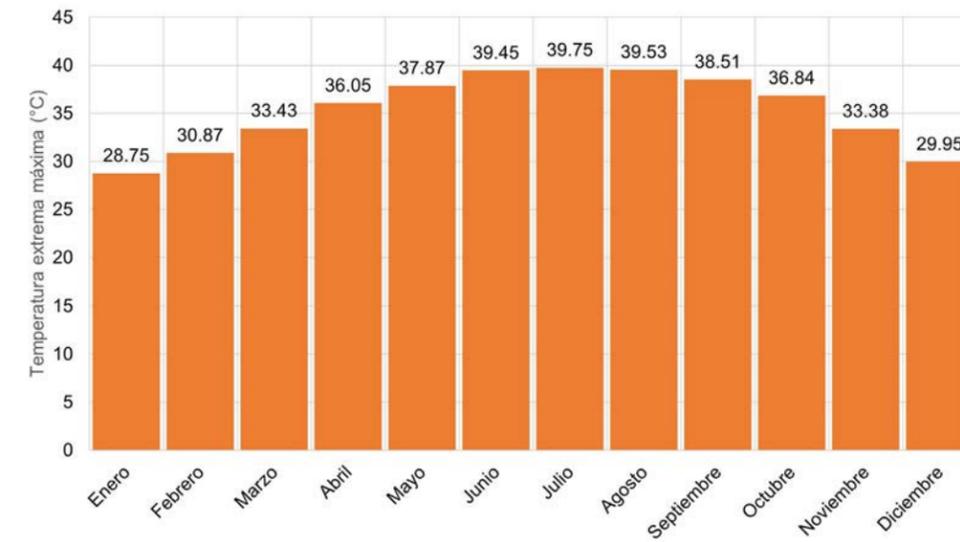
Índice TNx o Temperatura Mínima Extrema es un indicador climático que representa la temperatura mínima más alta registrada durante un periodo específico, como un año, una estación o un mes. A diferencia de la temperatura máxima (que se refiere a las horas más cálidas del día), TNx se refiere a la temperatura más alta registrada durante las horas más frías del día, es decir, las temperaturas mínimas.

De acuerdo con Vázquez-Aguirre, 2010 Tn_{kj} 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:

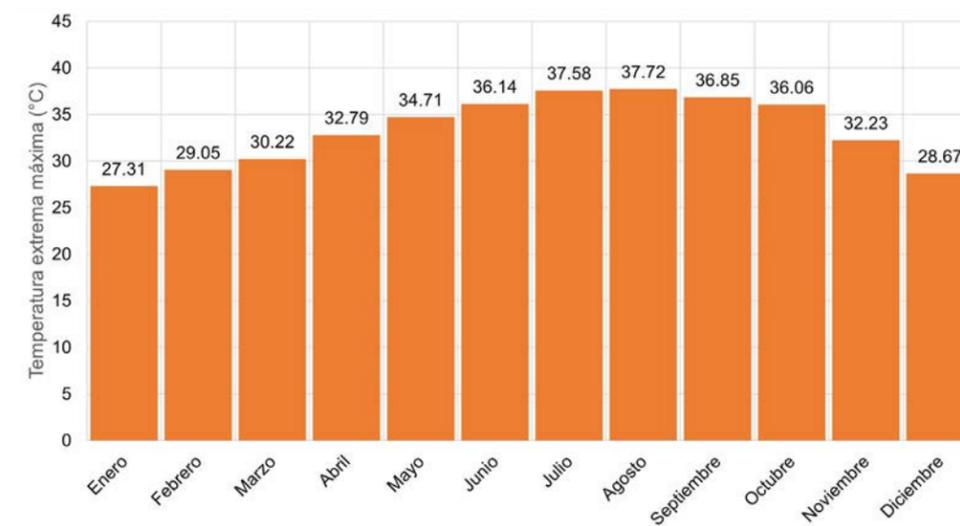
$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj})$$

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, puede 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.

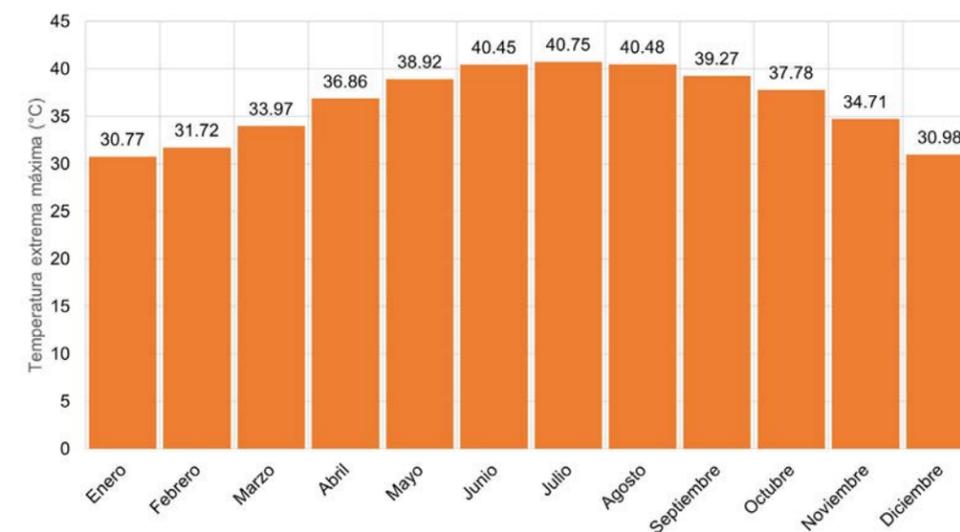
Los resultados del análisis de TXx en el periodo 1982-2024 para las estaciones de referencia se pueden apreciar en la Gráfica 8 a, b y c, donde se pudo determinar que la estación meteorológica La Paz registró temperaturas extremas máximas de hasta 39.75°C, mientras que las estaciones El Sargento y San Pedro registraron 37.72°C y 40.75°C respectivamente. 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 años, todos los febreros y así sucesivamente.



a.



b.



c.

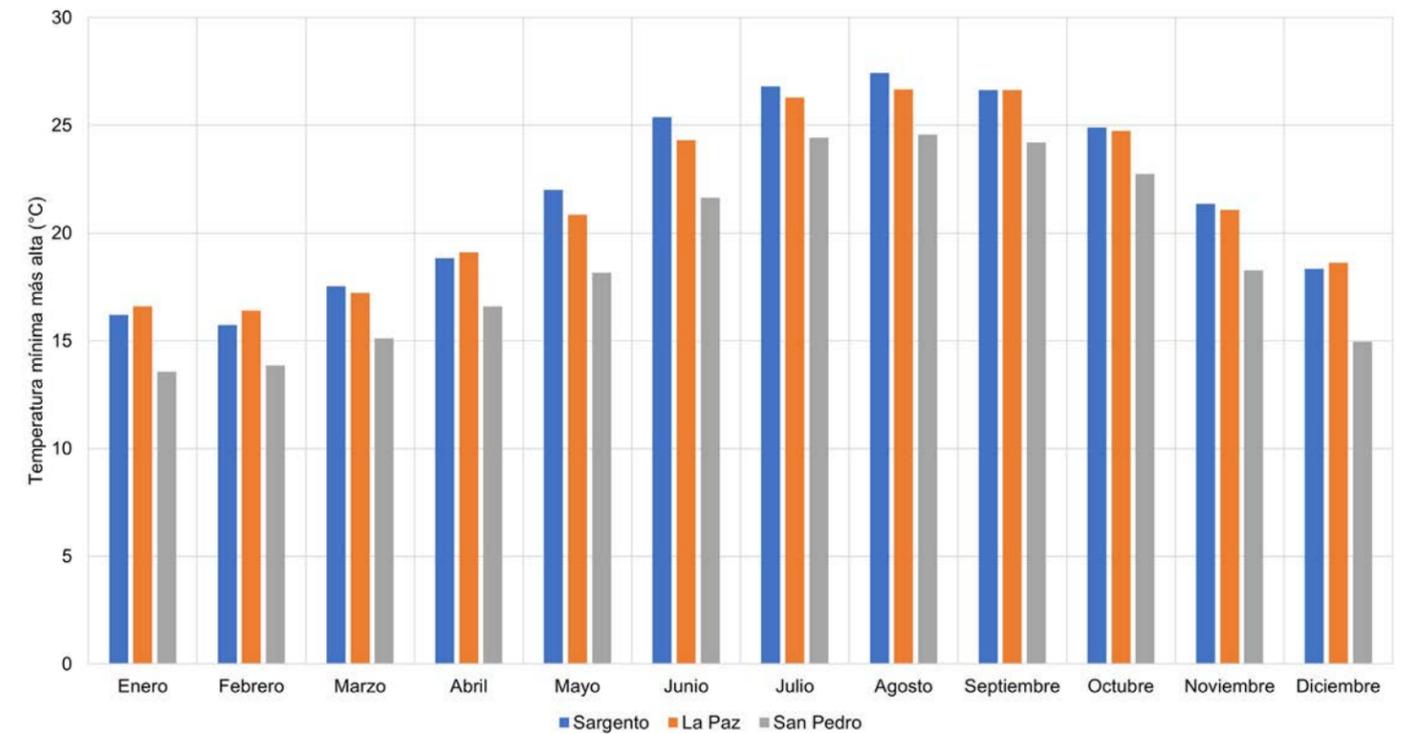
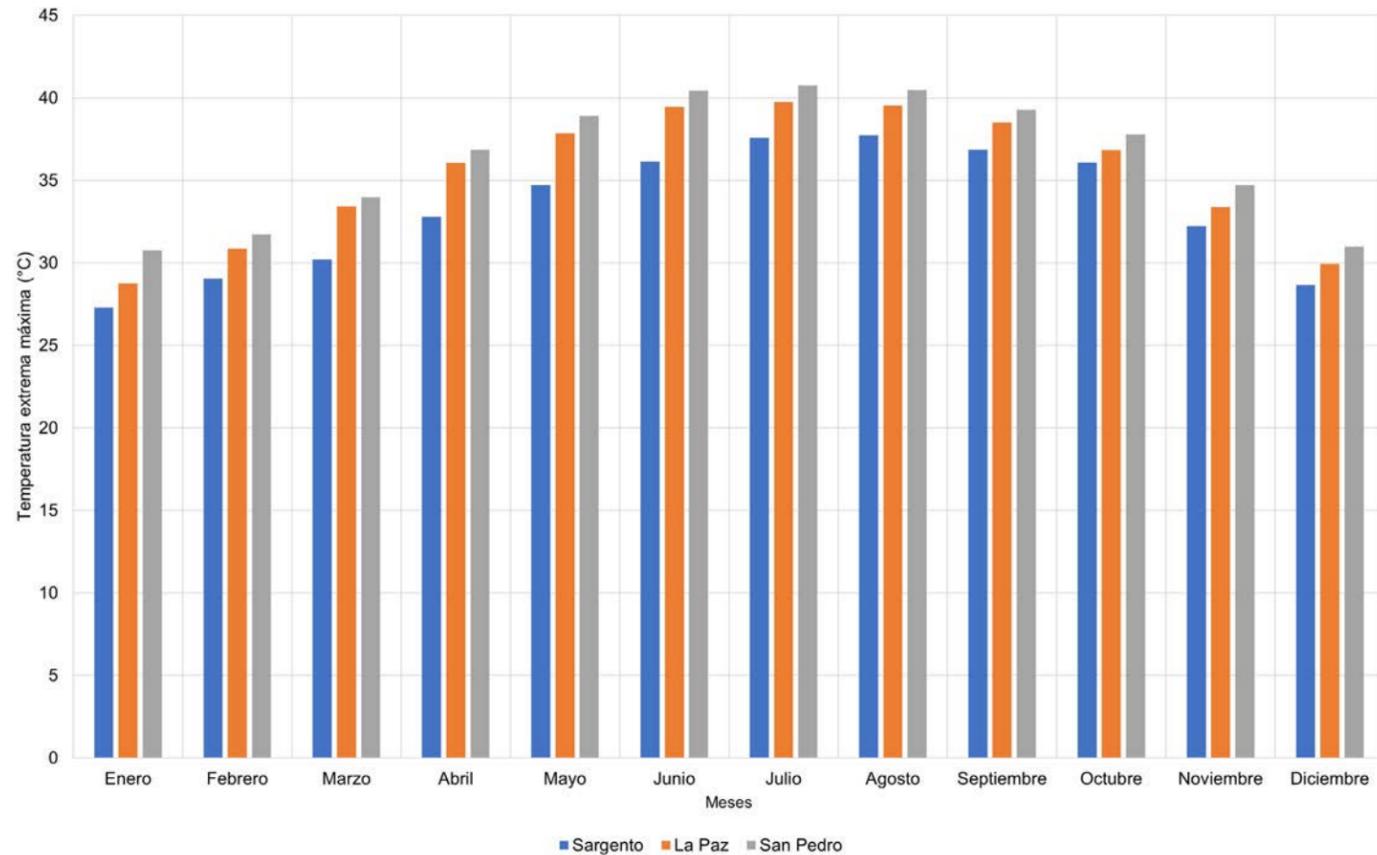
Gráfica 8. a, b y c. Temperatura extrema máxima por mes, estaciones meteorológicas La Paz DGE, El Sargento y San Pedro, periodo 1982-2019. Fuente: Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Con el objetivo de ofrecer una visualización del comportamiento de la temperatura extrema máxima a lo largo del periodo 1982 – 2019 se puede observar la **Gráfica 9** que los meses de junio a agosto han presentado temperaturas por arriba de 40 grados.

De ese mismo modo, se analizó el índice TNx o temperaturas mínimas más altas en el mismo periodo encontrando, que los meses de junio a septiembre presentan temperaturas superiores a 25 grados, esto tiene implicaciones importantes para el confort de los ciudadanos ya que las temperaturas mínimas se dan en la madrugada y

su incremento está provocando que las noches sean más cálidas (**Gráfica 10**). El incremento de las temperaturas extremas no puede atribuirse a los efectos del cambio climático, pero podría explicarse en cierta medida por el efecto de la mancha urbana, los materiales con los que están construidas las viviendas, el asfalto o concreto de las calles y la disminución del arbolado urbano pueden ser algunas de las causas.

Gráfica 9. Temperatura extrema máxima por mes, estaciones meteorológicas de referencia, periodo 1982-2019. **Fuente:** Pares A.C. con datos del Servicio Meteorológico Nacional.



Gráfica 10. Temperatura mínima más alta para la ciudad de La Paz, periodo 1982-2019. **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, 1982-2019). 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

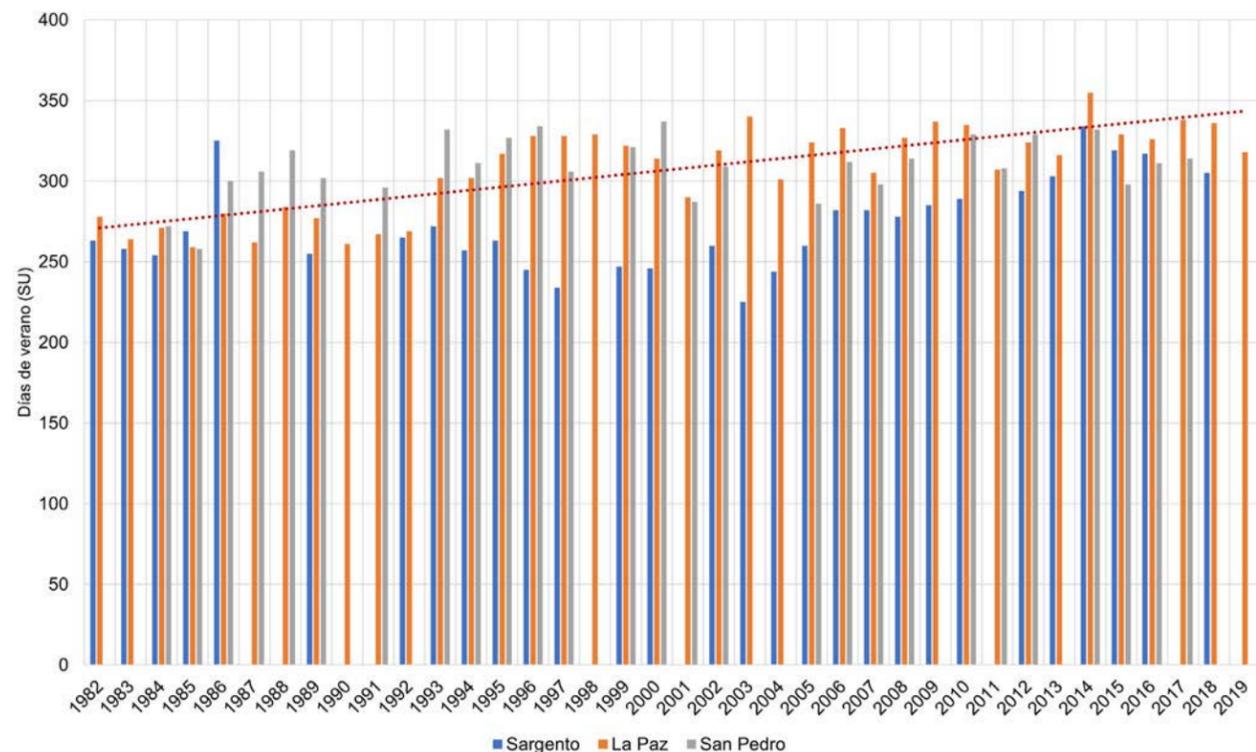
indica que los días con temperaturas máximas inusualmente altas están ocurriendo con mayor frecuencia, lo que puede tener importantes implicaciones para la salud pública, la agricultura y otros sectores vulnerables al calor, también es un indicador clave en estudios de cambio climático ya que refleja 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 el aumento del estrés hídrico, 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 veranigos en una región determinada y es útil para

estudios de cambio climático, así como para la planificación en sectores sensibles a la temperatura, como puede ser el abasto de agua para las poblaciones urbanas y rurales, así como para las actividades productivas que requieren de este recurso.

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 en los ecosistemas naturales alterando su funcionamiento y el de las especies que dependen de temperaturas más frescas.



El análisis reveló que el índice Tx90p no se cumple, ya que hasta el año 2019 no se observaron periodos de 5 o más días consecutivos con temperaturas por encima del percentil 90. No obstante, es posible que esta situación haya ocurrido en el periodo de 2020 a 2024.

Con el fin de obtener una comprensión más amplia del fenómeno, se realizó un análisis adicional utilizando el índice SU. Los resultados indican que los días de verano estimados para las estaciones de referencia entre 1982 y 2019 oscilan entre 240 y 355 días, lo que equivale a casi todo el año (**Gráfica 11**). Esta tendencia positiva sugiere un incremento en los días cálidos, lo que implica que la temperatura nocturna no desciende lo suficiente para garantizar un confort térmico adecuado.

Este panorama subraya la importancia de priorizar soluciones que mejoren el confort térmico en la ciudad. Implementar estrategias de adaptación es fundamental para que tanto las personas como los ecosistemas locales puedan hacer frente a la creciente variabilidad en los patrones de temperatura.

Gráfica 11. Número de días por año que sobrepasaron la clasificación de días de verano. **Fuente:** Pares A.C.

4.1.7. La climatología local de La Paz

Un exhaustivo análisis de los datos climáticos de la ciudad de La Paz ha permitido identificar patrones importantes que revelan una variabilidad climática significativa con implicaciones para la adaptación al cambio climático. En cuanto a las precipitaciones, se han registrado eventos extremos como los 340 mm de lluvia en algunos años, así como puntuales de alrededor de 330 mm en 2006, asociados posiblemente a la presencia de huracanes como Lorena y Paul. En contraste, los demás años muestran precipitaciones más moderadas, entre 50 y 150 mm, lo que subraya la intermitencia de lluvias extremas y el predominio de condiciones más secas.

El análisis de la densidad y frecuencia de las lluvias normales reveló que el rango típico se encuentra entre 1 y 25 mm, mientras que cualquier valor superior se considera atípico. A esto se suma el preocupante incremento en los días secos consecutivos, con años como 2011 y 2017 que registraron 294 y 333 días secos, respectivamente. Este aumento en los periodos de sequía, junto con la creciente frecuencia de eventos extremos, sugiere un cambio en los patrones climáticos que podría debilitar la capacidad de resiliencia del entorno local. La ciudad y sus entornos periurbanos y rurales podrían enfrentar retos crecientes en la disponibilidad de agua, afectando tanto a los ecosistemas como a las actividades agrícolas.

Otro hallazgo importante es el incremento sostenido de las temperaturas extremas, con una tendencia positiva en la temperatura máxima entre 1982 y 2020, así como en el índice TNx, que mide las temperaturas mínimas más altas. Este fenómeno está provocando noches más cálidas, lo que tiene un impacto negativo en el confort térmico de los ciudadanos. Aunque este incremento no puede atribuirse exclusivamente al cambio climático, ya que el crecimiento urbano también puede influir, es un indicio claro de la necesidad de implementar estrategias de adaptación ante el calor extremo y el estrés hídrico.

El análisis del índice de olas de calor (SU) mostró que los días de verano, definidos como aquellos con temperaturas cálidas, han aumentado considerablemente, con un rango de entre 240 y 355 días al año. Esto indica que casi todo el año en la ciudad de La Paz se experimentan días cálidos, lo que plantea un desafío adicional para los ciudadanos en términos de confort térmico y adaptación. Ante esta situación, es importante implementar soluciones que mejoren la resiliencia de la ciudad y sus áreas periurbanas y rurales, mediante estrategias de gestión integral del agua, soluciones basadas en naturaleza y diseños urbanos adaptados al calor.

Enfrentar estos desafíos requiere acciones decididas para reducir la vulnerabilidad al cambio climático y promover la resiliencia, tanto a nivel comunitario como en los ecosistemas locales. La ciudad debe priorizar medidas de adaptación, como el mejoramiento del confort térmico en edificaciones, el uso eficiente del agua, la reforestación urbana y la planificación territorial que considere los impactos del clima, para mitigar los riesgos asociados y asegurar un desarrollo sostenible a largo plazo.

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 a nivel local y subregional.

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 La Paz.

El escenario SSP2-4.5 representa un camino intermedio, donde se combinan elementos de desarrollo y sostenibilidad, en el que 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 La Paz 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 presentados en este estudio son herramientas valiosas para evaluar la vulnerabilidad de la ciudad de La Paz 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, por una parte, 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 posible 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)

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) de Masson-Delmonte *et al.* (2021), serían: un escenario de mitigación estricta (RCP 2,6), dos escenarios intermedios (RCP 4,5 y RCP 6,0) y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 8,5).

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).

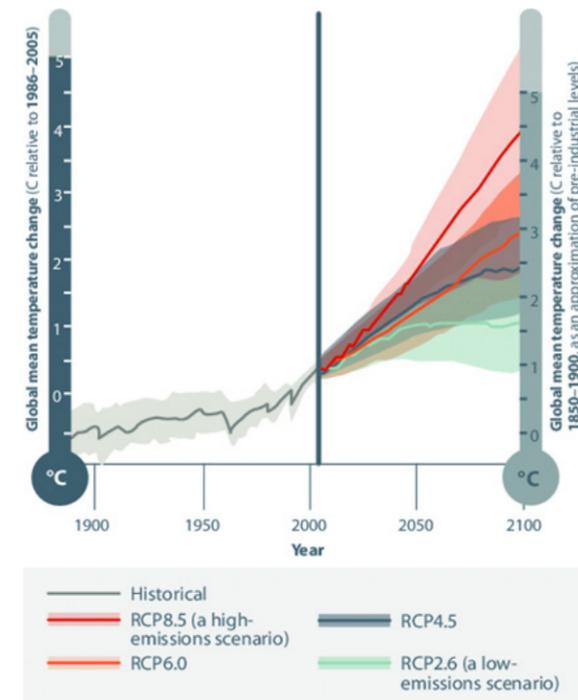


Figura 2. Temperatura media global en escenarios de cambio climático. Fuente: Tomado de Ansuategi *et al.* 2015.

De Modelos Climáticos Globales 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, es decir, esta variabilidad representa la incertidumbre intrínseca asociada a los modelos climáticos y puede capturarse a partir de diferentes realizaciones del clima simulado asociadas a diferentes condiciones iniciales. En segundo lugar, las imperfecciones en los modelos climáticos, los modelos climáticos 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 11km 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 con 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). Estos son modelos que 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 con la finalidad de establecer que tan bien representan los datos observados. A fin 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 sexto informe de Evaluación del Panel Internacional de

Cambio Climático (Masson-Delmonte *et al.* 2021). 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 simuló 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 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, 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, que 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 7**).

	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+				0.44° 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	
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 7. Matriz de simulación CORDEX. Fuente: tomado de CORDEX (2024).

En el Cuadro 7, 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.

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. En este caso, el IPCC proyecta que la temperatura global promedio aumentará 4.4°C para 2100. En ambos casos se optó por una retícula de 25Km, es decir 0.22° para lograr una mejor resolución. Con base en estas consideraciones se seleccionaron los siguientes modelos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Modelos utilizados para el análisis. Fuente: Pares A.C. con datos de CORDEX dominio NA-44 (los 3 son ensablos 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
GFDL-ESM2M		●	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 mostraron 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, esta tendencia 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 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 el clima en áreas más pequeñas con mayor detalle, 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; 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 RCP 4.5 y RCP 8.5 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). Con respecto al error cuadrático (R2), también se evaluó el ajuste de las medias mensuales de los modelos respecto al conjunto de datos observados.

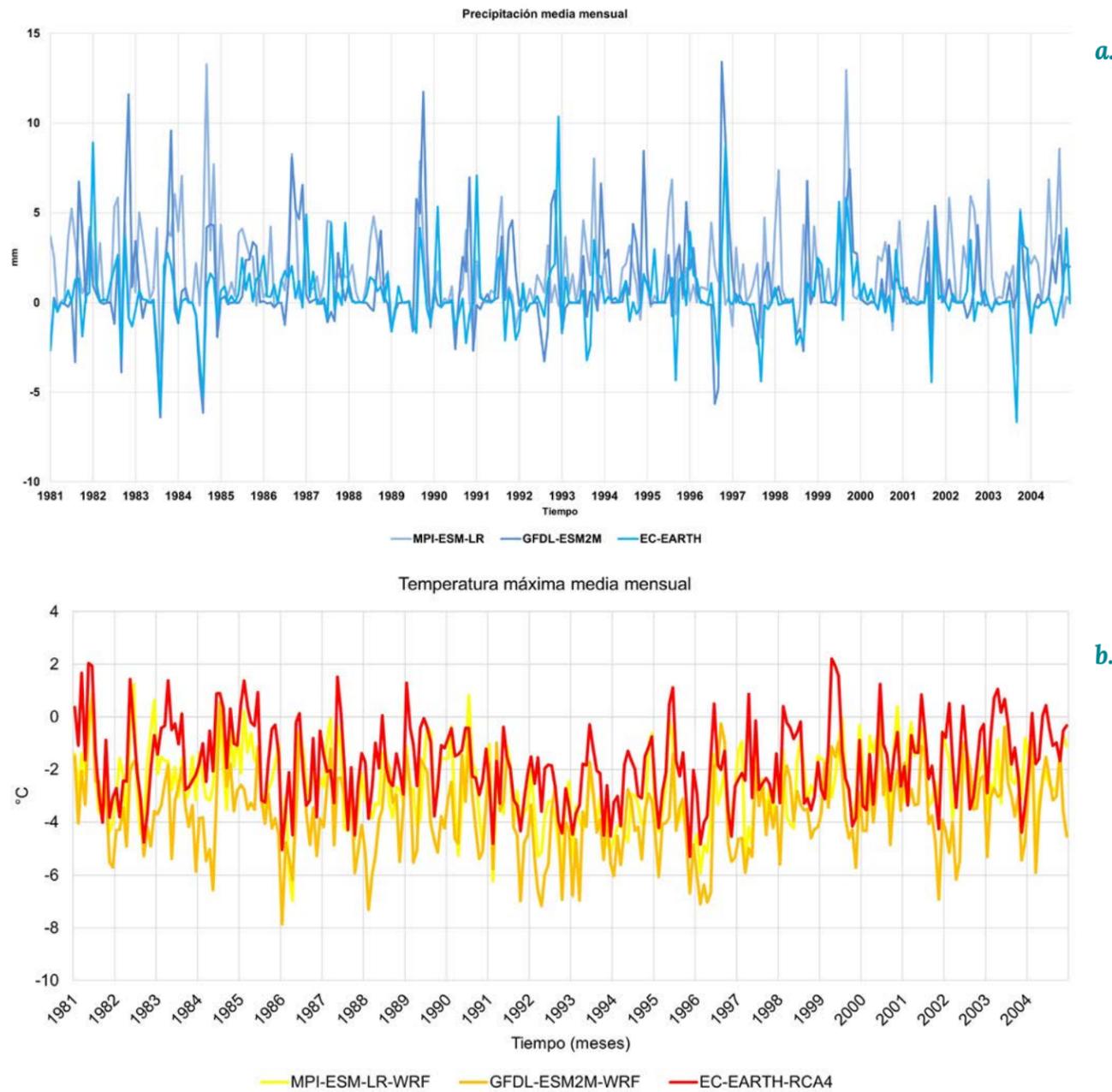
En el **Cuadro 9** se encontró una mejor correlación espacial para la temperatura máxima (Tmax), en donde los valores son muy próximos a la unidad, mientras que en las variables de Temperatura mínima (Tmin) y Precipitación (Pr) se aprecian correlaciones espaciales menos favorables. En el caso de evaluación de la correlación temporal (STD), se encontraron correlaciones más grandes entre los datos observados y los modelados; a pesar de esta variación se pudieron observar valores próximos a la media de las variables Tmax, Tmin y Pr en el periodo 1981-2004.

Cuadro 9. Desempeño de los modelos climáticos respecto a la base observacional de referencia a través de coeficientes de correlación espacial, temporal y variabilidad. **Fuente:** Pares A.C.

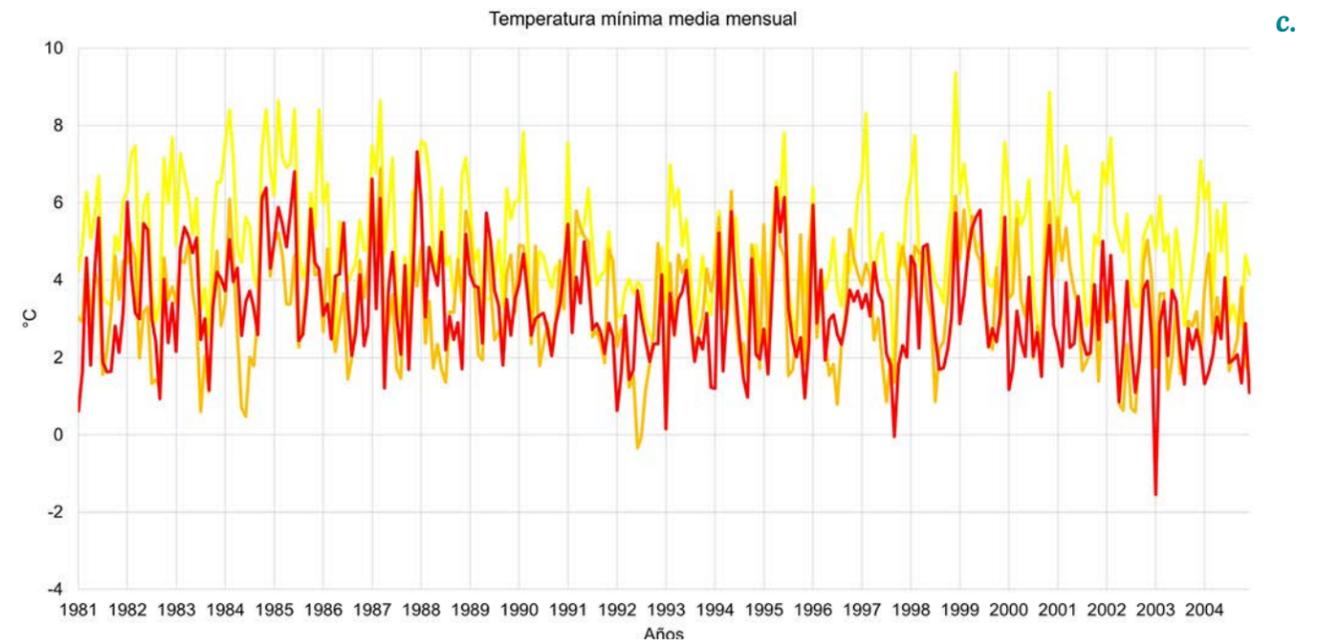
TEMPERATURA MÁXIMA			
Relación	MPI vsCRU	GFDL vsCRU	EC-EARTH vs CRU
Entre grupos	0.914	0.919	0.907
Espacial	3.757	4.187	3.687
R ²	0.835	0.845	0.823
TEMPERATURA MÍNIMA			
Entre grupos	0.946	0.952	0.947
Espacial	4.713	4.360	4.484
R ²	0.895	0.906	0.897
PRECIPITACIÓN			
Entre grupos	0.564	0.357	0.360
Espacial	2.438	2.257	1.717
R ²	0.318	0.127	0.129

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 sesgos positivos en temperaturas, tal y como se observa en las **Gráficas 12, a, b y c**, el modelo GFDL-ESM2M-WRF y MPI-ESM-LR-WRF arrojan una ligera sobreestimación de la precipitación respecto de la media mensual, también se observó que se sobreestima 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 EC-EARTH-RCA4 (**Gráfica 12, a**) presenta un menor sesgo -positivo y negativo- respecto a la precipitación, lo que implica que los resultados se aproximan mayormente a lo observado. En el caso de la temperatura se aprecia un sesgo en su mayoría positivo, lo que puede interpretarse como una sobreestimación de estas variables, esto se puede explicar 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 12 a y b. 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.



Gráfica c. 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.

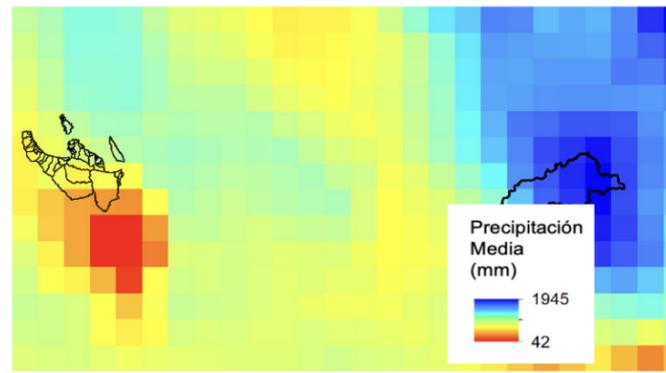


Figura 3. Precipitación media con resolución espacial de 25x25km. Fuente: Pares A.C.

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 los mismos.

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, para el periodo 1910-2010, para la temperatura se utilizó el DEM, la pendiente y la climatología de temperatura en el mismo periodo; se analizaron con los algoritmos: *boosted regression trees* (BRT), *neural networks* (NN); *generalized additive model* (GAM), *support vector machine* (SVM), *multivariate adaptive regression splines* (MARS) del *machispline*. Con ello se obtuvieron mapa de temperatura y precipitación en una resolución espacial de 30 m (Figura 4).

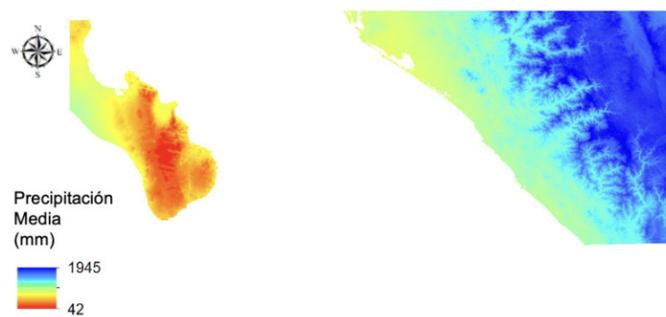


Figura 4. Precipitación media con resolución espacial de 30m. Fuente: Pares A.C.

Escenarios de cambio climático

Después se realizaron las simulaciones de escenarios de cambio climático de acuerdo con el Sexto Informe sobre Cambio Climático del IPCC (2021). Se optó por los horizontes temporales 2030, 2050, 2070 y 2100, ya que 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 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. Mientras que los escenarios de largo plazo (2070, 2100) permiten evaluar 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, permiten a los tomadores de decisión desarrollar estrategias de adaptación a largo plazo, 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.

Para una mejor visualización de los escenarios de cambio climático se optó por representar la media de las anomalías en las variables climáticas Temperatura y Precipitación, lo que permite una visión de conjunto de la señal climática en toda el zona de estudio y su interacción con los ecosistemas y servicios ecosistémicos presentes.

Escenarios de cambio climático SSP2 RCP 4.5 y SSP5-RCP 8.5

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.

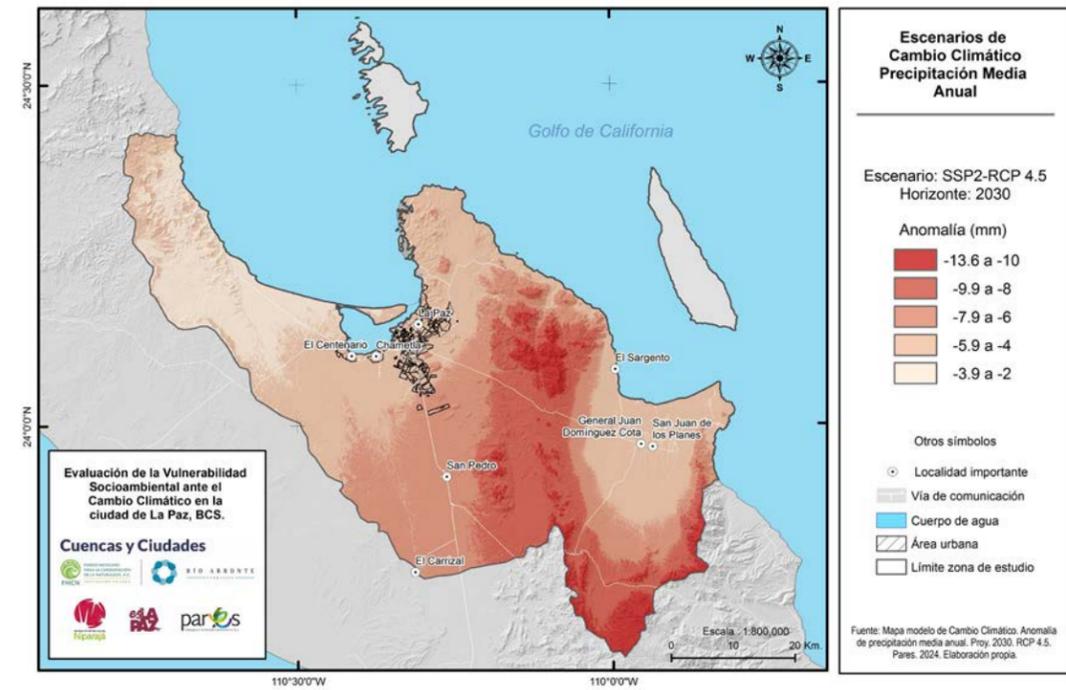


Figura 5. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2030. Fuente: Pares A.C.

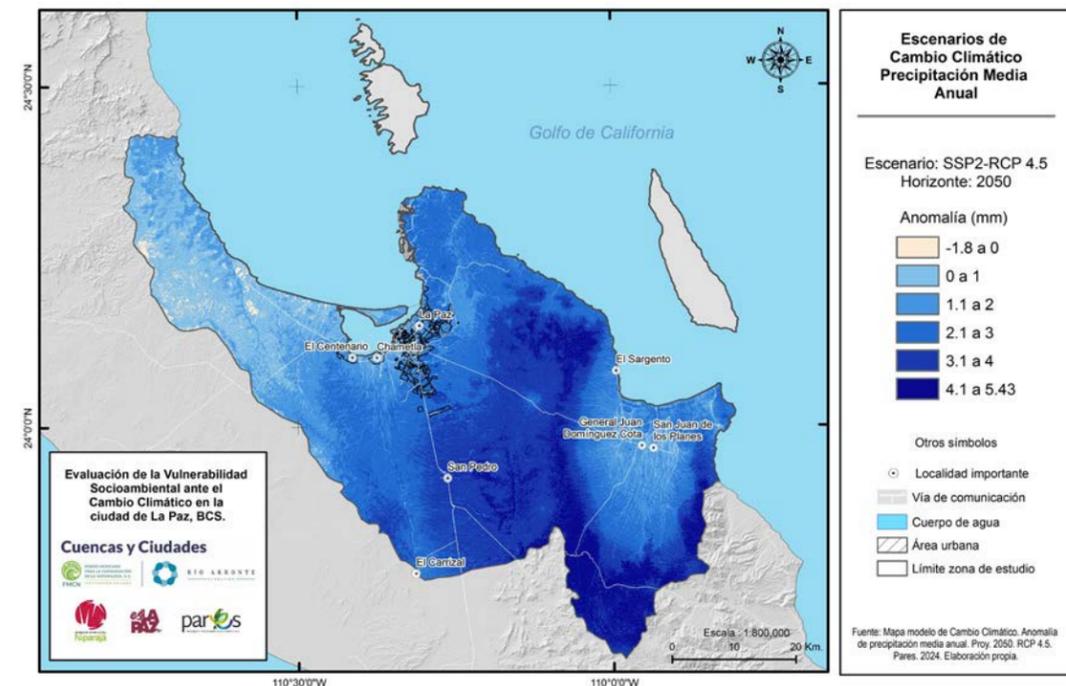


Figura 6. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2050. Fuente: Pares A.C.

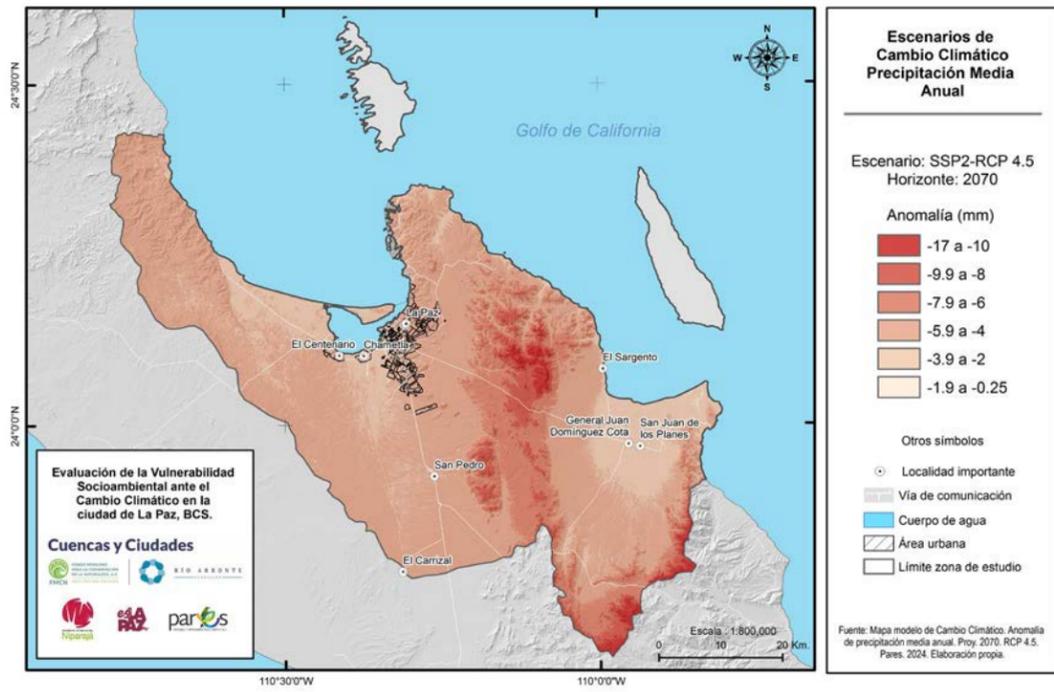


Figura 7. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2070. Fuente. Pares A.C.

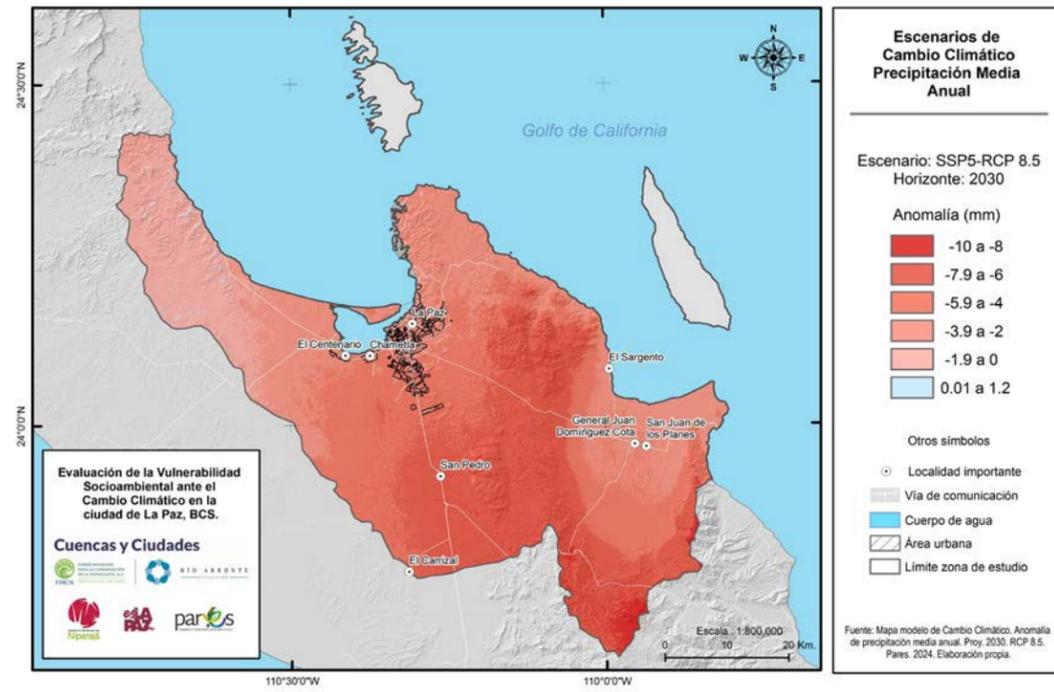


Figura 9. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP5-RCP 8.5 2030. Fuente. Pares A.C.

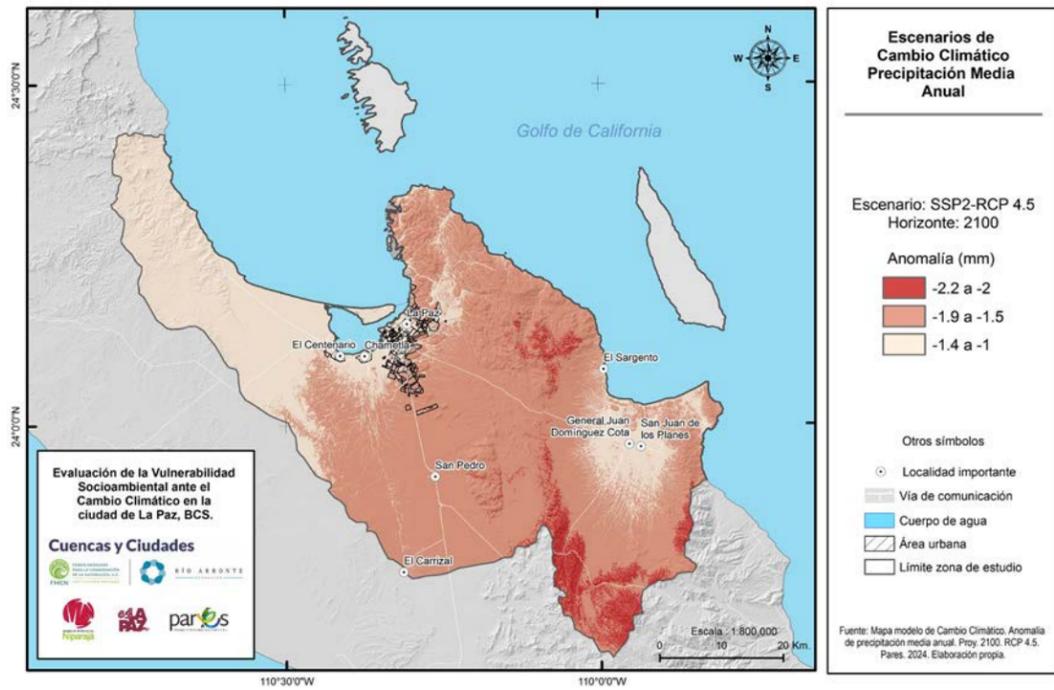


Figura 8. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2100. Fuente. Pares A.C.

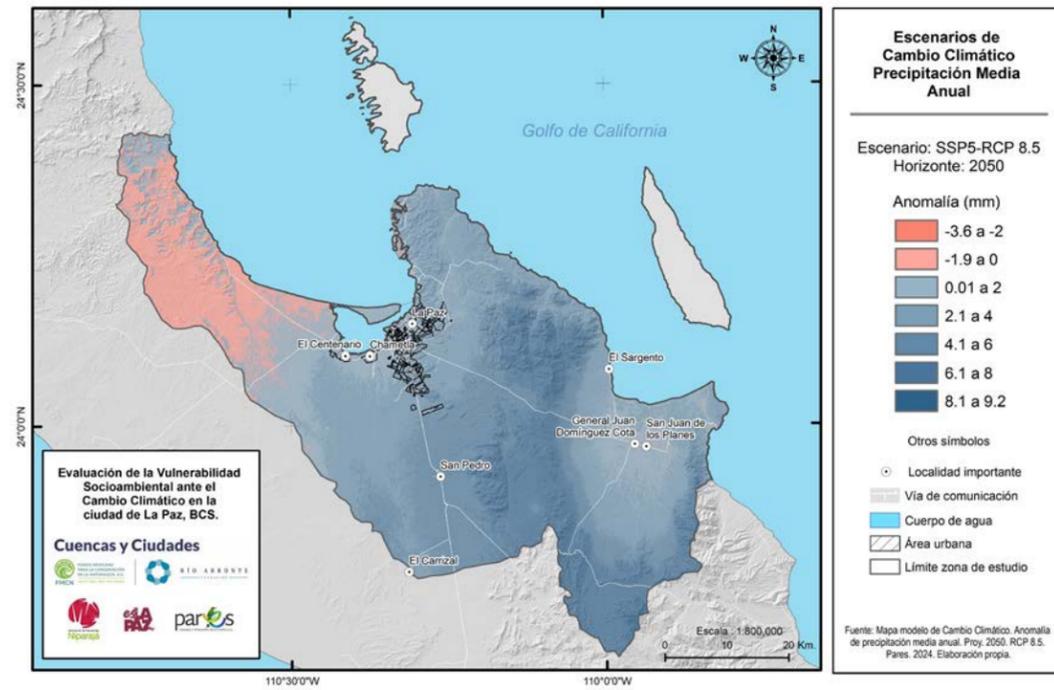


Figura 10. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP5-RCP 8.5 2050. Fuente. Pares A.C.

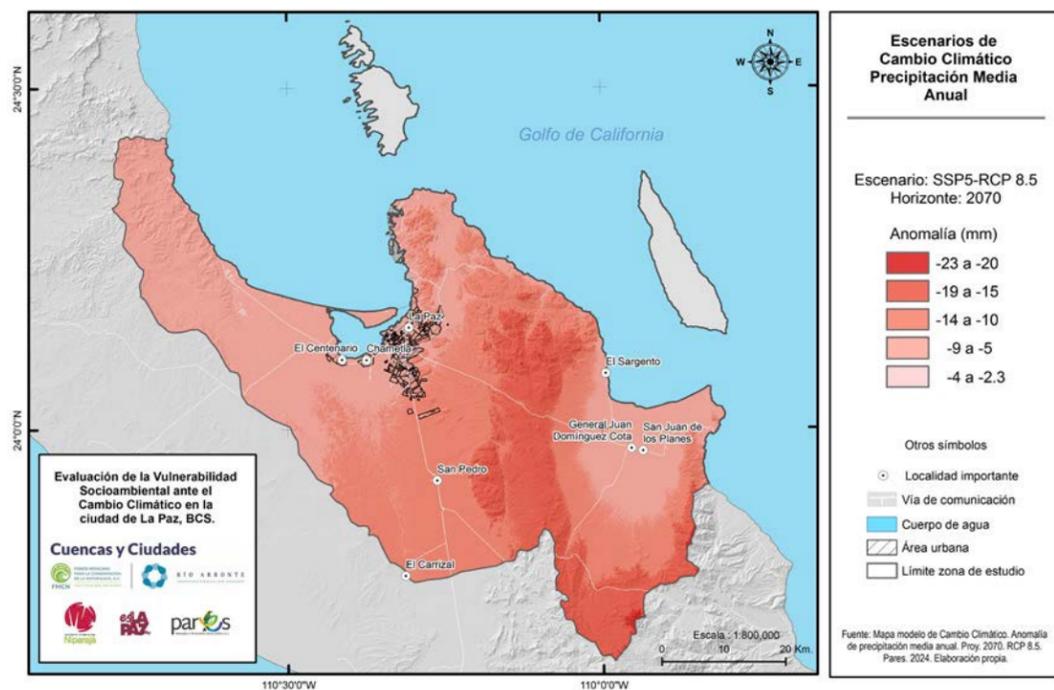


Figura 11. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP5-RCP 8.5 2070. Fuente. Pares A.C.

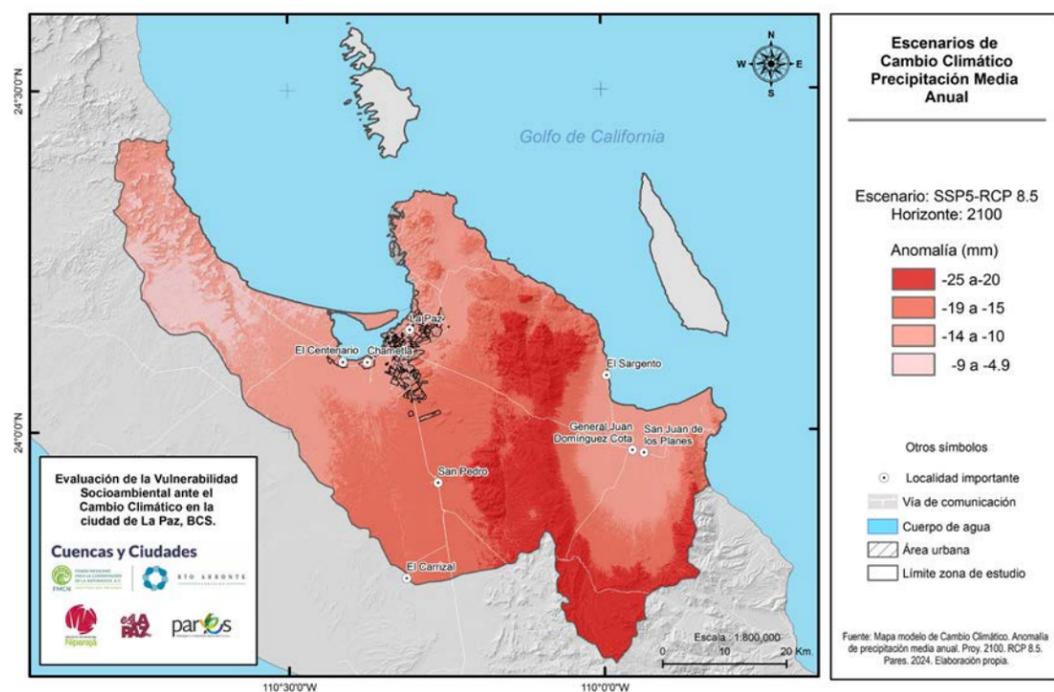


Figura 12. Anomalía de la precipitación media anual en escenario de cambio climático SSP5-RCP 8.5 2100. Fuente. Pares A.C.

ESCENARIO	HORIZONTE TEMPORAL	ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN (MM)
SSP2-RCP 4.5	2030	-13.6 a -2
	2050	-1.8 a 5.43
	2070	-17 a -0.25
	2100	-2.2 a -1
SSP5-RCP 8.5	2030	-10 a 1.2
	2050	-3.6 a 9.2
	2070	-23 a -2.3
	2100	-25 a -4.9

Cuadro 10. Anomalías en la precipitación media anual en escenarios SSP2-RCP 4.5 y SSP5-RCP 8.5 Fuente: Pares A.C.

Como se puede apreciar en el Cuadro 10, en el escenario SSP2-RCP 4.5 en el corto plazo se podrían presentar anomalías negativas en la precipitación de alrededor de -13.6mm, en el mediano plazo la situación podría tornarse en una oportunidad ya que se aprecian anomalías positivas del orden de 5.43mm, sin embargo en el largo plazo se confirma una tendencia negativa con anomalías de hasta -17mm en 2070 y de -2.2mm en 2100.

Por otro lado, en el escenario SSP5-RCP 8.5 en el corto plazo se podrían presentar anomalías negativas del orden de -10mm, en el mediano plazo se detectaron anomalías positivas del orden de 9.2mm mientras que en el largo plazo se confirma una tendencia negativa con anomalías del orden de -23 y -25mm en 2070 y 2100 respectivamente.

Implicaciones a corto, mediano y largo plazo

Tanto el escenario de emisiones moderadas (SSP2-RCP 4.5) como el de altas emisiones (SSP5-RCP 8.5) apuntan a una mayor variabilidad en las precipitaciones, con períodos de sequía y lluvia intensa alternados. Esto podría generar eventos extremos como inundaciones y deslizamientos de tierra, lo cual a su vez podría causar la erosión del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y la fragmentación de hábitats. A largo plazo, la tendencia hacia una disminución de las precipitaciones en ambos escenarios sugiere una mayor aridez y una reducción en la disponibilidad de agua, lo que podría llevar a la desertificación de algunas áreas y a una disminución significativa de la biodiversidad.

Consideraciones específicas para zona de estudio

La cuenca de la Ciudad de La Paz, con sus ecosistemas frágiles y una alta dependencia de los recursos hídricos, es particularmente vulnerable a estos cambios. Los ecosistemas costeros como manglares y arrecifes rocosos y de coral, que son fundamentales para la economía local y la protección costera, podrían sufrir un deterioro significativo debido al aumento de la temperatura del mar, la acidificación de los océanos y la disminución de la cantidad y calidad del agua. Además, la escasez de agua podría afectar la agricultura, la pesca y el turismo, actividades económicas clave para la región.

Los resultados de ambos escenarios climáticos vislumbran un panorama complejo y desafiante para los ecosistemas de la cuenca de la Ciudad de La Paz, Baja California Sur. La combinación de una mayor variabilidad climática y una tendencia hacia la disminución de las precipitaciones a corto y largo plazo exige una acción urgente para adaptarse a estos cambios y mitigar sus impactos. Es necesario implementar medidas de adaptación como la restauración de ecosistemas costeros, la gestión sostenible de los recursos hídricos, y la promoción de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes y sostenibles, al tiempo que se fomenta la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

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

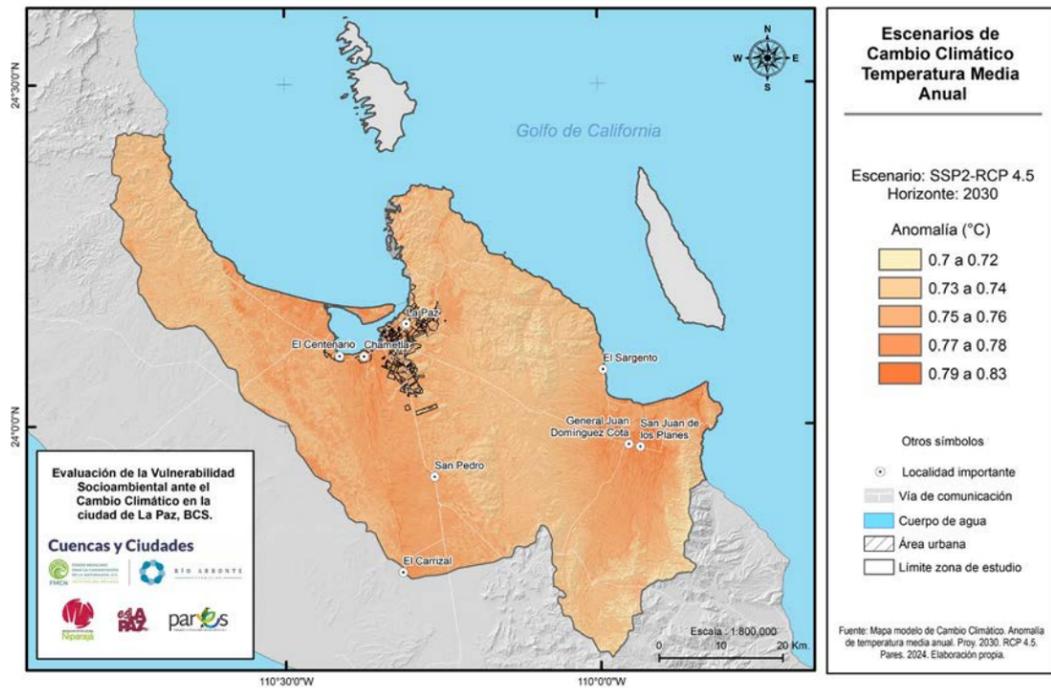


Figura 13. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2030. Fuente. Pares A.C.

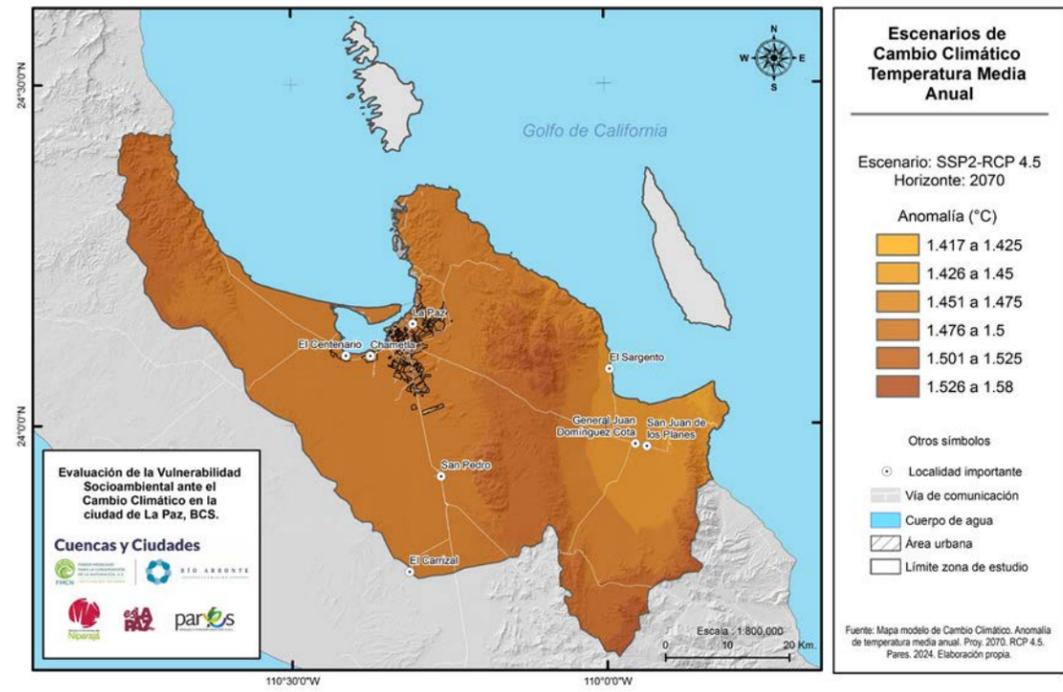


Figura 15. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP2-4.5 2070. Fuente. Pares A.C.

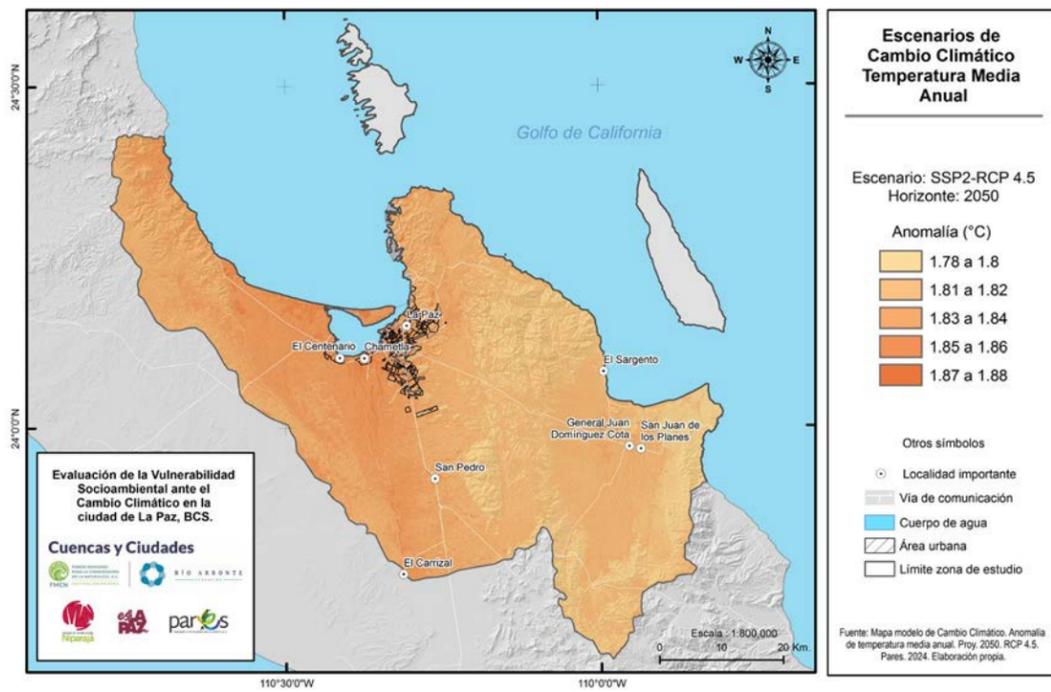


Figura 14. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP2-4.5 2050. Fuente. Pares A.C.

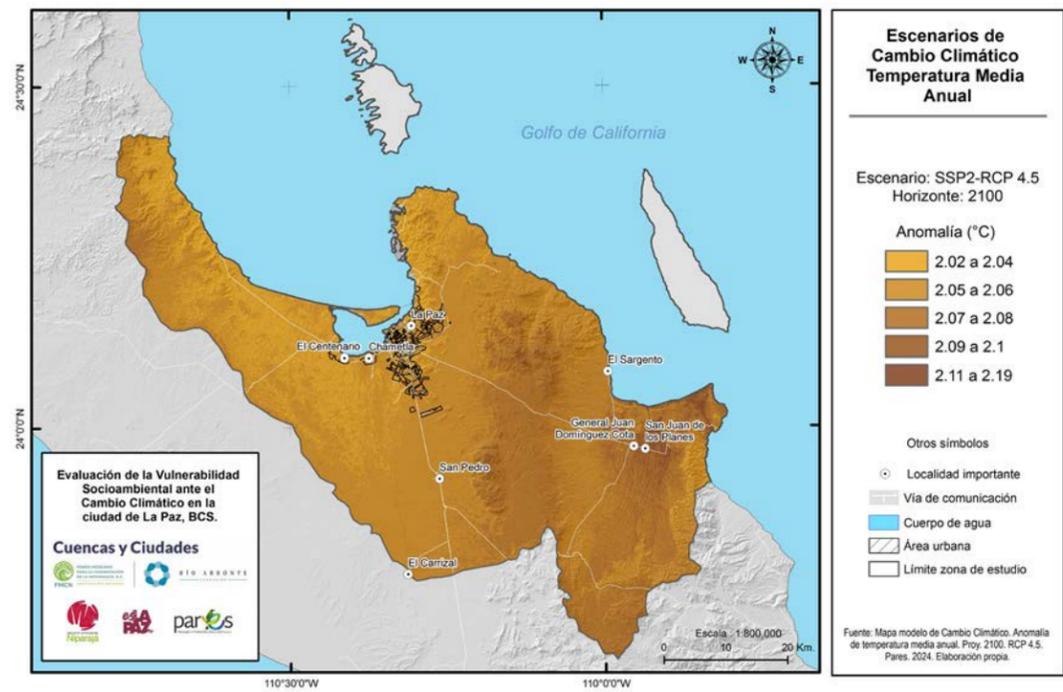


Figura 16. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP2-4.5 2100. Fuente. Pares A.C.

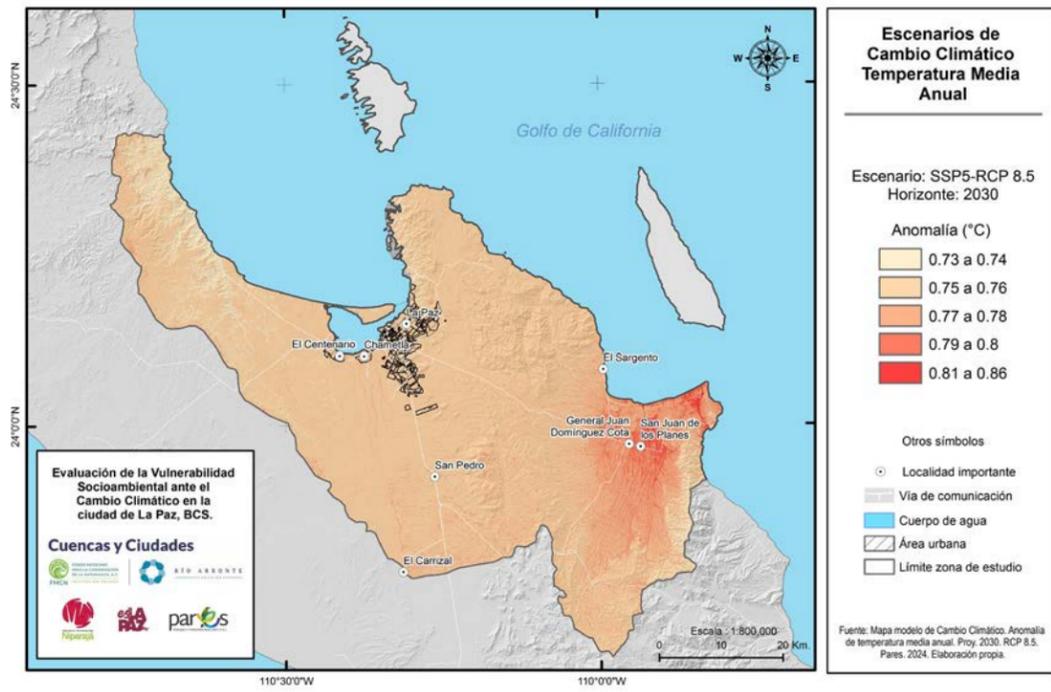


Figura 17. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP2-RCP 4.5 2030. Fuente. Pares A.C.

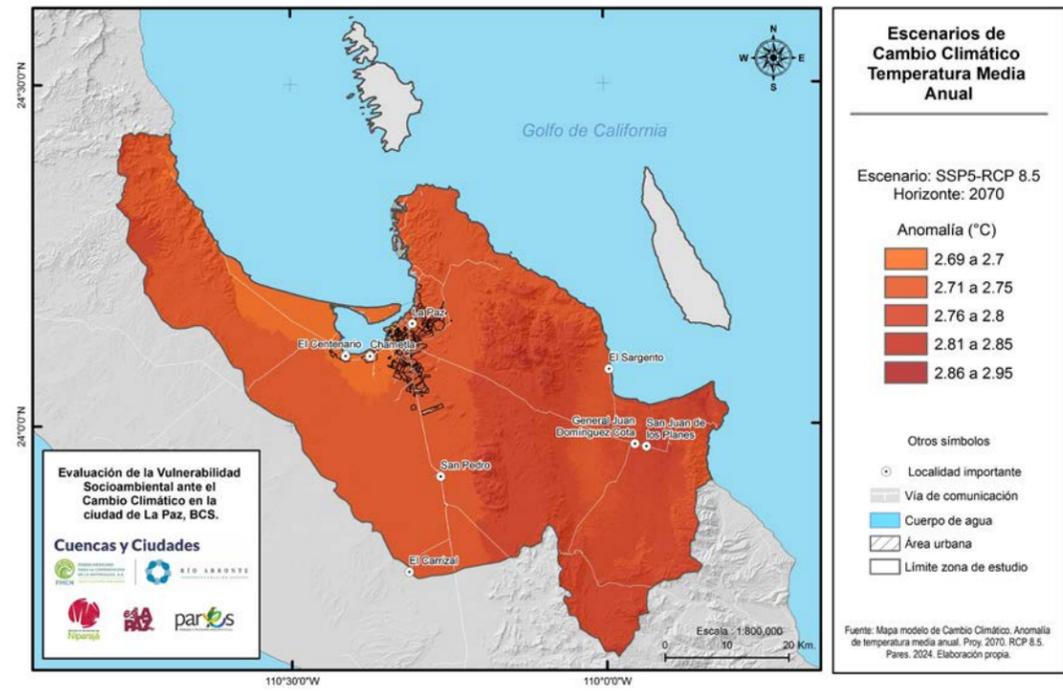


Figura 19. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP5-8.5 2070. Fuente. Pares A.C.

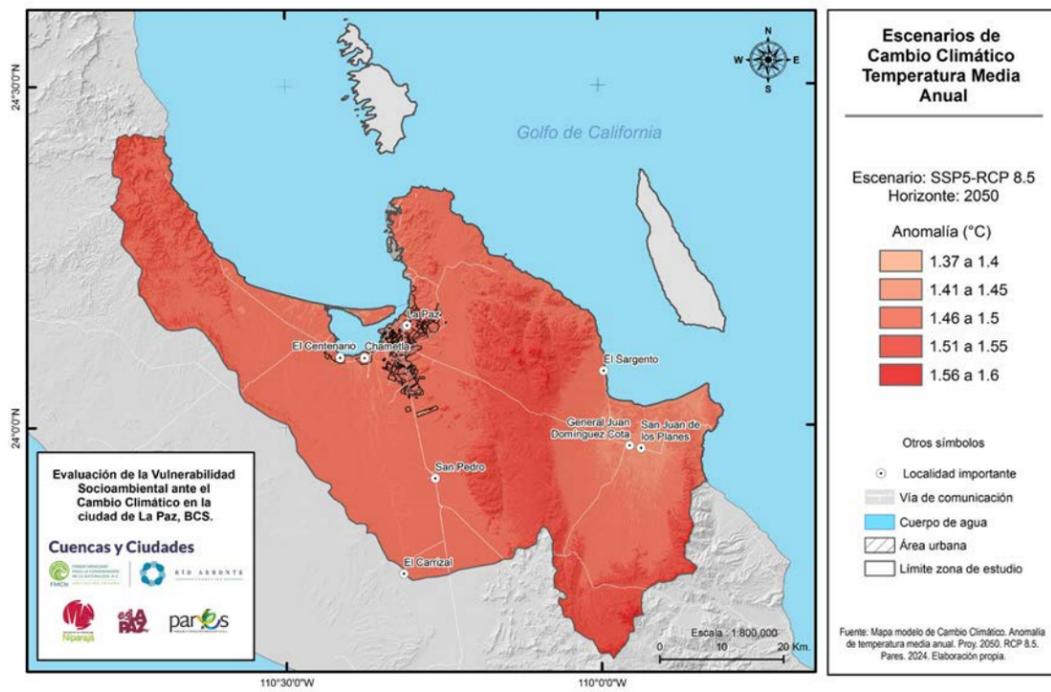


Figura 18. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP5-8.5 2050. Fuente. Pares A.C.

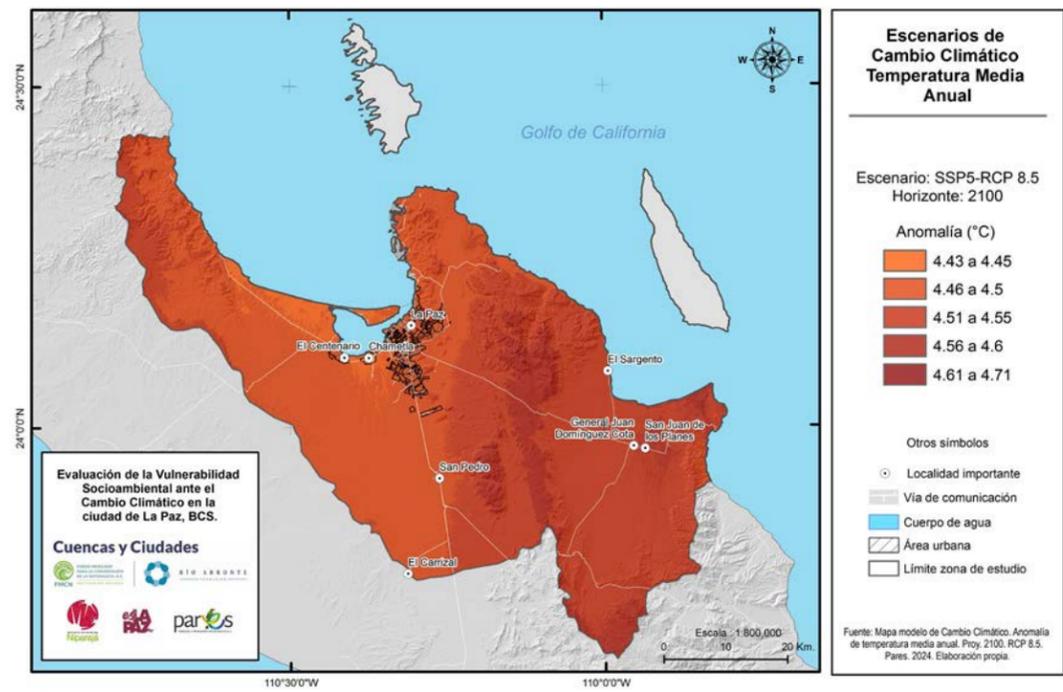


Figura 20. Anomalía de la temperatura media anual en escenario de cambio climático SSP5-8.5 2100. Fuente. Pares A.C.

ESCENARIO	HORIZONTE TEMPORAL	ANOMALÍA DE TEMPERATURA MEDIA (°C)
SSP2-RCP 4.5	2030	0.7 a 0.83
	2050	1.78 a 1.88
	2070	1.41 a 1.58
	2100	2.02 a 2.19
SSP5-RCP 8.5	2030	0.73 a 0.86
	2050	1.37 a 1.6
	2070	2.69 a 2.95
	2100	4.43 a 4.71

Cuadro 11. Anomalías en la temperatura media anual en escenarios SSP2-RCP 4.5 y SSP5-RCP 8.5 **Fuente:** Pares A.C.

Como se puede apreciar en el **Cuadro 11**, en el escenario SSP2-RCP 4.5 en el corto plazo se podrían presentar anomalías positivas en la temperatura de alrededor de 0.83°C, en el mediano plazo la situación podría tornarse aún más crítica ya que se aprecian anomalías positivas del orden de 1.88°C, por su parte en el largo plazo se confirma una tendencia positiva con anomalías de hasta 1.58°C en 2070 y de -2.19°C en 2100. Por otro lado, en el escenario SSP5-RCP 8.5 en el corto plazo se podrían presentar anomalías positivas del orden de 0.86°C, en el mediano plazo se detectaron anomalías positivas del orden de 1.6°C mientras que en el largo plazo se confirma una tendencia positiva con anomalías del orden de 2.95 y hasta 4.71°C en 2070 y 2100 respectivamente.

Implicaciones para la Adaptación al Cambio Climático en la La Paz, Baja California Sur

Los resultados presentados evidencian la necesidad de implementar estrategias de adaptación al cambio climático. El incremento proyectado en las temperaturas, tanto a corto como a largo plazo, exige una respuesta urgente y coordinada. El aumento de la temperatura intensificará los eventos extremos como olas de calor y sequías, lo que pondrá en riesgo la disponibilidad de agua dulce, un recurso vital para los ecosistemas y la población. Los ecosistemas costeros, especialmente los arrecifes rocosos y de coral y los manglares, serán particularmente vulnerables al blanqueamiento y la pérdida de hábitat debido al aumento de la temperatura del mar y la acidificación de los océanos. Para hacer frente a estos desafíos, es fundamental desarro-

llar e implementar medidas de adaptación que permitan a los ecosistemas y las comunidades de la región adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Algunas de estas medidas podrían incluir:

- **Gestión integrada de los recursos hídricos:** Optimizar el uso del agua, implementar acciones que disminuyan las pérdidas de agua en la red, promover prácticas agrícolas sostenibles y desarrollar infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua de lluvia.
- **Restauración de ecosistemas:** Restaurar y conservar los ecosistemas costeros como manglares, praderas marinas (en Punta Roca Caimancito) y arrecifes rocosos y de coral, así como de los bosques en la zona serrana de captación de la cuenca, para aumentar su resiliencia al cambio climático.
- **Sistemas de alerta temprana:** Desarrollar sistemas de alerta temprana para eventos extremos como huracanes y olas de calor, lo que permitirá a las comunidades prepararse y responder de manera más efectiva.
- **Promoción de la agricultura y ganadería sostenibles:** Fomentar prácticas agropecuarias que sean más eficientes en el uso del agua y que reduzcan la vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos.
- **Desarrollo de infraestructura resiliente:** Construir infraestructura que sea capaz de resistir los impactos del cambio climático, como edificios resistentes a sismos y sistemas de drenaje eficientes.

La adaptación al cambio climático en la La Paz requiere de un enfoque integral que involucre a todos los sectores de la sociedad. Es fundamental invertir en investigación, desarrollar políticas públicas efectivas y fortalecer la colaboración entre los diferentes niveles de gobierno, la academia y la sociedad civil.

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-RCP 4.5 y SSP5-RCP 8.5 para los horizontes 2030, 2050, 2070 y 2100 encontrando los resultados que pueden verse en el **Cuadro 12**.

Cuadro 12. Mapa de calor de los índices climáticos en escenarios de cambio climático. **Fuente:** Pares A.C.

	RCP 4.5				RCP 8.5			
	2030	2050	2070	2100	2030	2050	2070	2100
CWD (días)	111	112	113	108	122	120	112	106
CDD (días)	308	307	306	311	297	299	307	313
Pr90p (eventos)	44	43	46	42	42	41	37	36
Tx90p (días)	49	66	76	79	55	78	108	131
Tx90P (noches)	49	60	66	67	52	67	83	98

Los resultados de las simulaciones indican cambios significativos en los patrones de precipitación. Se proyecta una disminución en la frecuencia de días húmedos y un aumento en los días secos, especialmente en el escenario SSP5-RCP 8.5. Asimismo, se espera una reducción en la frecuencia de eventos de precipitación extrema bajo este mismo escenario, lo que sugiere una tendencia hacia condiciones más secas.

Los resultados indican un aumento significativo en la frecuencia de días y noches cálidos extremos en ambos escenarios, siendo más pronunciado en el escenario de mayor emisión de gases de efecto invernadero (SSP5-RCP 8.5).

Este incremento se evidencia en los índices Tx90p y Tn90p, que miden el número de días y noches, respectivamente, en los que la temperatura supera el percentil 90.

El análisis del mapa de calor (**Cuadro 12**) 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.

Los resultados de las simulaciones climáticas proyectan cambios significativos en los patrones de precipitación y temperatura para la región de La Paz, Baja California Sur, los cuales tendrán implicaciones directas en la vida de sus habitantes.

Por una parte, el escenario de sequías prolongadas puede exacerbar la escasez de agua, la disminución en la frecuencia de días húmedos y el aumento de los días secos, lo que podría conducir a una menor disponibilidad de agua para consumo humano, la agricultura y las actividades productivas como el turismo.

Esta falta de disponibilidad podría también suponer el aumento en el costo de producción y consumo, afectando la economía de los hogares y de las actividades productivas, e incluso podría provocar escenarios de conflicto por el acceso al recurso hídrico, aumentando la competencia por el agua entre los diferentes sectores (agricultura, turismo, consumo humano) generando tensiones sociales y políticas. Por otra parte, esta variabilidad también podría afectar a los ecosistemas locales como manglares y arrecifes, lo que a su vez impactaría a la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que estos proporcionan.

Un escenario de ondas de calor más frecuentes e intensas podría tener impactos en la salud ya que las temperaturas extremas pueden provocar enfermedades como golpes de calor y deshidratación, especialmente en grupos vulnerables como niños, adultos mayores, y personas con enfermedades crónicas. Las altas temperaturas también podrían reducir la productividad en actividades al aire libre como la agricultura, la construcción e incluso en el mantenimiento de la infraestructura urbana.

Temperaturas más elevadas también podrían incrementar la demanda energética para refrigeración, poniendo en situación de estrés a la red eléctrica y aumentar los costos de la energía. Fuera de los límites de la ciudad, las condiciones de sequía y calor extremo aumentarían el peligro de incendios forestales con las consecuentes pérdidas económicas y ambientales.

Por su parte, el sector turismo en La Paz es uno de los principales motores económicos que se podrían ver afectados por la disminución en la disponibilidad de agua, la pérdida de biodiversidad y los eventos climáticos extremos como tormentas y huracanes que afectan negativamente a esta actividad.

Fotografía: *Miguel Ángel de la Cueva*



Análisis de vulnerabilidad

La rápida urbanización en las ciudades medias de México, particularmente de aquellas asentadas en zonas costeras y cuya principal actividad es la turística, ha ocurrido en el contexto de una muy precaria planeación urbana, lo cual resulta en problemas como la ausencia de una gestión adecuada del recurso hídrico, el establecimiento de viviendas irregulares en zonas no aptas para asentamientos humanos, lo que incrementa el riesgo ante eventos climáticos y el deterioro de los recursos naturales. Entre otros impactos esta la alteración de los ecosistemas urbanos y periurbanos que proveen una gran variedad de servicios ecosistémicos que contribuyen, entre otros aspectos, al bienestar de las comunidades. Estos problemas se ven exacerbados por los efectos del cambio climático.

El estudio para evaluar la vulnerabilidad socioambiental de La Paz, Baja California Sur, es sinérgico con las declaraciones de la Agenda Urbana 2017, así como de la Agenda 20-30, dado que apunta a construir resiliencia y reducir la vulnerabilidad climática mediante enfoques de adaptación al cambio climático como la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y las Soluciones basadas en 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, OSC y los ciudadanos.

5.1. Marco conceptual

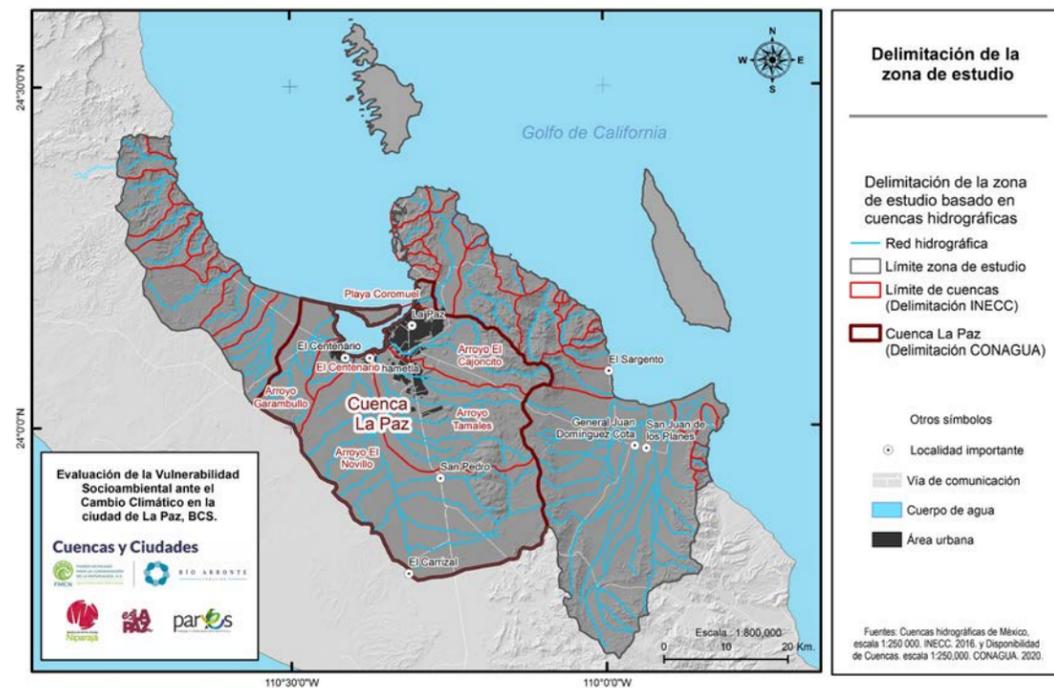
Se utiliza el criterio del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) que define la vulnerabilidad ante el cambio climático como “el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático”, incluyendo además la variabilidad y los fenómenos 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 aborda con un enfoque de cuenca y a mayor detalle en la ciudad, de forma tal que, permita una 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 riesgo y adaptación al cambio climático, entre otros). La zona de estudio tiene una superficie total de 362, 535 hectáreas e incluye a la cuenca de La Paz que cuenta con una superficie de 94,700 hectáreas y las islas ubicadas frente a la ciudad de La Paz (Figura 21).

Figura 21. Mapa de la zona de estudio. Fuente: Pares A.C. con datos de INECC, 2016.



5.3. Recopilación y análisis de la información relevante

Para conocer la situación actual de La Paz 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 La Paz.

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.

El municipio de La Paz colinda al norte con el municipio de Comondú y el Golfo de California; al este con el Golfo de California y el municipio de Los Cabos; al sur con el municipio de Los Cabos y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y el municipio de Comondú. Se localiza entre los paralelos 23° 06' y 25° 07' de latitud norte; los meridianos 109° 41' y 111° 50' de longitud oeste. En cuanto a extensión territorial posee el 20.76% del total estatal, en un rango de altitud que oscila entre 0 y 2,000 metros. En él se ubica la capital del estado, conservando presencia importante de estructuras del Gobierno Estatal y Federal (INEGI, 2009; INAFED, 2021).

Según el IMPLAN (2021), "la superficie del municipio es de 15,397.3 kilómetros cuadrados, que representan el 21.1% del total del estado. Sus litorales alcanzan el 26 % del total de Baja California Sur donde se ubican las islas de San José, San Francisco, Los Islotes, Partida, Espíritu Santo y Cerralvo, todas ellas incluidas en el Parque Nacional Archipiélago de Espíritu Santo. Dentro de la Bahía de La Paz se localiza la península llamada "El Mogote" que casi se cierra y forma lo que es la Ensenada de La Paz".

Esta extensión territorial abarca la parte sur de la Sierra de la Giganta y la parte norte de la Sierra de La Laguna, ambas le otorgan la singularidad de su geomorfología; el resto del territorio corresponde a una zona relativamente plana denominada el Llano de La Paz, que presenta fuertes pendientes hacia el Océano Pacífico, como hacia el Golfo de California. Incluye también el territorio de las Islas San José, Partida, Espíritu Santo, Cerralvo y Margarita.

Según el Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz (PAMIC), (2024), "aunque la zona urbana representa solo el seis por ciento del área de la cuenca de La Paz, casi toda la población se concentra ahí. Además, es el principal destino turístico, con las implicaciones que esto tiene en materia de acceso a agua de calidad y su disposición final. Otro aspecto importante de la zona urbana es que se localiza en la parte baja de la cuenca, así que recibe los impactos acumulados, positivos y negativos, del uso y la conservación en las partes media y alta de la cuenca. Además de la ciudad de La Paz (81.3 km²), la zona urbana incluye las localidades de Chametla (3 km²) y El Centenario (7.9 km²). En total, las tres localidades ocupan ~92 km². Campero y Silva (2021) informan que el crecimiento del suelo urbano es 50 por ciento más rápido que el crecimiento de la población urbana. En este sentido, entre 2010 y 2020, la mancha urbana en la cuenca y el acuífero de La Paz creció 51.6 por ciento, mientras que en el mismo periodo, el crecimiento poblacional fue de 18 por ciento".

Por su ubicación frente al Golfo de California Mar de Cortés, este municipio está considerado dentro de los más vulnerables y de alto riesgo ante la recurrencia de fenómenos naturales, como ciclones y huracanes que pueden ocasionar lluvias intensas en poco tiempo con las consecuentes inundaciones de algunas colonias de la zona urbana (Figura 22).



Figura 22. Localización del municipio de La Paz, B.C.S. **Fuente:** IMPLAN (2021) con información de la Base Cartográfica Municipal.

De acuerdo con el documento del PAMIC (2024), “los procesos climáticos regionales ejercen una influencia muy importante, ya que en el verano propician la formación de tormentas tropicales y ciclones en gran parte del territorio, mientras que durante el invierno generan frentes fríos. Mas del 75 por ciento de la precipitación anual es producto de las lluvias torrenciales que se presentan en el verano (Hernández, 2021). Estas lluvias que, aunque de poca duración, son muy intensas, ocasionan la formación de grandes corrientes de agua y sedimentos que escurren a gran velocidad. Ello evita la infiltración del agua de lluvia y favorece un proceso de erosión en la zona alta de la cuenca (CEAb, 2022), lo cual aumenta el riesgo de inundaciones en la zona baja de la misma”.

“La Paz enfrenta peligros hidrometeorológicos que son los más recurrentes. El clima presenta variantes y es uno de los municipios con la precipitación anual más baja del país; sin embargo, está expuesto a la presencia de fenó-

menos hidrometeorológicos que se originan en el Pacífico nororiental, los cuales generan precipitaciones muy altas en lapsos muy cortos.

Durante la temporada de ciclones tropicales, ha padecido históricamente los daños provocados por los fuertes vientos, las mareas altas, las inundaciones y los escurrimientos súbitos ocasionados por las intensas lluvias que descargan este tipo de fenómenos, así como los efectos de las tormentas eléctricas”.

Los posibles impactos ante eventos climáticos y sus consecuencias en la vida de los habitantes y en las actividades productivas de los habitantes de este municipio se sintetizan en la **Figura 23**.

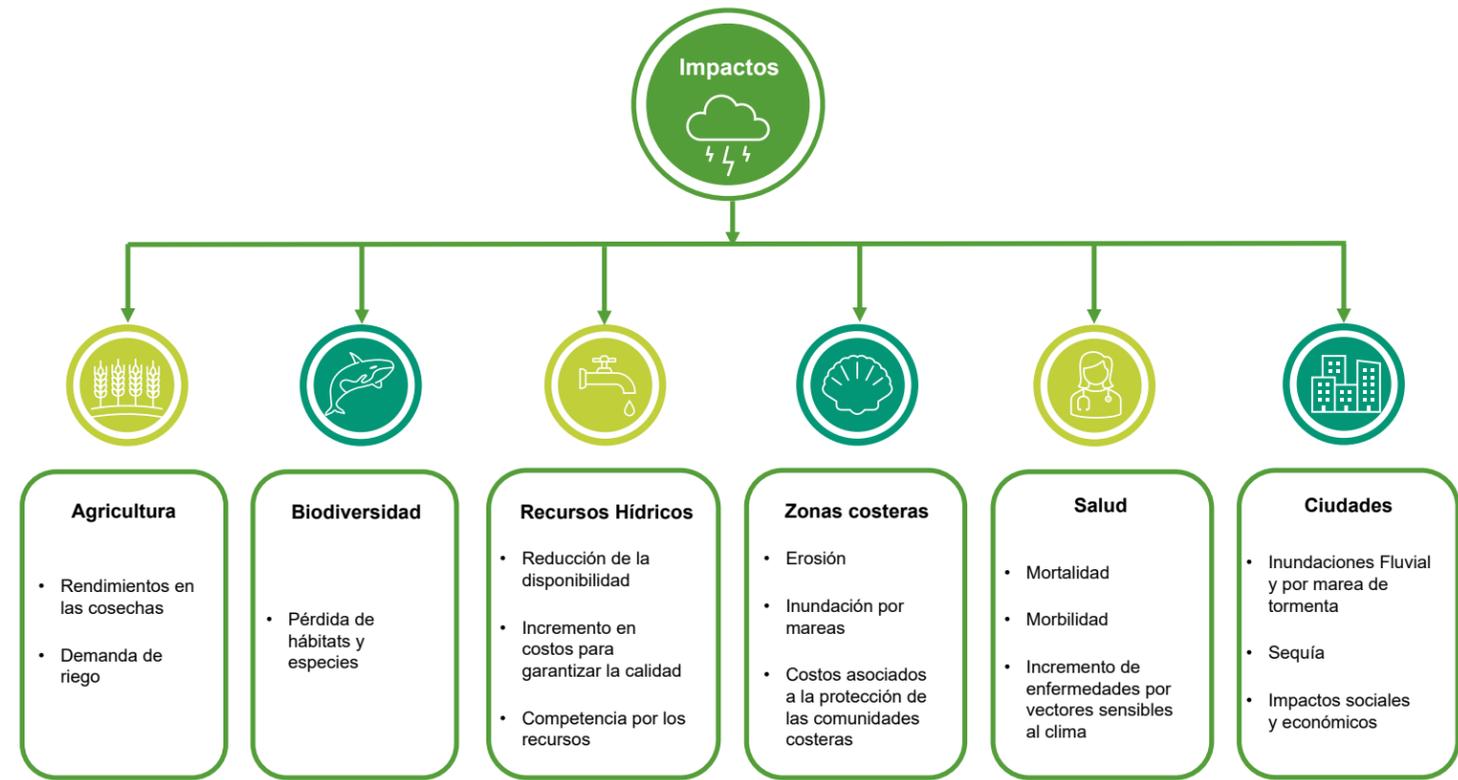


Figura 23. Impactos del cambio climático en la península de Baja California Sur. **Fuente:** Pares A.C. Modificado del Plan Estatal de Acción ante el cambio climático para BCS.

La problemática que enfrenta en la actualidad la ciudad de La Paz se resume, de acuerdo con el documento del PAMIC (2024) en:

- Sobreexplotación y el deterioro del acuífero, que se refleja en el aumento de la intrusión salina y la presencia de metales pesados en el agua.
- Cambio de uso de suelo y la pérdida de suelo en zonas de recarga, la expansión urbana en las zonas costeras.
- Deterioro en la red de distribución de agua, así como los sistemas de medición y cobro deficientes.
- Abastecimiento desigual de agua potable para la población y las zonas rurales, cuyo abastecimiento de agua no cuenta con la calidad necesaria para su uso.

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 serán consideradas 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 13**).

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES
Fisiografía	La cuenca de La Paz presenta elevaciones que van desde el nivel de mar (0 msnm), en la ciudad de La Paz, hasta los 1,266 msnm. en la sierra El Novillo. Por su parte, la fisiografía se compone de la llanura costera o valle, lomeríos y sierras. El valle de La Paz se encuentra delimitado por dos fallas: al oeste, la falla de El Carrizal y, al este, la falla de La Paz; es el resultado de diversos eventos tectónicos que probablemente sucedieron durante el Pleistoceno y que dieron lugar al Golfo de California.
Suelos	Predominan dos tipos de suelo: regosol y yermosol. Los regosoles son suelos muy jóvenes, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas por el agua, se encuentran sobre todo al pie de las sierras, donde son acumulados por los ríos que descienden de la montaña cargados de sedimentos. Los yermosoles se caracterizan por un subsuelo rico en arcilla que en ocasiones presentan acumulación de cal o yeso en el subsuelo; a veces son salinos. Cuando tienen vegetación de pastizal o de matorrales, es posible el desarrollo de la actividad ganadera con rendimientos moderados o bajos. En estos suelos es común la explotación de ciertas plantas de matorral, como la candelilla.
Hidrología	<p>La cuenca de La Paz no cuenta con escurrimientos permanentes; de hecho, la mayor parte de la lluvia se evapotranspira. Si bien los caudales que se forman durante las tormentas tropicales y los huracanes favorecen la infiltración, se ha estimado que esta solo representa 16 por ciento del agua que cae en la cuenca; por lo tanto, la principal fuente de abastecimiento de agua proviene del acuífero.</p> <p>La superficie de la cuenca de La Paz abarca 947 km². Sin embargo, la extensión del acuífero no es tan fácil de determinar; los datos varían de un estudio a otro, de 115 a 600 km². Estas variaciones afectan la precisión de las estimaciones de los volúmenes disponibles y de recarga.</p> <p>En el acuífero de La Paz, el uso con el mayor volumen concesionado es el Público urbano, que junto con el Doméstico suman 64 por ciento del volumen total anual concesionado (~20.1 Mm³). La extracción de agua subterránea se hace a través de 239 pozos, con profundidades que varían entre tres y doscientos metros. La ciudad de La Paz demanda aproximadamente dos terceras partes del agua subterránea sustraída y cuenta con 40,000 tomas domiciliarias, equivalentes al 90 por ciento del total de viviendas, las cuales son atendidas por 400 kilómetros de red hidráulica.</p> <p>Antes de entrar a la ciudad el sistema pierde un gran porcentaje de su caudal (47.8 %), debido sobre todo a fugas y tomas clandestinas en la red de abastecimiento primaria.</p> <p>El acuífero de La Paz tiene un déficit estimado anual de -13.49 Mm³ (DOF, 9 de noviembre de 2023), lo que lo posiciona como el tercer acuífero con menor disponibilidad en el estado (DOF, 9 de noviembre de 2023). La extracción desmedida de agua subterránea ha generado problemas de intrusión de agua marina, derivando en la formación de un cono de abatimiento que alcanza un nivel estático de hasta -64 m bajo el nivel del mar (Hernández, 2021).</p> <p>Si bien no se conoce con exactitud la dimensión del acuífero de La Paz, existen estimaciones respecto a su profundidad (400 m) y el volumen de agua almacenado (alrededor de 9,500 Mm³). De estas estimaciones se destaca que solo diez por ciento del agua del acuífero se encuentra realmente disponible para su extracción (Pronatura, 2010; Cruz Falcon et al., 2009; Cruz Falcon, 2007).</p> <p>Las principales zonas de recarga para el acuífero de La Paz se ubican al este y sureste del mismo, en las sierras El Novillo y Las Trincheras.</p>
Acuífero La Paz	De acuerdo con el análisis de la gestión del agua urbana en La Paz realizado por Apodaca Ruiz (2022), la ciudad de La Paz se encuentra entre las zonas más áridas de México. “El agua disponible en la ciudad se encuentra en un acuífero sobreexplotado por muchos años que está llegando a sus límites de aprovechamiento” (Cruz, 2007).
Acuífero La Paz	La característica determinante es la limitada disponibilidad de fuentes de agua y su clima árido, lo que crea una escasez y competencia por el recurso, además de que los procesos de reintegración de agua residual y tratamiento son prácticamente nulos, lo que conduce a un círculo vicioso de sobreexplotación de los recursos hídricos, aunado a los escenarios poco favorables del cambio climático que amenazan con agudizar la problemática de disponibilidad de agua (Ivanova, 2011).

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES
Acuífero La Paz	<p>“El acuífero de La Paz, donde se extrae el agua para su uso, es un acuífero con un espesor máximo de 400 m que presenta características de buena porosidad y permeabilidad por el tipo de material de origen aluvial como arenas finas a gruesas, gravas, guijarros y cantos rodados, así como materiales volcánicos como brechas y conglomerados. Este acuífero tiene como base una capa volcánica poco permeable” (Apodaca Ruíz, 2022).</p> <p>El hecho de que sea un acuífero costero lo hace vulnerable a la contaminación por agua de mar. Si se sobreexplota, el agua de mar pasará a ocupar los espacios vacíos (poros entre sedimentos) fluyendo tierra adentro. A este fenómeno se le conoce como intrusión marina, y cuando esto sucede, el agua que se extrae de los pozos comenzará a salir salobre o salada. (Apodaca Ruíz, 2022).</p> <p>Como prueba de la sobreexplotación del acuífero y la intrusión marina, se analizó información de 1990 a 2004, y se detectó que la profundidad al nivel freático ha disminuido notablemente hasta 13 m bajo el nivel medio del mar, y solidos totales disueltos se han concentrado en zonas alejadas de la línea de costa, principalmente en donde se ubica la batería de pozos de Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (Cruz, 2007).</p> <p>Diversos resultados de distintos investigadores demuestran que el acuífero se encuentra sobreexplotado, como lo confirma el balance hidrológico de Apodaca Ruíz (2022) que contrasta la extracción total de agua en el acuífero (30.78 hm³/año) con la recarga total anual del orden de 22.98 hm³/año. Por su parte Cruz (2007), indica que el agua para uso doméstico representa el 68% de agua que se extraía del acuífero, situación que se ha ido agravando con la demanda del recurso.</p> <p>De acuerdo con Hernández (2021), otro de los desafíos del acuífero La Paz lo constituye, desde la década de 1990, un flujo de agua salada proveniente de la línea de costa hacia el centro de la cuenca, lo cual pone de manifiesto el proceso de intrusión salina en el acuífero. En 2004 se calculó que la intrusión de agua de mar llegaba hasta 13 km dentro de la cuenca. En 2013, el área con mayor intrusión salina se localizaba al oeste del acuífero, debido a la mayor demanda de agua de la ciudad de La Paz, esta continúa avanzando en el lado este (Hernández, 2021).</p> <p>Se estima que 30 por ciento de la recarga actual del acuífero proviene de la intrusión salina. Este fenómeno ha ocasionado el cierre y la relocalización de pozos que abastecían a la ciudad de La Paz y su zona conurbada y es la principal causa por la que la extracción de agua con fines agrícolas ha decrecido en los últimos años. (H. XVI Ayuntamiento de La Paz, 2020).</p>
Alta montaña Cuenca La Paz	<p>“Los principales lechos que descienden de las áreas elevadas o montañosas son El Novillo, La Huerta y La Ardilla. Esta zona es considerada la de mayor captación de precipitación pluvial por infiltración y se caracteriza por una topografía con elevaciones que varían desde cientos de metros hasta más de mil metros sobre el nivel del mar. Se estima que en la subcuenca de El Novillo se capta cerca del 47% del agua que recarga el acuífero de La Paz, el resto proviene de las subcuencas de los arroyos La Palma (22%), El Cajoncito (10%), La Huerta (8%), La Ardilla (7%) y otros escurrimientos menores (6%)” (Pronatura Noroeste, 2010).</p> <p>Esta área incluye serranías y sierras, con una combinación de montañas y valles que forman un relieve accidentado. Algunas de las elevaciones más notables en la zona alta de la Cuenca de La Paz incluyen la Sierra de la Laguna, una cadena montañosa que se extiende por el sur de B.C.S. y que es conocida por su diversidad biológica y belleza escénica.</p> <p>La zona alta de la Cuenca de la Paz es una región importante en términos de recarga de agua para la cuenca, ya que es una fuente significativa de agua que fluye hacia los valles y llanuras circundantes, contribuyendo a la formación de arroyos y ríos que alimentan la Cuenca de La Paz”.</p>
Clima	<p>El clima dominante en la región es muy árido con lluvias en verano debido principalmente a la ocurrencia de ciclones tropicales, lo que implica que más del 80 por ciento del agua de la cuenca se evapotranspire, limitando la formación de corrientes superficiales perennes.</p> <p>La precipitación promedio anual en la región es de 180 mm, mientras que la temperatura media anual es entre 18 y 22° C.</p> <p>Las temperaturas máximas se presentan en los meses de julio y agosto y alcanzan un promedio de 35° C.</p>

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES																																												
Precipitación y El Niño	La precipitación a través de México varía no sólo espacialmente, sino también de forma temporal. Durante el fenómeno de El Niño, la parte noroeste del océano Pacífico mexicano experimenta un aumento en la precipitación durante el invierno, mientras que en el Pacífico sur tropical aumenta la aridez. Por el contrario, los períodos de La Niña crean un aumento en las lluvias monzónicas de verano en el sur tropical del país (Caso et al., 2007). Estos patrones muestran cómo los mismos patrones de clima pueden tener condiciones climáticas drásticamente distintas en diferentes regiones de México en diferentes momentos.																																												
Ciclones tropicales	<p>El estado de B.C.S, por su situación geográfica, está influenciado por las depresiones tropicales formadas en la cuenca del Pacífico nororiental durante los meses de verano.</p> <p>Tales depresiones generan al menos un huracán por año, acercándose a la línea de costa de Baja California dentro de un radio de 250 Km.</p> <p>Durante estos eventos, tienen lugar escorrentías extraordinarias, las cuales causan inundaciones donde los resultados son siempre devastadores sobre todo en las ciudades y poblaciones cercanas al paso del huracán.</p>																																												
Vegetación y usos del suelo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Vegetación y usos del suelo</th> <th>Superficie (ha)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Matorral sarcococaula</td><td>109,945</td></tr> <tr><td>Selva baja caducifolia</td><td>64,188</td></tr> <tr><td>Matorral sarco-crasicaule</td><td>49,023</td></tr> <tr><td>Agricultura de riego anual y semipermanente</td><td>7,965</td></tr> <tr><td>Asentamientos humanos</td><td>5,801</td></tr> <tr><td>Zona urbana</td><td>4,314</td></tr> <tr><td>Vegetación halófila xerófila</td><td>2,064</td></tr> <tr><td>Pastizal cultivado</td><td>2,030</td></tr> <tr><td>Agricultura de riego anual</td><td>1,826</td></tr> <tr><td>Pastizal inducido</td><td>1,614</td></tr> <tr><td>Vegetación de dunas costeras</td><td>1,522</td></tr> <tr><td>Mezquital xerófilo</td><td>1,465</td></tr> <tr><td>Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarco-crasicaule</td><td>705</td></tr> <tr><td>Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarcococaula</td><td>554</td></tr> <tr><td>Vegetación de galería</td><td>476</td></tr> <tr><td>Sin vegetación aparente</td><td>424</td></tr> <tr><td>Vegetación de galería</td><td>342</td></tr> <tr><td>Cuerpo de agua</td><td>225</td></tr> <tr><td>Manglar</td><td>196</td></tr> <tr><td>Selva de galería</td><td>134</td></tr> <tr><td>Acuícola</td><td>26</td></tr> </tbody> </table> <p>Gráfica 13. Vegetación y usos del suelo, superficie (ha). Fuente: Pares A.C. con datos de la serie V INEGI</p>	Vegetación y usos del suelo	Superficie (ha)	Matorral sarcococaula	109,945	Selva baja caducifolia	64,188	Matorral sarco-crasicaule	49,023	Agricultura de riego anual y semipermanente	7,965	Asentamientos humanos	5,801	Zona urbana	4,314	Vegetación halófila xerófila	2,064	Pastizal cultivado	2,030	Agricultura de riego anual	1,826	Pastizal inducido	1,614	Vegetación de dunas costeras	1,522	Mezquital xerófilo	1,465	Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarco-crasicaule	705	Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarcococaula	554	Vegetación de galería	476	Sin vegetación aparente	424	Vegetación de galería	342	Cuerpo de agua	225	Manglar	196	Selva de galería	134	Acuícola	26
Vegetación y usos del suelo	Superficie (ha)																																												
Matorral sarcococaula	109,945																																												
Selva baja caducifolia	64,188																																												
Matorral sarco-crasicaule	49,023																																												
Agricultura de riego anual y semipermanente	7,965																																												
Asentamientos humanos	5,801																																												
Zona urbana	4,314																																												
Vegetación halófila xerófila	2,064																																												
Pastizal cultivado	2,030																																												
Agricultura de riego anual	1,826																																												
Pastizal inducido	1,614																																												
Vegetación de dunas costeras	1,522																																												
Mezquital xerófilo	1,465																																												
Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarco-crasicaule	705																																												
Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarcococaula	554																																												
Vegetación de galería	476																																												
Sin vegetación aparente	424																																												
Vegetación de galería	342																																												
Cuerpo de agua	225																																												
Manglar	196																																												
Selva de galería	134																																												
Acuícola	26																																												
Áreas naturales protegidas	<ul style="list-style-type: none"> • Sitios Marinos Prioritarios • Bahía de La Paz • Ensenada de La Paz (Reserva de aves playeras) • Bahía Los Muertos • Regiones Hidrológicas Prioritarias • Sierra del Novillo (La Paz) • Áreas Naturales Protegidas • Balandra • Humedales El Mogote (Ensenada de La Paz) • Sitios Ramsar • Humedales Balandra y El Merito • Islas San José, El Pardito, San Francisco, Los Islotes, La Partida, Espíritu Santo y Cerralvo. 																																												

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES
Batimetría	La batimetría de la Bahía de La Paz se distingue por rasgos importantes que son una cuenca ovalada al norte de la bahía, con profundidades hasta de 400 m, una plataforma interna angosta con un talud pronunciado que desciende abruptamente hacia el norte de la bahía, una plataforma interna somera (profundidades menores a 50 m) de pendiente suave, en la parte sur, un umbral que se extiende entre la Isla La Partida y la Isla San Francisquito, a profundidades entre 260 y 340 m y se eleva unos 100 metros sobre el fondo de la zona norte y 500 metros sobre el talud continental del Golfo de California además de un estrecho somero entre la parte sur de la Isla Espíritu Santo y la Península de Pichilingue conocido como canal de San Lorenzo.
Características zona marina	La zona marina que corresponde a la Bahía de La Paz es un cuerpo de agua delimitada al norte por la Isla San José, al sur por la Ensenada de La Paz, al occidente por la Sierra Las Tarabillas y al oriente por las islas Espíritu Santo y La Partida; tiene forma ovalada y se orienta Noroeste-Sureste, las mayores profundidades se encuentran en su parte Noroeste, donde se alcanzan los 400 m.
Costas	En la Bahía de La Paz predominan las costas primarias, aunque también se pueden distinguir algunas costas secundarias, entre las costas primarias se pueden encontrar de erosión y depositación continental; entre las costas secundarias se observan de barrera, de manglar y rectas e irregulares moldeadas por el oleaje, la costa de la parte central de la Bahía de La Paz se clasifica como una costa de barrera separada del continente por una laguna costera, la costa oriental se demarca irregularmente debido al oleaje y ligeramente se modifica a costa secundaria por procesos marinos de erosión y depositación, se caracteriza por la presencia de ensenadas o caletas, en cuyo interior se han desarrollados rasgos secundarios como manglares, playas, dunas y pequeñas plataformas de erosión por oleaje al pie de los acantilados rocosos.
Inundaciones	<p>Las zonas más vulnerables a inundaciones son las que se encuentran en el frente costero a una altura sobre el nivel del mar menor a 50 centímetros; aquellas que están entre 50 cm y 1 m tienen un riesgo moderado; y para aquellas que se ubican por encima de 2 m de altura el riesgo es bajo. Adicionalmente, las zonas aledañas a los arroyos que bajan agua de las partes altas representan un peligro latente a los núcleos poblacionales durante la ocurrencia de tormentas.</p> <p>Aunque las inundaciones producidas por huracanes son relativamente frecuentes, registros históricos revelan que los huracanes causan inundaciones catastróficas cada 50 años aproximadamente (Martínez-Gutiérrez and Mayer,2004).</p>
Inundación por marea de tormenta	<p>Las inundaciones por marea de tormenta no han sido tan intensas como las que ocurren en otras regiones del país, sin embargo, ante un potencial aumento en intensidad debido al cambio climático, se tendrá mayor probabilidad de ocurrencia.</p> <p>En este sentido, Romero-Vadillo (2013) pronosticó a partir de modelos matemáticos mareas de tormenta de hasta 2 m ante eventos ciclónicos extremos para la Bahía de La Paz y Los Cabos. Por su parte, Muría y Vila (2015) registraron una marea de tormenta de 1.2 m durante el paso del Huracán Odile.</p>
Deslizamientos	<p>De acuerdo con el análisis de probabilidades que presenta este fenómeno y la vulnerabilidad de la población, se considera en un estatus de alto a la ciudad de La Paz, zona de Coromuel sobre la carretera escénica, Lomas de Palmira, zona sureste de la Colonia Roma y 20 de noviembre, Colonia Benito Juárez, Flores Magón, Calafia y el Cardonal en el sureste de la ciudad.</p> <p>Se considera riesgo medio el resto de las localidades, en Todos Santos particularmente las zonas altas del oriente de la ciudad colonia San Juan y al final de la calle prolongación Cuauhtémoc donde se localizan algunas viviendas, ya que el riesgo puede incrementarse con lluvias torrenciales, pues el echado de las rocas se encuentra a favor de la pendiente y en la colindancia margen oriente de la carretera La Paz-Todos Santos en el acceso norte de la ciudad colonia Las Flores.</p>

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES
Derrumbes	Las zonas de riesgo alto en el municipio están relacionadas con la ubicación de asentamientos humanos en las zonas de fallas y en el trazo de la carretera Transpeninsular Lic. Benito Juárez (MEX 01) y la carretera escénica La Paz- Los Cabos. Del análisis de la intensidad que presenta este fenómeno y la vulnerabilidad de la población se considera riesgo alto en la ciudad de La Paz sobre la carretera escénica a Pichilingue; al este de la Marina Club de Yates, entre las Fallas La Palmira y Coromuel, en Punta Caimancito sobre la carretera escénica y en El Pedregal. También son zonas de riesgo medio la colonia INFONAVIT, Pedregal de Cortéz, en la Colonia Ampliación, Navarro Rubio, Colonia Calafia, El Cardonal y Guadalupe Victoria.

Cuadro 13. Características del medio físico-biológico en la península de Baja California Sur. **Fuente:** Pares A.C. con datos de IMPLAN 2020; SECTUR, 2014; Beraud, et. al, 2009, INEGI, 2021; y Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2024.

5.3.2. Principales fenómenos hidrometeorológicos que han afectado a La Paz.

Por su ubicación, el municipio de La Paz está expuesto a los embates producidos por fenómenos naturales como son los ciclones y las precipitaciones pluviales extraordinarias que provocan inundaciones en gran parte de la ciudad. En el **Cuadro 14** se recapitulan los huracanes que han afectado al estado de Baja California Sur.

Cuadro 14. Daños ocasionados por huracanes que han impactado al estado de Baja California Sur, periodo 2000-2010. **Fuente:** Atlas de riesgos y peligros naturales del Municipio de La Paz, 2012 y perfil de resiliencia urbana, 2017, Cortés-Ramos et al. 2020

Huracán	Año	No. de víctimas	Daños (estimados en millones de pesos)	Gasto Federal autorizado FONDEN (Millones de pesos)
Juliette	2001	2.00	850.12	241.50
Marty e Ignacio	2003	4.00	764.30	270.00
John	2006	5.00	984.70	542.40
Henriette	2007	1.00	442.50	380.70
Norbert	2008	0.00	292.20	311.70
Jimena	2009	0.00	929.80	584.80
Paul	2012	0.00	1476.70	1,041.90
Odile	2014	0.00	3732.00	2,224.80
TT Lidia	2017	20.00	s/d	s/d

A lo largo de este estudio se analizarán a detalle los impactos climáticos que más afectan a la ciudad de La Paz y su entorno rural. Una síntesis de los posibles impactos y consecuencias a los que se encuentra expuesta la ciudad de La Paz ante eventos climáticos extremos se presentan en el **Cuadro 15**.

Cuadro 15. Posibles impactos y consecuencias debidas a eventos climáticos extremos en la ciudad de La Paz. **Fuente:** Pares A.C. con datos de Sectur 2014 y Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2024.

IMPACTOS Y CONSECUENCIAS
<p>Marea de tormenta, elevación del nivel del mar, inundación fluvial y refracción de oleaje</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>Vientos extremos</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>Sequía</p> <ul style="list-style-type: none"> 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
<p>Inundaciones Pluviales</p> <ul style="list-style-type: none"> Afectación en zonas habitacionales marginadas Pérdida de hábitat y biodiversidad Exceso de sedimentos en ríos y acumulación en zonas costeras
<p>Aumento de temperatura</p> <p>Incremento en las olas de calor Isla de calor urbana Incremento en las enfermedades transmitidas por vectores (dengue, sika, chikunguña, paludismo, colera, etc.)</p>

5.3.3. Características relevantes en el marco 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 16**) son los que se utilizarán en la construcción del indicador de sensibilidad socioeconómica.

Cuadro 16. Características relevantes del medio socioeconómico. Fuente: Pares A.C. con datos de los censos de población y vivienda (INEGI, 1990-2020)

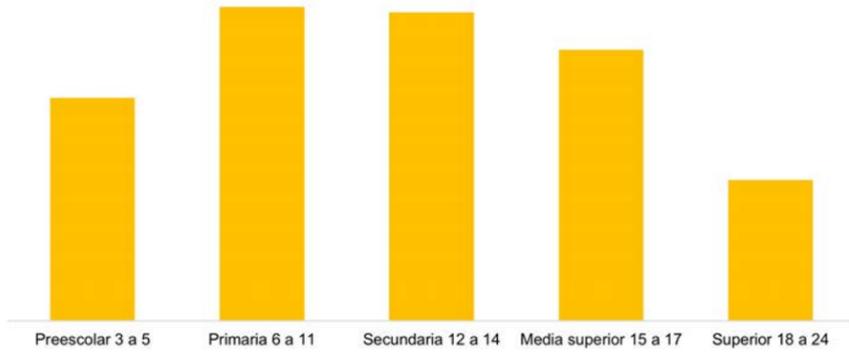
COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES										
Población	El municipio de La Paz con una población de 292,241 habitantes en 2020 fue el segundo más poblado del estado de Baja California Sur. La ciudad de La Paz, con 250,141 habitantes, es numéricamente la más grande del Estado y del municipio. En la ciudad radica 86% de la población municipal. El municipio de La Paz cuenta con 1,018 localidades que muestran una marcada polarización consistente en la dispersión-concentración poblacional, pues 994 localidades (98%) dan cobijo a 8,500 personas (3%), en tanto que en cuatro localidades -La Paz, Todos Santos, Centenario y El Pescadero- reside (92%).										
Crecimiento poblacional	<p>De las últimas tres décadas, la que sumó más población al municipio fue la transcurrida entre 2000 y 2010, en este lapso creció 28% con una estimación de su tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 2.49. La década anterior (1990-2000) creció 22% con una TCMA de 2.04, entre 2010 y 2020 aumentó su población en 16% con una TCMA de 1.5 lo que muestra una desaceleración franca en su dinámica de crecimiento.</p> <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de crecimiento poblacional</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Población</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1990</td> <td>160,970</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>196,907</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>251,871</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td>292,241</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Población	1990	160,970	2000	196,907	2010	251,871	2020	292,241
Año	Población										
1990	160,970										
2000	196,907										
2010	251,871										
2020	292,241										

COMPONENTE	ASPECTOS RELEVANTES																														
Crecimiento de la mancha urbana	<p>La urbanización se está expandiendo hacia el suroeste, en la zona baja de la cuenca de La Paz. Este crecimiento, con el consecuente sellamiento del suelo, afecta tanto la capacidad de infiltración de la cuenca, como la velocidad y el volumen de las corrientes que se forman por las tormentas tropicales y que atraviesan la ciudad hacia el mar. Asimismo, afecta la capacidad de recarga del acuífero, lo cual aumenta la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura urbana ante los impactos del cambio climático.</p>																														
Fuentes de abastecimiento de agua en viviendas particulares habitadas	<table border="1"> <thead> <tr> <th>FUENTES DE ABASTECIMIENTO</th> <th>NO. DE VPH*</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Del servicio público de agua</td> <td>85 387</td> <td>96.4</td> </tr> <tr> <td>De un pozo comunitario</td> <td>1 042</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>De un pozo particular</td> <td>782</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>De una pipa</td> <td>825</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>De otra vivienda</td> <td>148</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>De la lluvia</td> <td>68</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>De otro lugar</td> <td>51</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>No especificado</td> <td>237</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>Total de VPH* con agua entubada</td> <td>88 540</td> <td>100.00</td> </tr> </tbody> </table> <p>*VPH = viviendas particulares habitadas</p> <p>Cuadro 17. Fuentes de abastecimiento de agua.</p>	FUENTES DE ABASTECIMIENTO	NO. DE VPH*	%	Del servicio público de agua	85 387	96.4	De un pozo comunitario	1 042	1.2	De un pozo particular	782	0.9	De una pipa	825	0.9	De otra vivienda	148	0.2	De la lluvia	68	0.1	De otro lugar	51	0.1	No especificado	237	0.3	Total de VPH* con agua entubada	88 540	100.00
FUENTES DE ABASTECIMIENTO	NO. DE VPH*	%																													
Del servicio público de agua	85 387	96.4																													
De un pozo comunitario	1 042	1.2																													
De un pozo particular	782	0.9																													
De una pipa	825	0.9																													
De otra vivienda	148	0.2																													
De la lluvia	68	0.1																													
De otro lugar	51	0.1																													
No especificado	237	0.3																													
Total de VPH* con agua entubada	88 540	100.00																													

Educación

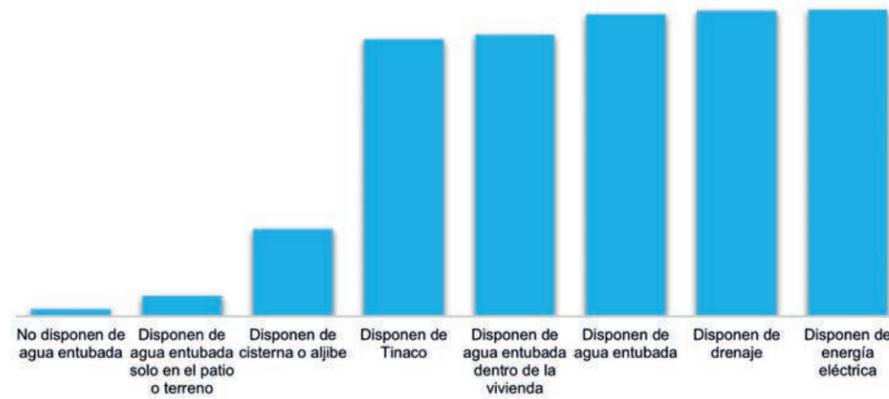
El sistema educativo del municipio atiende a 74% de la población de entre 3 a 24 años, lo que equivale a la presencia en aulas de 74,270 escolares.

Considerando las edades normativas para la asistencia a los diferentes niveles, se observa que en primaria y secundaria la cobertura es porcentualmente mayor. Se aprecian los rezagos en atención a infantes preescolares y jóvenes de nivel superior.



Gráfica 15. Asistencia escolar según edad normativa (%).

Servicios en las viviendas



Gráfica 16. Servicios y equipamiento en las viviendas de La Paz.

Bienes y tecnología de la información y comunicación en viviendas



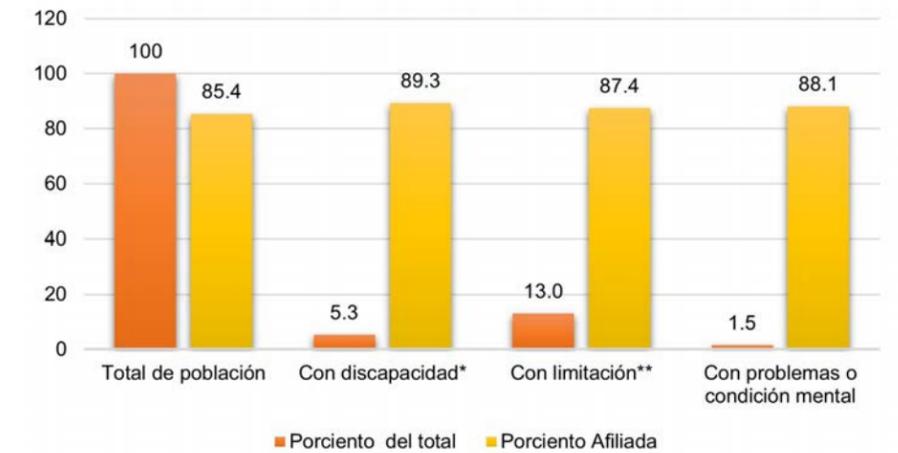
Gráfica 17. Bienes y tecnología de la información y de la comunicación en viviendas particulares habitadas (%).

Salud

La cobertura de servicios de salud en instituciones públicas y privadas beneficia en el municipio a un poco más del 85% de su población total. Lo cual implica la desprotección en este aspecto de casi 15% de los habitantes

*discapacidad: actividad cotidiana que realiza con mucha dificultad o no puede hacerla

**limitación: actividad cotidiana que realiza con poca dificultad



Gráfica 18. Afiliación a servicios de salud para población total y con algún problema de salud (%).

5.3.4. Actividades productivas

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

Uso de suelo		Unidades de Producción (UP) agropecuarias*	Superficie (ha)
Agrícola	Cultivos anuales	463	3,707
	Cultivos perennes	213	919
	No sembrada	331	30,984
	<i>Total de hectáreas con uso agrícola</i>		35,610
Pastos naturales, agostadero o enmontada		579	191,442
Bosque o selva		8	1,451**
Otros usos (Habitacional, corrales, etc)		440	1,334
Superficie agropecuaria total			229,837

*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

5.3.5. Agropecuarias

De acuerdo con información del censo agropecuario 2022 de INEGI, el municipio de La Paz cuenta con 1.5 millones de hectáreas. De éstas, 394 mil es superficie con uso o vocación agropecuaria (26%); 178 mil se registran como aprovechamiento forestal (11%); 954 mil hectáreas (63%) se registran sin uso o vocación agropecuaria o aprovechamiento forestal, (INEGI 2023). Del total de la superficie agrícola (35,610 ha) 99% utiliza algún sistema de riego: por gravedad, goteo, aspersión u otro (**Cuadro 18**).

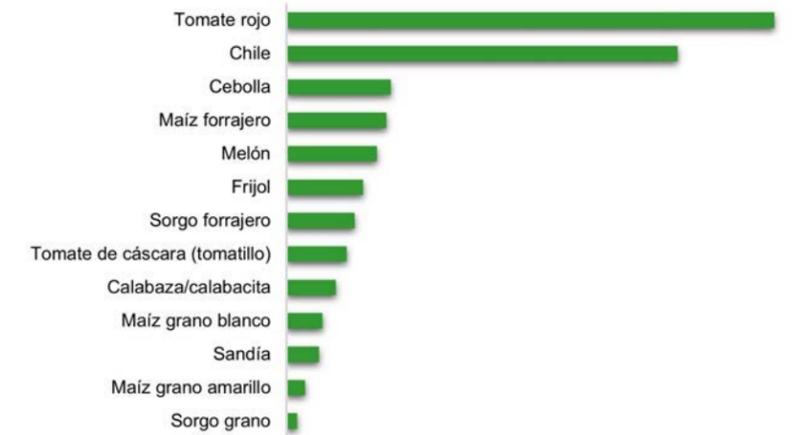
Cuadro 18. Uso de suelo unidades de producción agropecuarias activas y superficie por uso de suelo, municipio de La Paz. **Fuente:** Pares A.C. con datos de INEGI Censo Agropecuario 2022.

COMPONENTE

ASPECTOS RELEVANTES

Uso agrícola

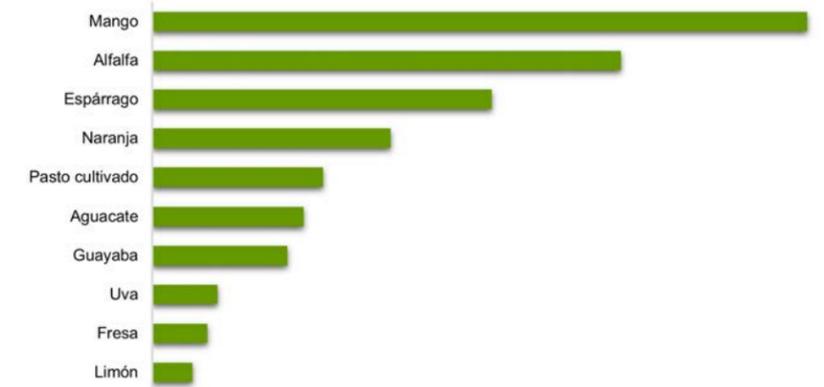
Datos referidos al año agrícola que va de octubre de 2021 a septiembre de 2022 indican que 560 Unidades de Producción (UP) agropecuarias activas sembraron 3,936 ha a cielo abierto, de las cuales 96% tuvieron modalidad de riego, y solo el 4% fue sembrado de temporal. Cultivos anuales se sembraron en 1,864 hectáreas de las que se obtuvieron un poco más de 70 mil toneladas de los diferentes productos, generando una productividad media de 38.2 toneladas por hectárea cosechada.



Gráfica 19. Superficie sembrada (ha) de los principales cultivos anuales.

Cultivos perennes

A diferencia de los cultivos anuales, los principales cultivos perennes del municipio apenas figuran en la participación de la entidad. El mejor posicionado es el mango con 19% de superficie cultivada y 17% de la producción; alfalfa, naranja y fresa participan con entre 2 y 3% en ambos indicadores.

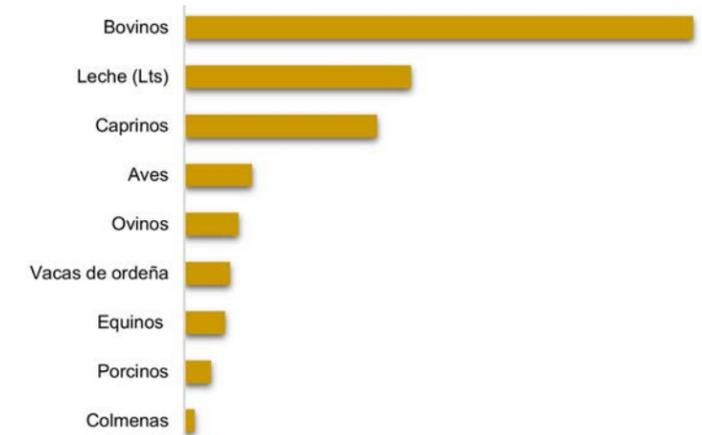


Gráfica 20. Superficie sembrada (ha) de los principales cultivos perennes.

Pecuario

La Paz tiene el hato de bovinos más grande del Estado, con 39% del total; es primero en vacas de ordeña (40%), en equinos (42%), colmenas (45%), y aves (34%); es el segundo productor de leche con (26%), en existencias de porcinos (22%), ovinos (32%) y caprinos (27%).

En el caso del ganado, se refiere al número total de cabezas de cualquier edad, sexo o función zootécnica.



Gráfica 21. Existencias pecuarias.

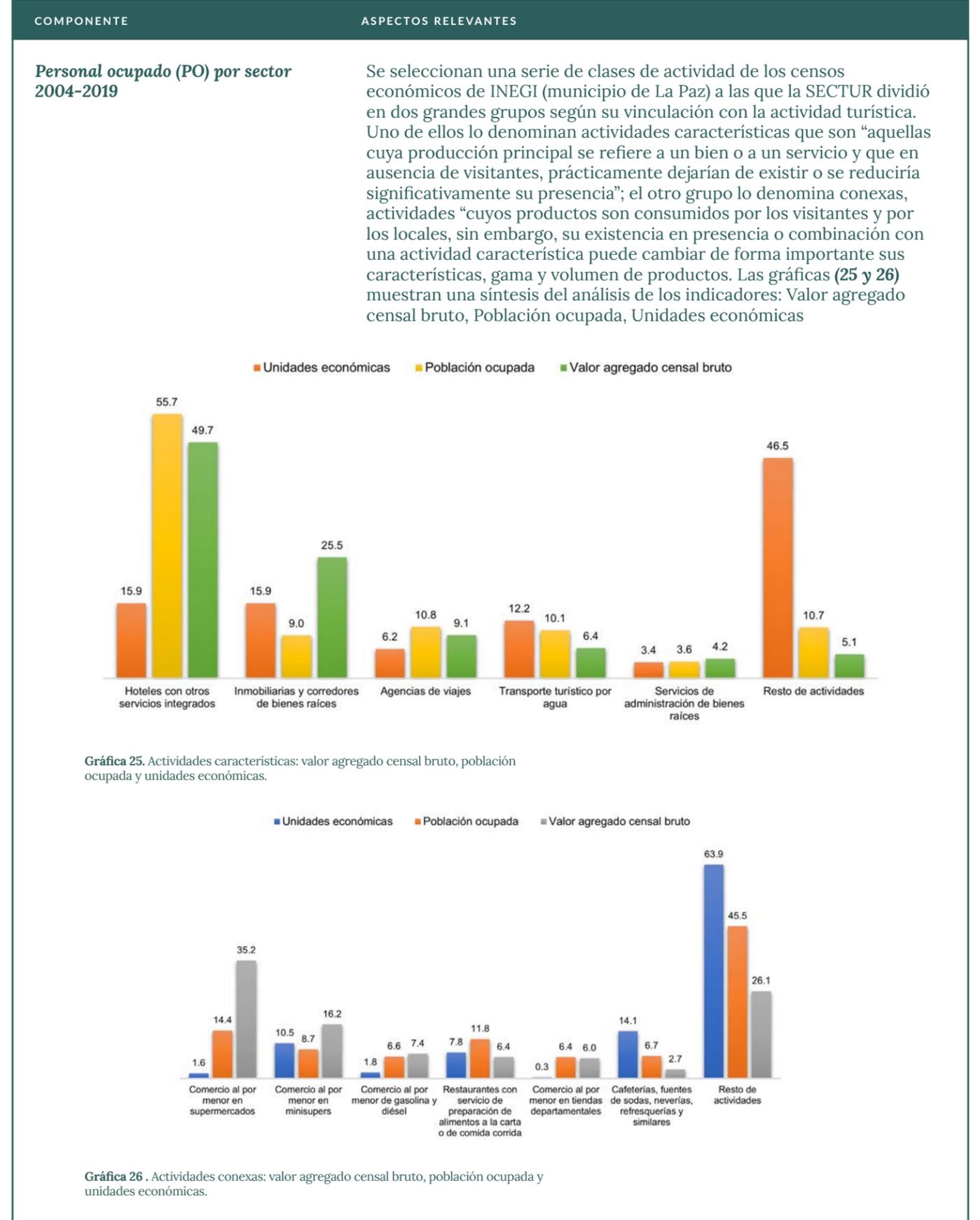
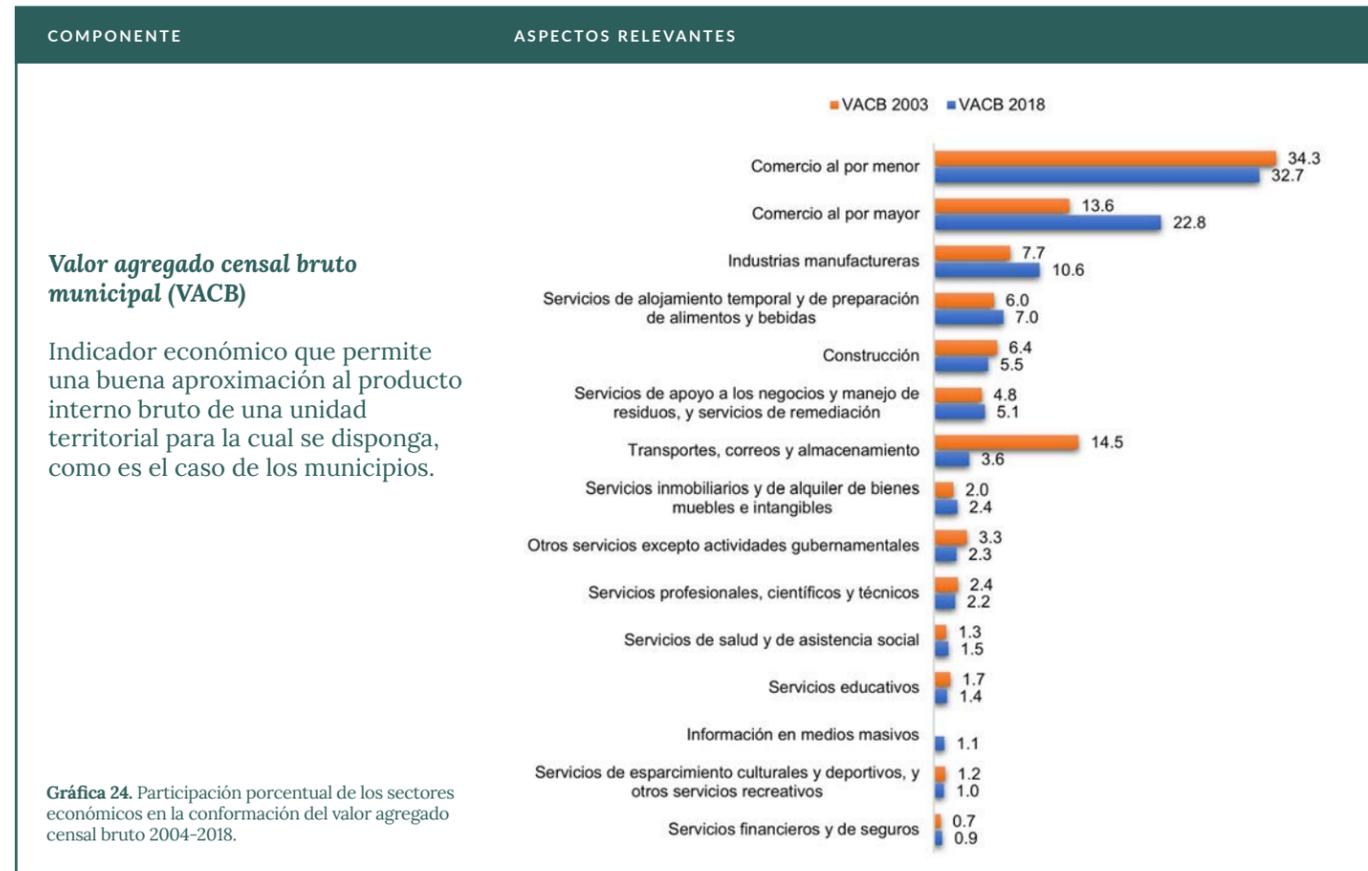
5.3.6. Sectores productivos secundario y terciario

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:

- a) número de unidades económicas,
- b) personal ocupado y
- c) valor agregado censal bruto. Esta última variable utilizada por distintos investigadores e instituciones como una aproximación al producto interno bruto.

Durante el periodo analizado las unidades de producción pasaron de 7,122 a 12,010 lo que significa un crecimiento de 4,888 equivalente a 69%; el personal ocupado se incrementó en 27,602, o 67%. En el **Cuadro 20**, se muestra como se distribuyó este crecimiento entre los distintos sectores económicos en el municipio.

Cuadro 20. Aspectos relevantes de los sectores secundario y terciario. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI Censo Agropecuario 2022.



5.4. Marco metodológico para evaluar 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, las actividades productivas y la infraestructura, 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 25**.



Figura 25. Ruta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad socioambiental. Fuente: Pares A.C. basado en (McCarthy, Canziani, Leary, 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, así 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 morfométricos 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 un grupo 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 21**.

Cuadro 21. Expertos que han apoyado el desarrollo de modelo multivariados y la determinación de pesos ponderados

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

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

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 (**Figura 26**) 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.

Los mapas temáticos elaborados para realizar esta modelación se muestran en las **Figuras 27, 28 y 29**.

Figura 26. Modelo de potencial natural de derrumbes: variables y pesos ponderados. Fuente: Pares, A.C

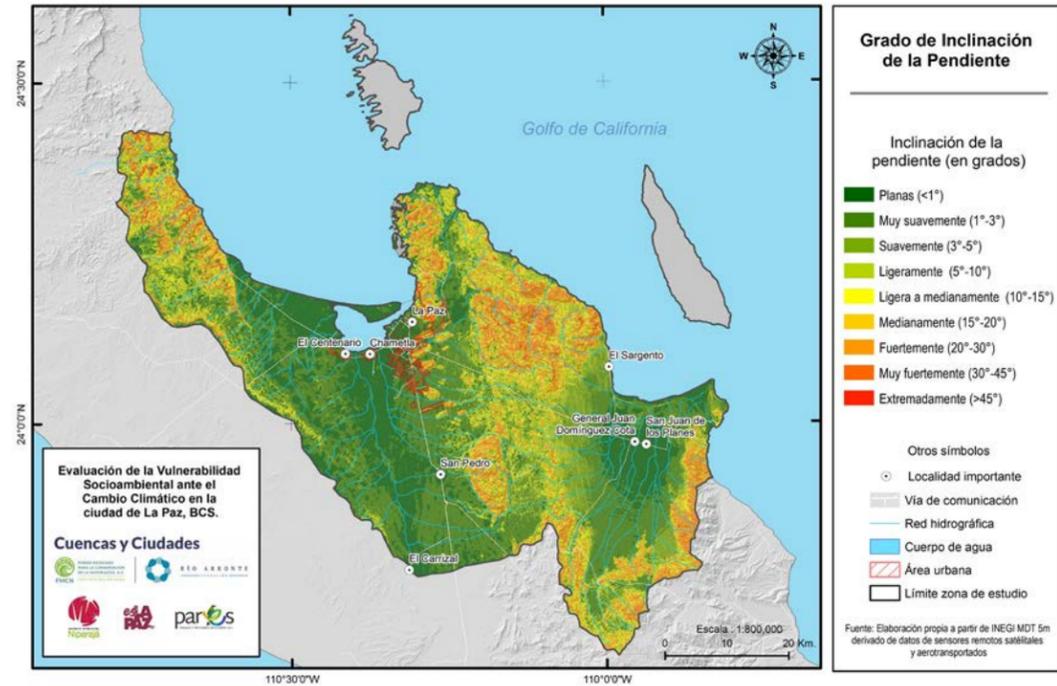
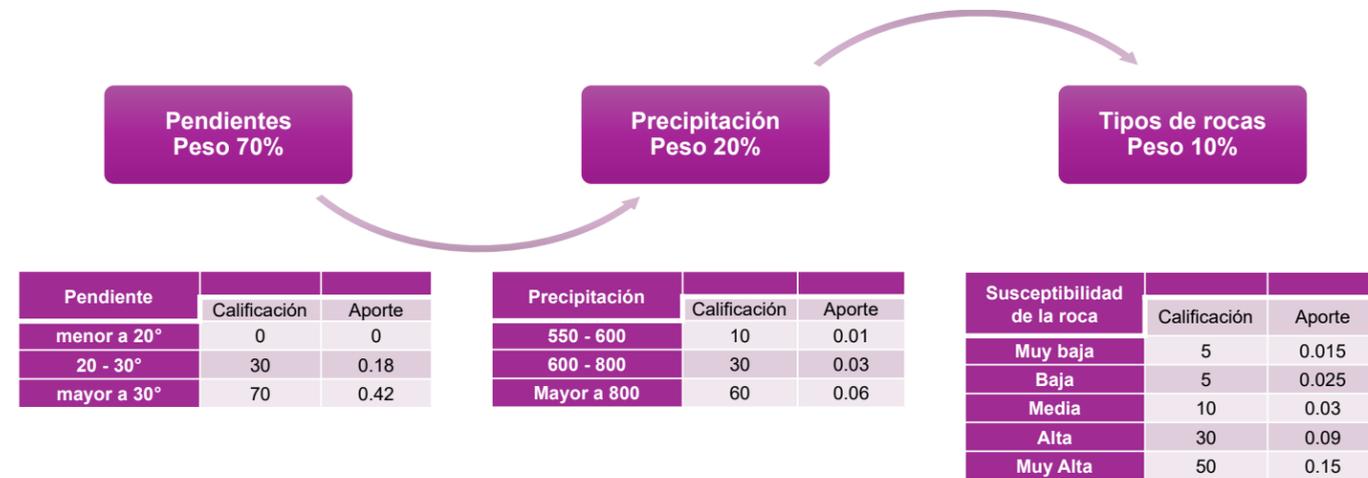


Figura 27. Grado de inclinación de la pendiente. Fuente: Pares A.C. con información de INEGI, 2015.

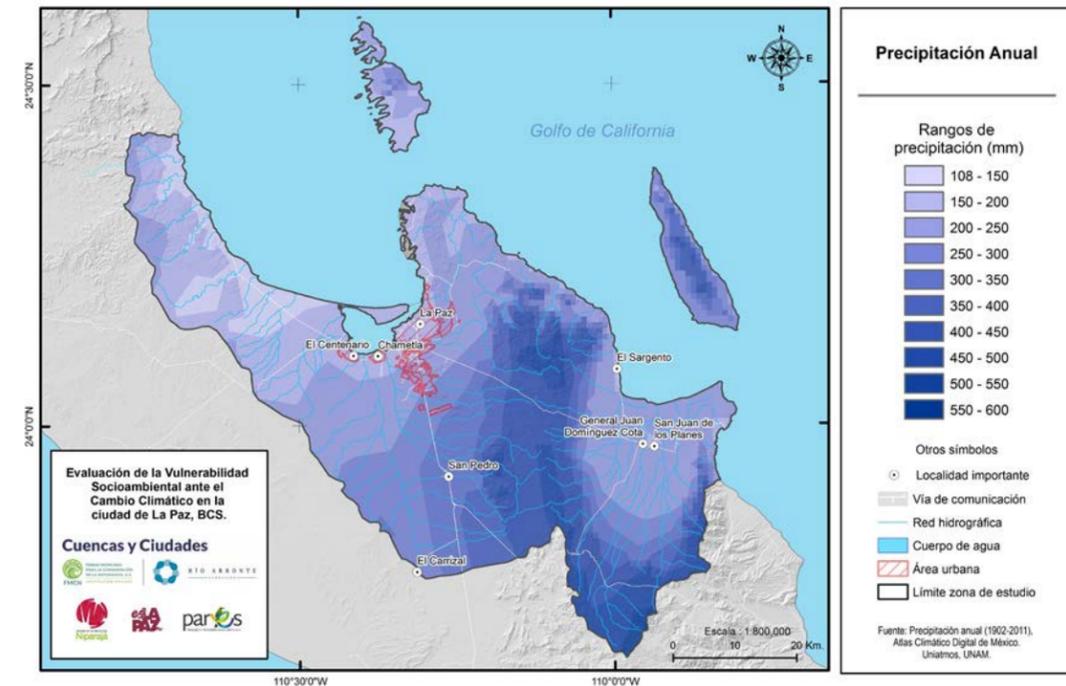


Figura 28. Precipitación anual. Fuente: Pares A.C. con datos del Atlas Climático digital de México, UNIATMOS, UNAM 1902-2011.

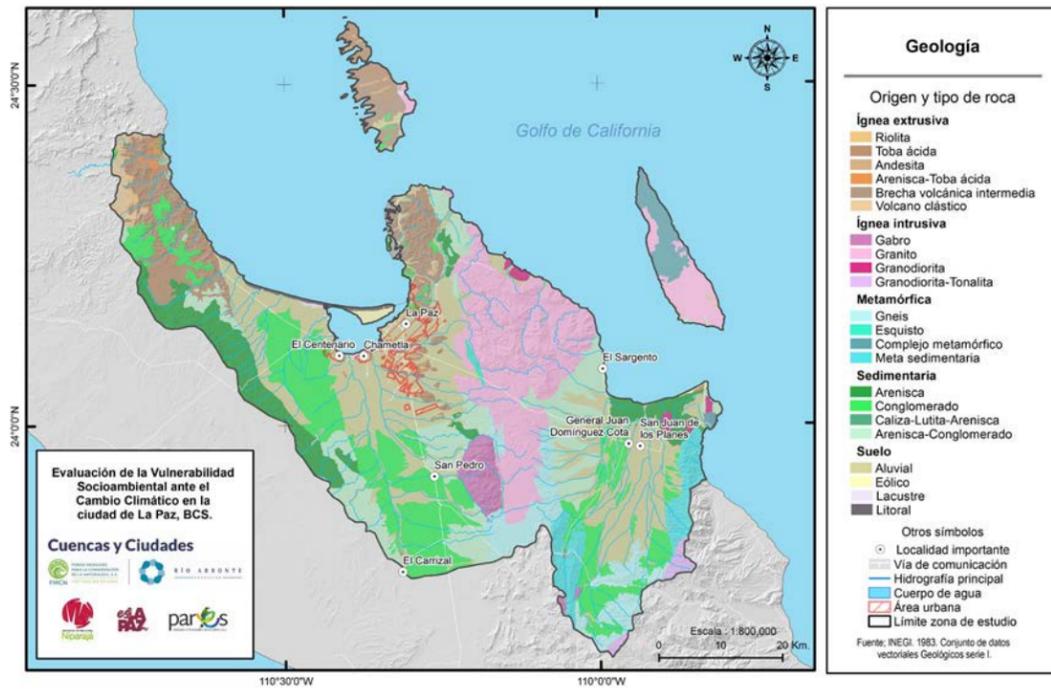


Figura 29. Tipos de rocas. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 1983.

De acuerdo con el IMPLAN La Paz (2018),

“... las zonas de riesgo alto en el municipio están relacionadas con la ubicación de asentamientos humanos en las zonas de fallas y en el trazo de la carretera Transpeninsular Lic. Benito Juárez (MEX 01) y la carretera escénica La Paz-Los Cabos. Del análisis de la intensidad que presenta este fenómeno y la vulnerabilidad de la población se considera riesgo ALTO en la ciudad de La Paz sobre la carretera escénica a Pichilingue; al este de la Marina Club de Yates, entre las Fallas La Palmira y Coromuel, en Punta Caimancito sobre la carretera escénica y en El Pedregal. También son zonas de riesgo medio la colonia INFONAVIT, Pedregal de Cortéz, en la Colonia Ampliación Navarro Rubio, Colonia Calafia, El Cardonal y Guadalupe Victoria”.

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.

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 del relieve, 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 30).

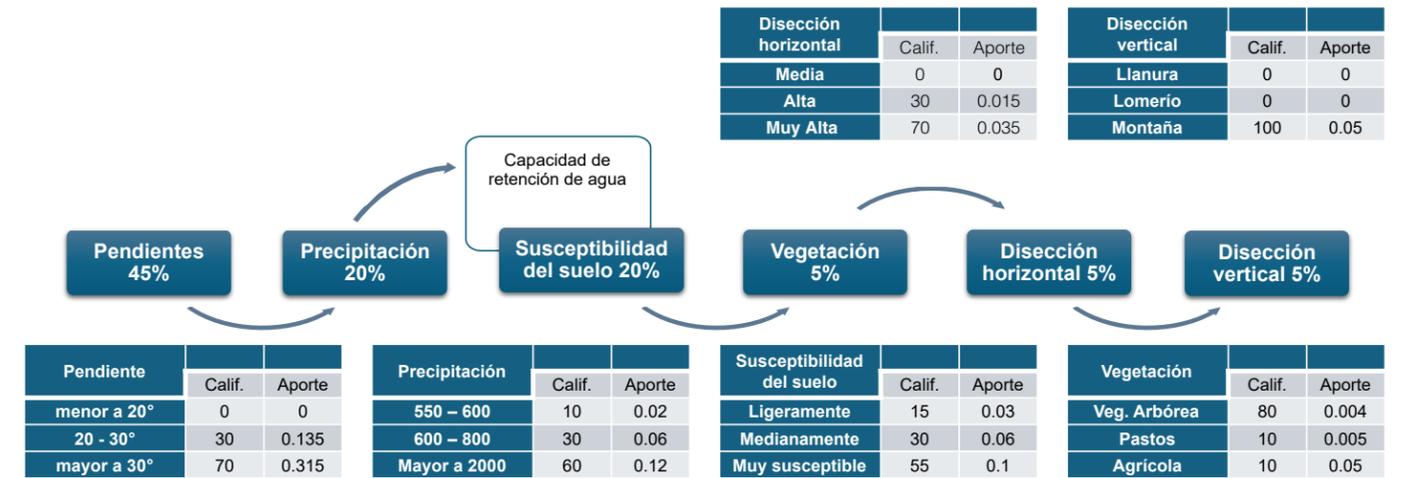


Figura 30. Modelo de potencial natural de deslizamientos: variables y peso ponderado. Fuente: Pares, A.C.

En este modelo, la susceptibilidad del suelo al deslizamiento se califica en función de su textura de acuerdo con el Cuadro 22.

Cuadro 22. 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 incluyen al grado de inclinación de la pendiente (Figura 27), precipitación anual (Figura 28) y los que se muestran a continuación.

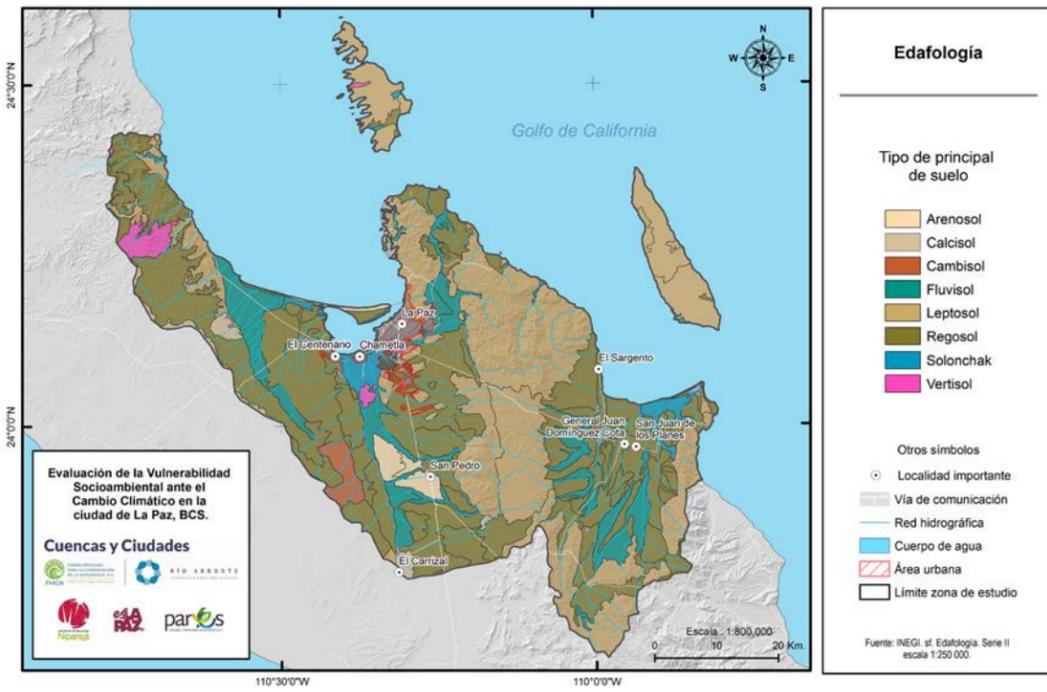


Figura 31. Tipos de suelo. Fuente: Pares A.C. con datos INEGI, 2007.

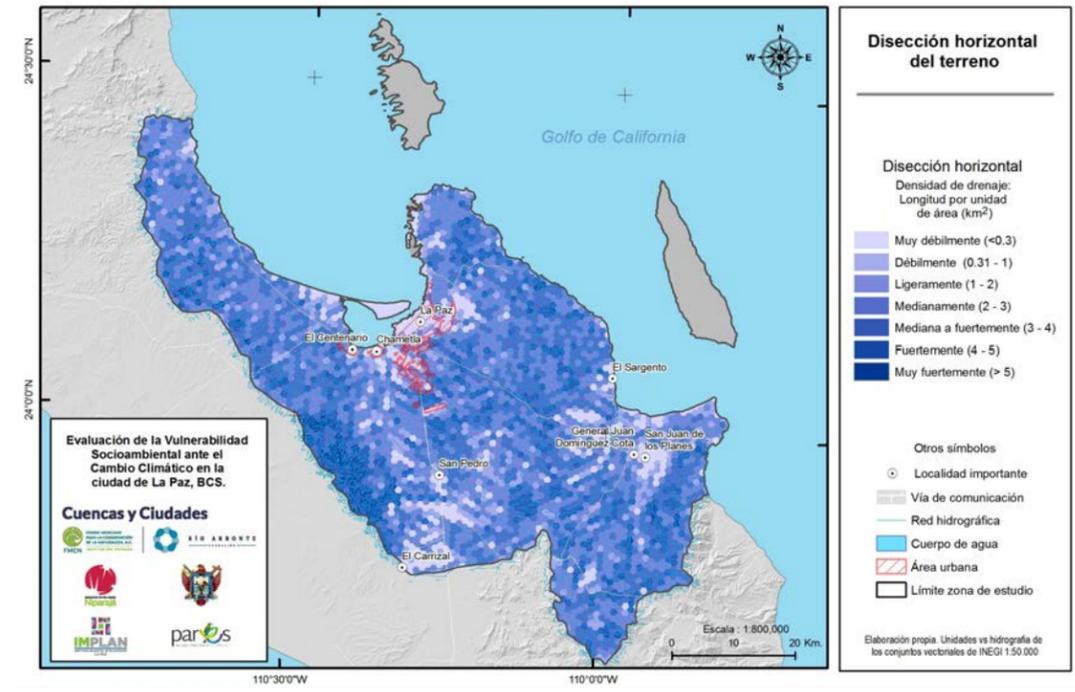


Figura 33. Diseción horizontal. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 2021.

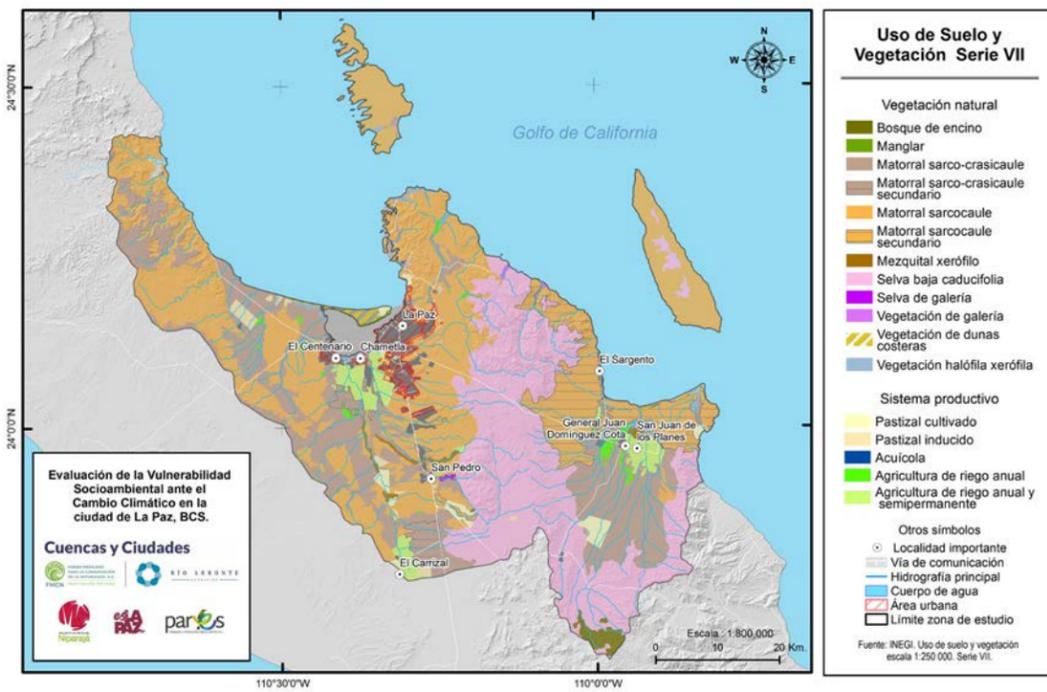


Figura 32. Uso de suelo y vegetación. Fuente: Pares A.C. con datos de Sentinel, 2024.

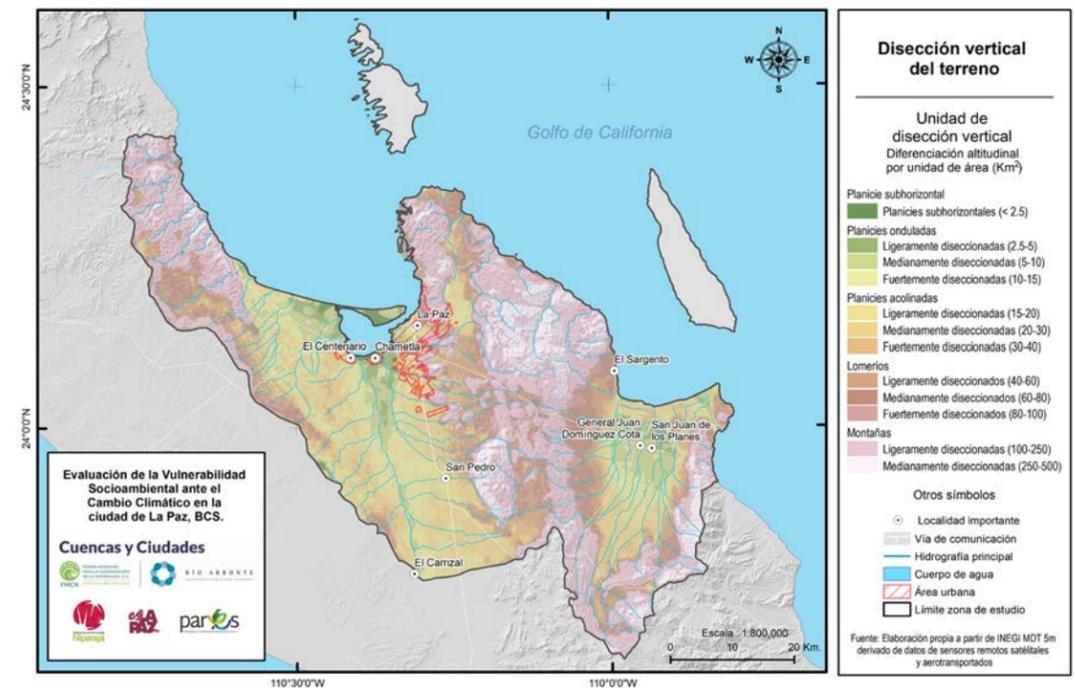


Figura 34. Diseción vertical. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI, 2015.

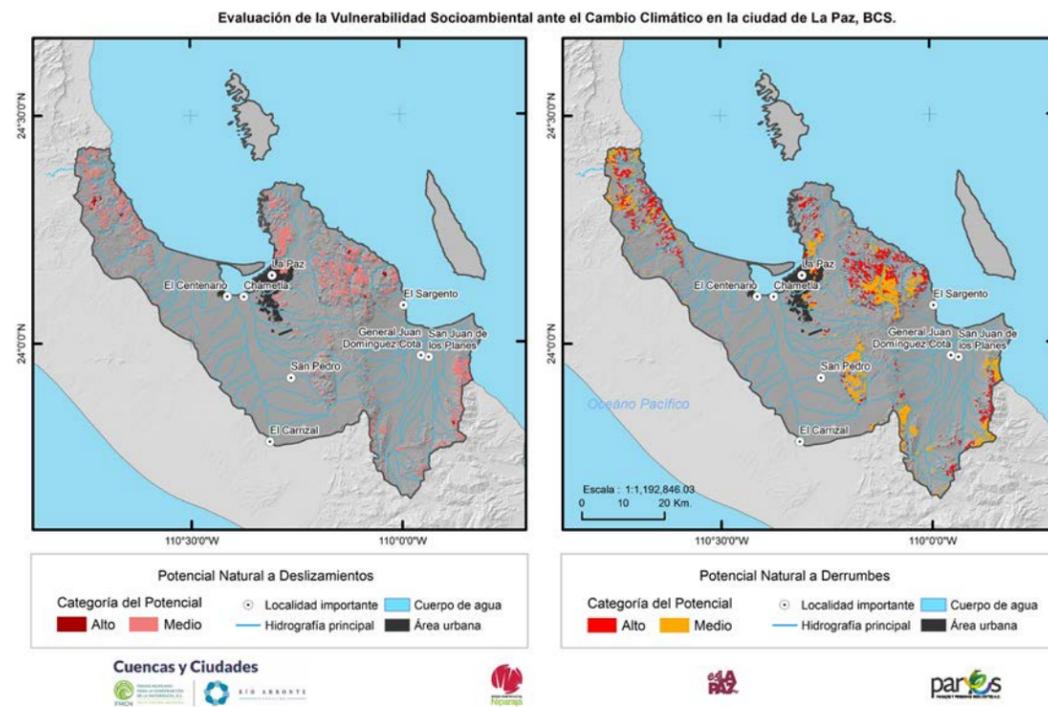
El IMPLAN La Paz (2018), plantea que del análisis de probabilidades que presenta este fenómeno y la vulnerabilidad de la población se considera en un estatus de alto peligro a la ciudad de La Paz en: zona de Coromuel sobre la carretera escénica, Lomas de Palmira, zona sureste de la Colonia Roma y 20 de Noviembre, Colonia Benito Juárez, Flores Magón, Calafia y el Cardonal en el sureste de la ciudad.

Se considera riesgo medio el resto de las localidades, en Todos Santos particularmente las zonas altas del oriente de la ciudad colonia San Juan y al final de la calle prolongación Cuauhtémoc donde se localizan algunas viviendas, ya que el riesgo puede incrementarse con lluvias torrenciales, pues el echado de las rocas se encuentra a favor

de la pendiente y en la colindancia margen oriente de la carretera La Paz-Todos Santos en el acceso norte de la ciudad colonia Las Flores.

El análisis del potencial 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 (**Figura 35**). 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 36**.

Figura 35. Potencial de derrumbes y deslizamientos. **Fuente:** Pares, A.C.



En la **Figura 35** se puede observar la coincidencia de la mayoría de los territorios donde potencialmente se pueden presentar estos dos peligros, aunque en la categoría de alto potencial predominan los derrumbes por la superficie que ocupan (8,012.45 ha) en comparación con los deslizamientos (467.06 ha). El peligro medio predomina en ambos con 9,986.24 ha en los derrumbes y 10,433.43 ha en los deslizamientos (**Cuadro 23**).

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	8,012.45	2.2%	Alto	467.06	0.1%
Medio	9,986.24	2.8%	Medio	10,433.43	2.9%

Cuadro 23. Superficie y % de la zona de estudio que se encuentran en categorías alta y media. **Fuente:** Pares, A.C.

5.5.3. Potencial natural de inestabilidad de laderas

Para construir el potencial de inestabilidad de laderas (**Figura 36**) se combinaron los mapas de peligro potencial de derrumbes y deslizamientos (**Figura 35**) mediante un cruce de las categorías según se muestra en la siguiente matriz:

		Derrumbes			
		Alto	Medio	Bajo	Sin derrumbes
Deslizamiento	Alto	Alto	-	-	Alto
	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
	Bajo	Medio	Medio	Bajo	-
	Sin desplazamiento	Alto	Medio	Bajo	-

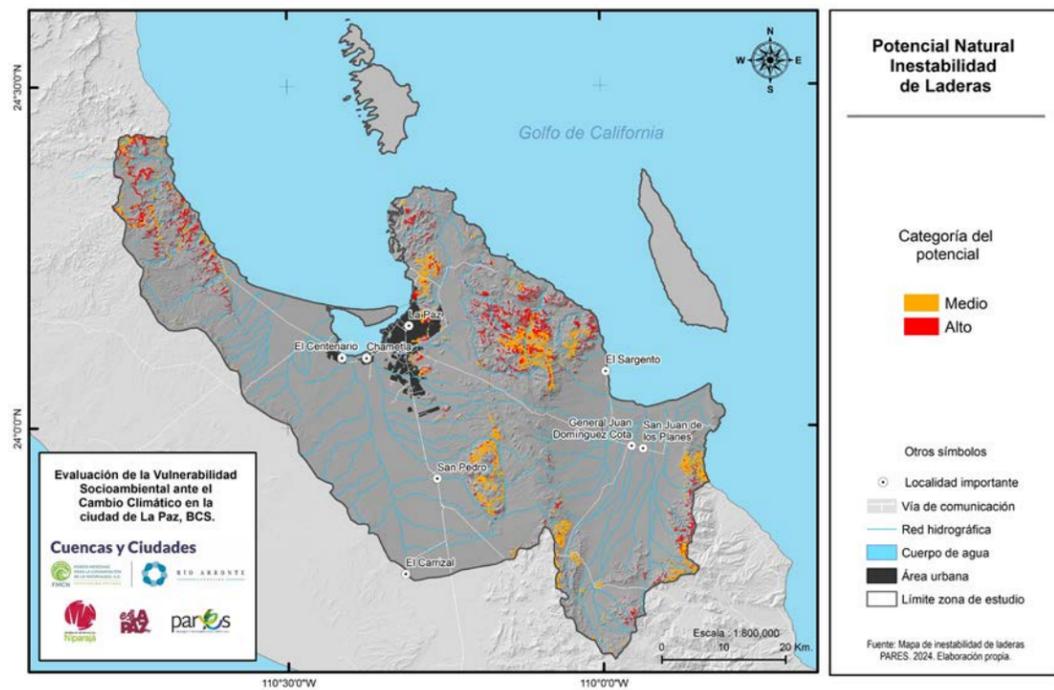


Figura 36. Potencial de inestabilidad de laderas. Fuente: Pares A.C. con datos INEGI, 2007.

En la **Figura 36** se destaca que el mayor potencial de inestabilidad de las laderas se localiza en las zonas serranas ubicadas hacia el este-noreste de la zona urbana (Las Cruces), así como al sur y norte de ésta. Es importante resaltar que en áreas donde ya se identifica el crecimiento de asentamientos humanos, en el oriente (Rinconada Agustín Olachea) y al sur de la ciudad (colonias Roma y Lic. Benito Juárez, ambas asentadas cerca del cerro Atravesado), ya existe el peligro de inestabilidad de laderas por lo que debe ser un factor a considerar al definir las zonas con aptitud para el crecimiento urbano.

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 rápidamente 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 obtienen son cuantitativos (toneladas de suelo / ha / año), mientras que en este modelo se busca obtener el potencial natural de erosión. En la **Figura 37** se puede apreciar el modelo conceptual para evaluar este peligro.

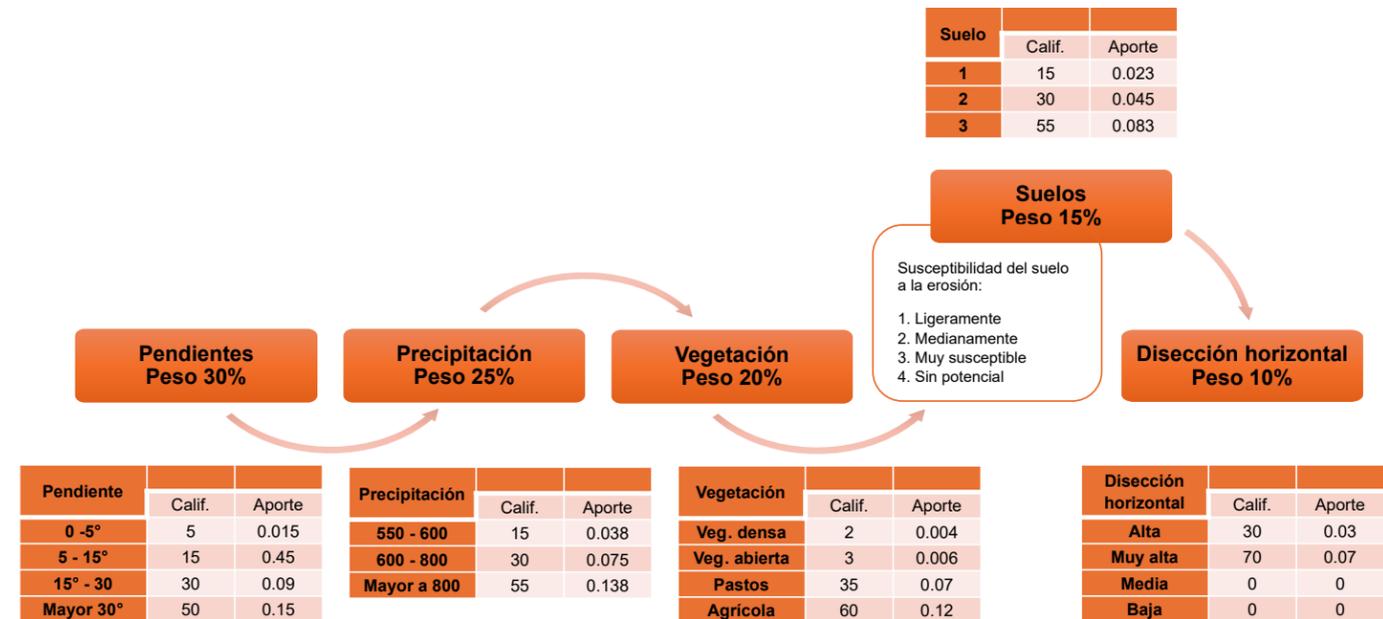


Figura 37. Modelo de potencial natural de erosión: variables y pesos ponderados. Fuente: Pares, A.C.

La modelación de este peligro toma en cuenta variables como: pendientes (**Figura 27**), precipitación (**Figura 28**), tipos de suelo (**Figura 31**) tipo de vegetación (**Figura 32**), y disección horizontal (**Figura 33**).

Cabe aclarar que tanto el grado de inclinación de las pendientes, como la disección horizontal son índices morfométricos que facilitan la comprensión de los procesos físico-biológicos en el territorio. El análisis morfométrico es el estudio de variables de superficie, de relieve y drenaje, que permite conocer las características físicas de la cuenca, permitiendo realizar comparaciones.

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.

El potencial natural de erosión de la zona de estudio (**Figura 38**) muestra las zonas que por sus características naturales tienen mayores posibilidades de verse afectadas por este proceso, destacando las áreas que por su topografía presentan las mayores pendientes como son los lomeríos hacia el este (Las Cruces) y sur de la zona urbana Sierra El Novillo. Se hace énfasis en el peligro medio en la zona sur occidental cercana a la ciudad, destinada en su mayoría a actividades agrícolas por ser en la que se concentran los mayores escurrimientos como se aprecia en la red hidrológica.

Si bien el peligro medio ocasiona impactos relativamente menores que el alto, es importante tener en cuenta que ocupa el (13.7 %) del total del territorio, equivalente a casi 50,000 hectáreas. Este hecho indica la necesidad de restaurar esos suelos para que no cambien a la categoría de alto potencial erosivo, (**Cuadro 15**).

Categoría peligro por inestabilidad de laderas	Superficie (Ha)	% la zona de estudio
Alto	4,407.6	1.2%
Medio	49,837.6	13.7%

Cuadro 24. Superficie con potencial natural de erosión alto y medio. Fuente: Pares, A.C.

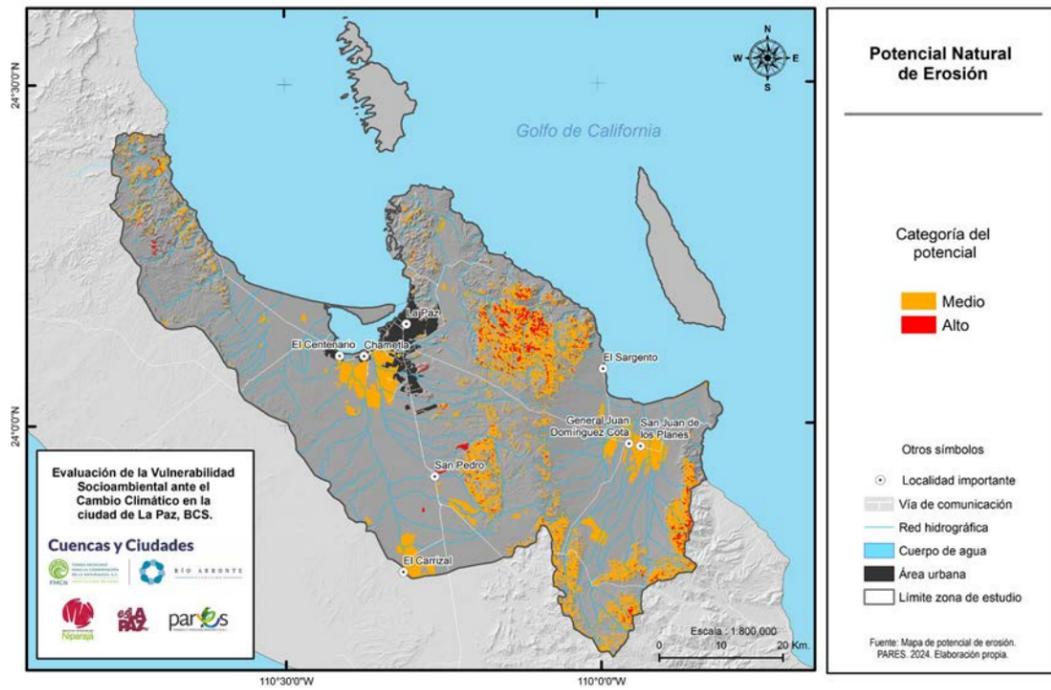


Figura 38. Potencial natural de erosión. Fuente: Pares A.C.

5.5.5. Potencial natural de Inundación

Para construir el potencial natural de inundación se partió de la información obtenida del Atlas Nacional de Riesgos por inundación Región Noroeste elaborado para la ciudad de La Paz para un evento con período de retorno de 10 años (Figura 39).

El mayor potencial de inundación está vinculado a la presencia de arroyos intermitentes que por la conformación del terreno y las fallas presentes, la mayoría se orientan hacia donde se localiza la zona urbana. Algunos de estos cauces incluso han sido modificados por el crecimiento de

la ciudad, lo que ha limitado su función natural al disminuir o incluso desaparecer el cauce original. Destaca la concentración de escurrimientos y por tanto el potencial de inundación en la zona donde se ubica la localidad de Chametla y la zona sur del poblado El Centenario, ambos conurbados a la ciudad, con presencia de arroyos importantes como El Cajoncito, El Calandrio, El Novillo y La Palma. En esta zona se identifican usos del suelo de agricultura de riego anual y semipermanente cercanas al occidente de la ciudad y que se benefician de la concentración de escurrimientos.

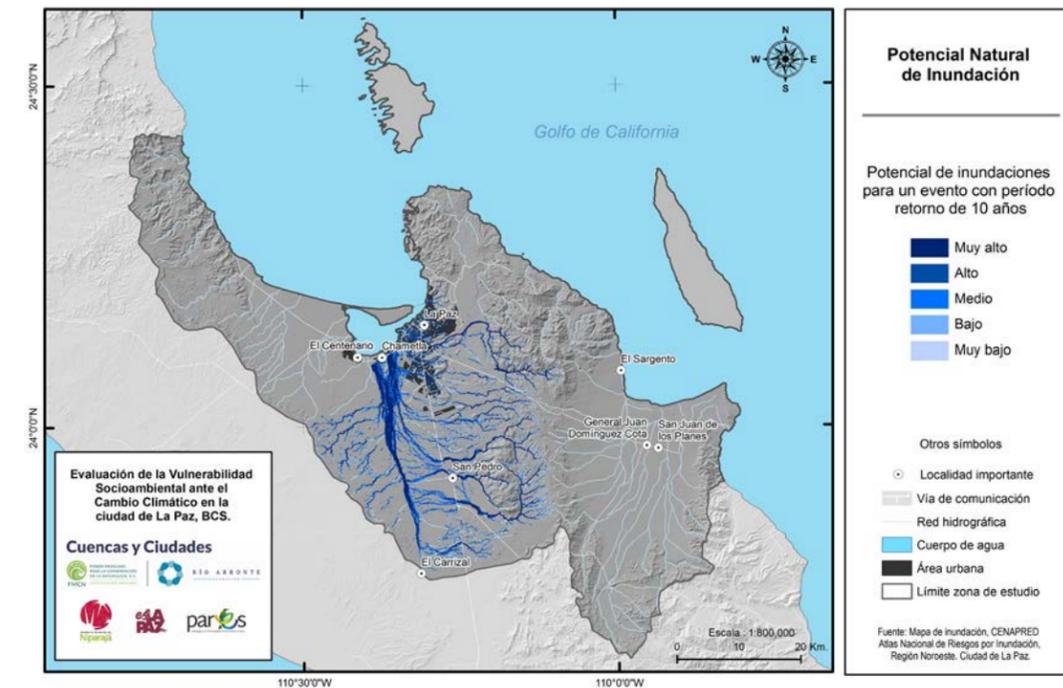
Cuadro 25. Categorías de inundación para un periodo de retorno de 10 años en el área de estudio. Fuente: Pares, A.C.

Peligro de Inundación		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje
Muy Alto	47.23	92.66
Alto	268.10	304.26
Medio	159.79	163.3
Bajo	1057.17	862.24
Muy bajo	3002.74	967.45

De acuerdo con IMPLAN (2018), ...” se estiman 37 colonias de alto riesgo por inundación, considerando 9 de más alto riesgo; asentamientos ubicados en la parte baja del cerro "El Orégano" donde se presenta un fenómeno de ocupación irregular como la colonia Benito Juárez, así como las colonias Márquez de León, Agua Escondida, Cardonal, Luis Donald Colosio, Solidaridad, El Calandrio, Fraccionamientos la Fuente y Santa Fe, en la zona sureste también se consideran zonas susceptibles de inundación,

las riberas de los arroyos, las zonas aledañas a los bordos de protección, así como el poblado Chametla y la zona sur del poblado El Centenario, ambos conurbados con presencia de arroyos importantes como El Cajoncito, El Calandrio, El Novillo y La Palma”.

Figura 39. Potencial natural inundación. Fuente: Pares, A.C. con datos de CENAPRED, 2019. Atlas Nacional de Riesgos por inundación, Región Noroeste



5.5.6. Potencial natural de marea de tormenta

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 al 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 a un 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 arroyos, o afectaciones en caminos y tramos carreteros, así como inundaciones en zonas bajas y saturación de drenajes en zonas urbanas. El potencial natural de marea de tormenta se elaboró a partir de datos de dos escenarios de probabilidad (Figura 40) propuestos por CENAPRED (2019), el potencial de inundación por marea de tormenta puede observarse en la Figura 41.

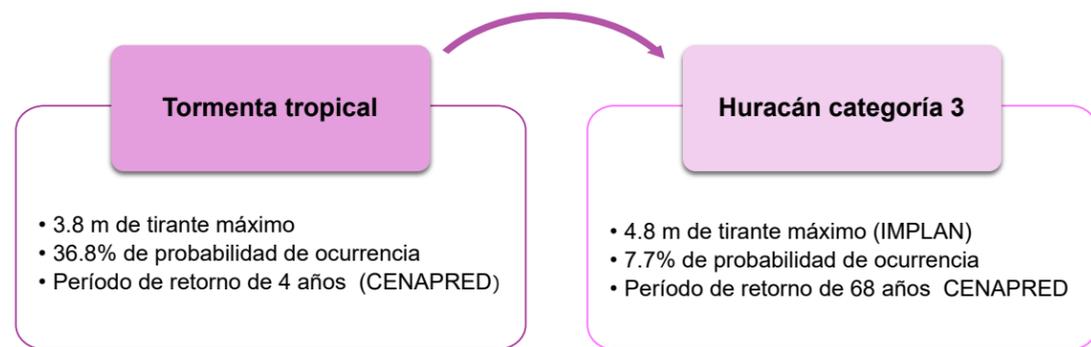


Figura 40. Modelo de peligro de inundación por marea de tormenta en escenarios extremos. Fuente: Pares A.C.

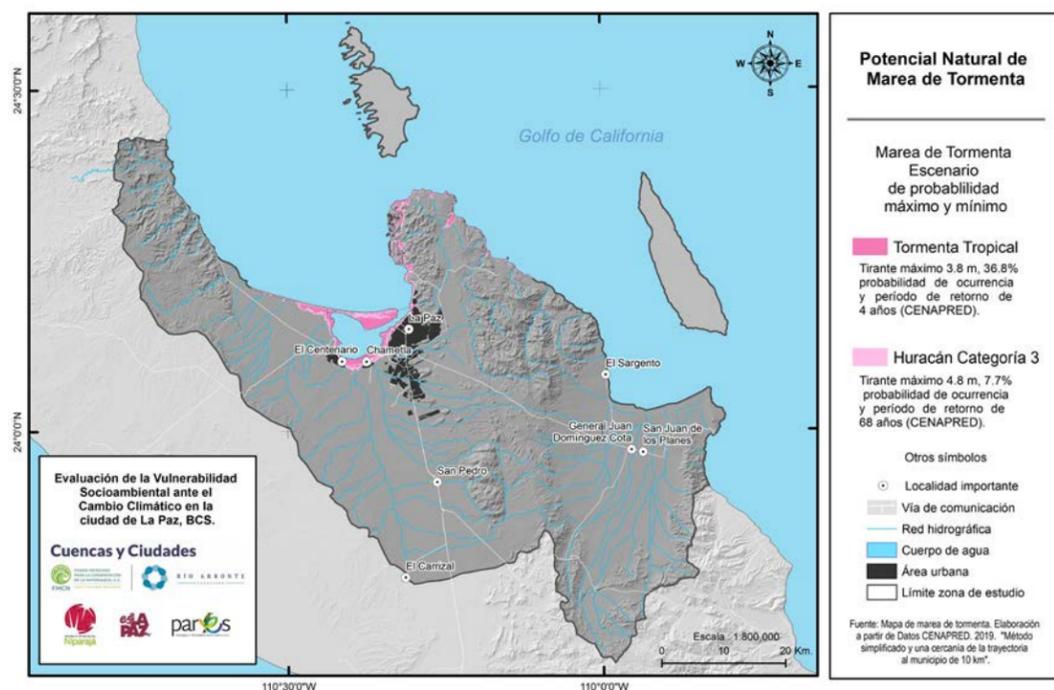


Figura 41. Potencial natural de marea de tormenta. Fuente: Pares, A.C. con datos de CENAPRED, 2019.

El mayor peligro ante una marea de tormenta se localiza en la zona costera de la ciudad de La Paz, particularmente en El Mogote y El Zacatal, así como en la conurbación con Chametla, La Selva Fidepaz y el malecón, incluyendo la zona centro de la ciudad. Fuera de la zona urbana y hacia el nororiente de ésta, se aprecia peligro en la Bahía de Pichilingue y la playa de Balandra (Figura 41).

Como se describió en el capítulo correspondiente al análisis climatológico y de acuerdo con IMPLAN (2018),

“el clima en esta región presenta variantes, tomando en cuenta que es una zona con la precipitación anual más baja del país, por otra parte, está expuesto a la presencia de fenómenos hidrometeorológicos que se originan en el Pacífico nororiental, los cuales generan precipitaciones muy altas

en lapsos muy cortos, en la temporada de ciclones tropicales, la ciudad de La Paz ha padecido históricamente los daños provocados por estos meteoros que se conforman principalmente por fuertes vientos, mareas altas, inundaciones y escurrimientos súbitos ocasionados por las intensas lluvias, así como los efectos de las tormentas eléctricas. Conforme a los datos del Sistema Meteorológico Nacional, para el Estado de Baja California Sur, se han recibido el impacto de 18 huracanes en el periodo 1970-2014, 16 huracanes moderados categorías I-II y 3 huracanes intensos categoría IV, así como 8 depresiones tropicales y 13 tormentas tropicales, sumando un total de 38 eventos, con su propio

historial de daños, afectando particularmente a los municipios de Comondú, La Paz y Los Cabos”.

El Cuadro 26 indica las superficies con potencial natural de marea de tormenta que si bien son pequeñas, cerca de 2% del área de estudio, su impacto en la población y la zona turística es muy importante.

Cuadro 26. Superficies y % por tipo de evento (marea de tormenta) Fuente: Pares, A.C.

Tipo de evento	Superficie (Ha)	Porcentaje
Huracán categoría 3	4,120.43	1.1%
Tormenta tropical	3,126.78	0.9%

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) para 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 H3, es decir, se suman los peligros para identificar las zonas donde éstos se acumulan (Figura 42). Posteriormente, a estos peligros acumulados se les sobreponen la población, los sistemas productivos y los ecosistemas para conocer la cantidad de personas que están altamente expuestas, así como las superficies de sus bienes.

- Sistema productivo se consideraron las clases de: Acuícola, agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semipermanente, pastizal cultivado y pastizal inducido.
- Sistema natural consideró los siguientes tipos de vegetación: bosque de encino, manglar, matorral sarco-crasicaule y sarcocaule, mezquital xerófilo, selva baja caducifolia, selva y vegetación de galería, y vegetaciones de dunas costeras, halófila y xerófila.

Los mapas del sistema productivo y del sistema natural se generaron a partir del mapa de uso de suelo y vegetación de la serie VII de INEGI mediante una reclasificación de las categorías:

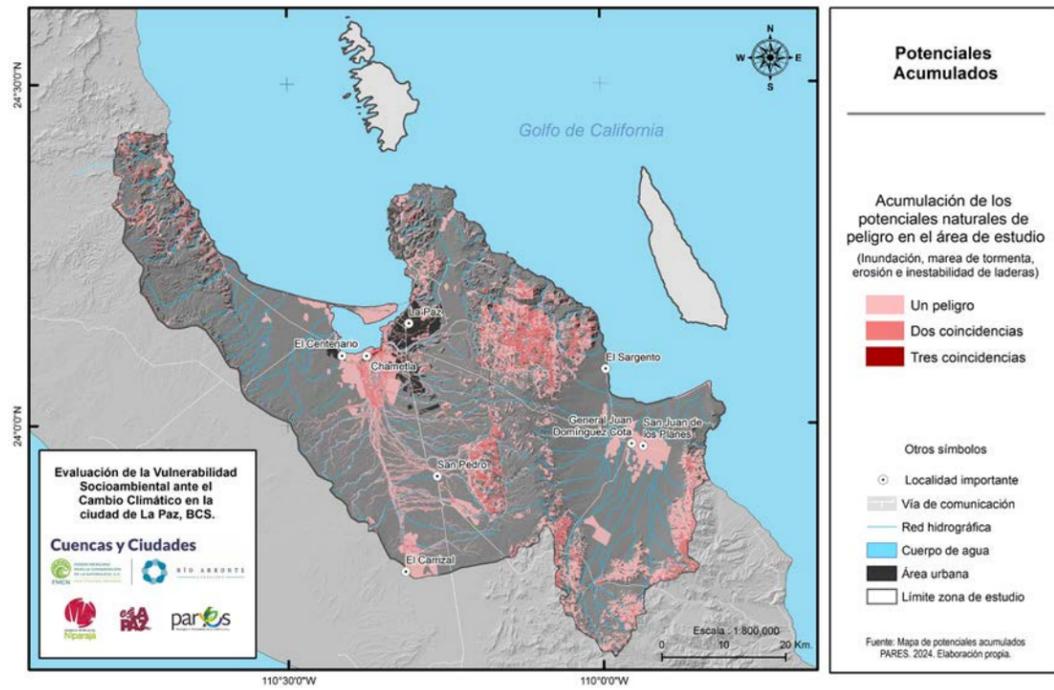


Figura 42. Potencial de peligros acumulados. Fuente: Pares, A.C.

5.6.1. Exposición de la población

Para determinar el número de habitantes expuestos a los peligros acumulados utilizamos el Inventario Nacional de Vivienda con la información del último Censo (INEGI 2020) agregado a nivel de manzana. Al mapa de manzanas de la zona urbana se le sobrepone el mapa de peligros acumulados para encontrar las colonias o fraccionamientos donde la población puede sufrir alguna afectación por la exposición a estos peligros.

El mapa de manzanas de INEGI se sobrepone con el mapa de peligros acumulados, de tal manera que las áreas intersectadas corresponden a las zonas que podrían tener un mayor potencial de peligros por eventos climáticos. Por manzana se determina la superficie afectada y se divide entre la superficie total de la misma, obteniendo así un valor de proporción de afectación. Asumiendo que el número de habitantes en una manzana sea homogéneo utilizamos la proporción antes calculada para encontrar el porcentaje correspondiente al número de habitantes expuestos por una simple regla de tres (Figura 43).

Algunos de los resultados más significativos de la exposición de la población muestran un total de 29,825 personas expuestas distribuidas en 1322 manzanas que coinciden total o parcialmente con alguno de los peligros acumulados. Un dato relevante es que 394 manzanas se identifican con una afectación total y en ella habitan 12,248 personas.

En el entorno de las colonias se identifica a la colonia Miramar como la más afectada pues existen 2,813 personas expuestas en ella. Le siguen Chametla con 1,746, La Esperanza 2 con 1,176 y el Fraccionamiento Juárez con 1,023 habitantes. En resumen 156 colonias presentaron afectación potencial por alguno de los peligros identificados.

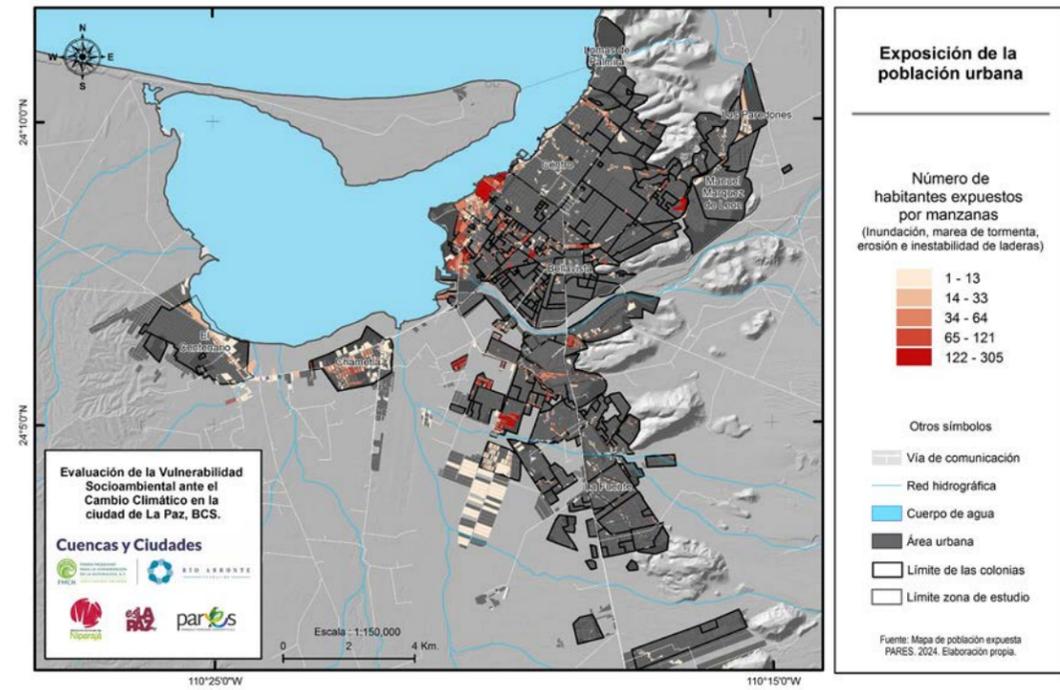


Figura 43. Exposición de la población urbana. Fuente: Pares A.C.

5.6.2. Exposición de los sistemas productivos

El análisis geográfico para el cálculo de la exposición de los sistemas productivos y natural es exactamente el mismo que para la población. A partir de la información base de estas capas se les sobrepone mediante el comando "Identity" la capa de peligros potenciales acumulados y se recalculan las nuevas superficies. El resultado es una matriz de polígonos que pueden ser continuos o no de las diferentes clases de uso del suelo o tipo de vegetación que los componen. Para fines de paisaje en los mapas se clasificaron por rompimiento natural los polígonos expuestos en cinco clases según su tamaño sin importar la clase (ver Mapa de Exposición del sistema productivo Figura 44.). La descripción por tipo de clase se presenta a continuación para cada sistema.

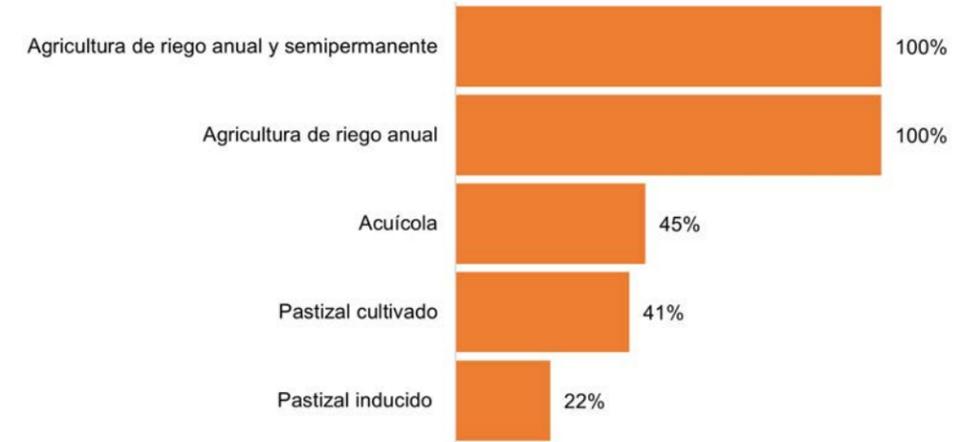
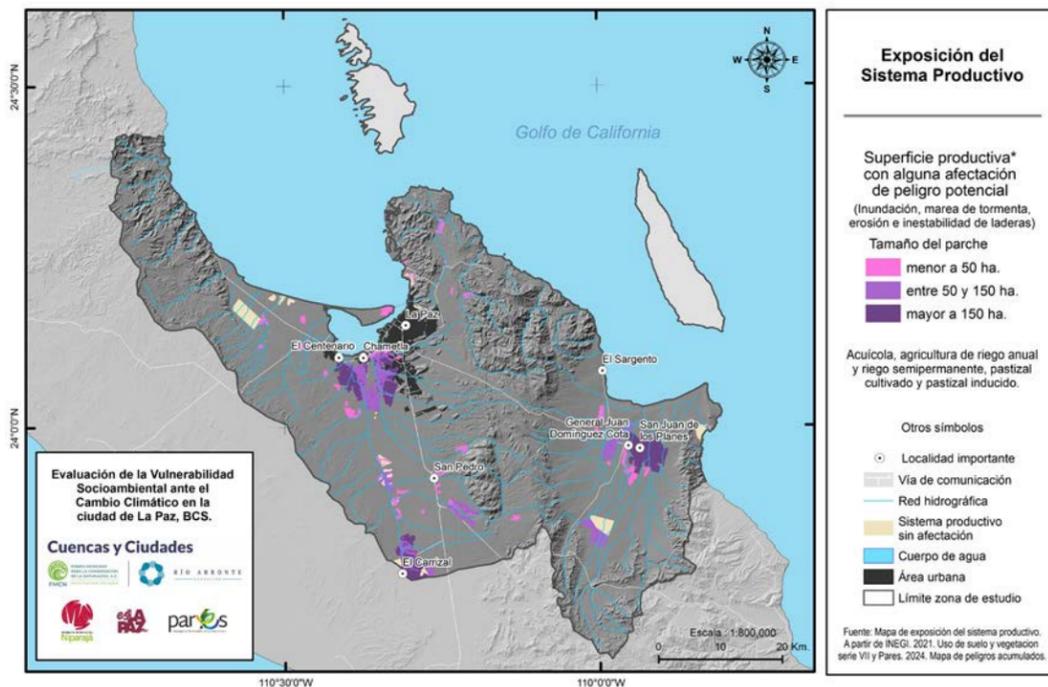
Los resultados para la exposición del sistema productivo nos indican que de las 20,749.14 ha que componen el sistema productivo el 75% de la zona de estudio (15,394.81ha) se encuentra expuesto. Varios de los tipos de agricultura que se localizan en la zona de estudio se encuentran completamente expuestos debido a la ubicación de éstos ya que tratan de aprovechar la humedad de los valles fluviales. Las superficies expuestas por cada clase de sistema productivo se presentan en el Cuadro 27 y la proporción de superficies expuestas se muestra en la Gráfica 27. En esta Gráfica destaca que la agricultura de riego anual y la de riego anual y semipermanente están totalmente expuestas, poniendo en riesgo la alimentación de la población ante un evento climático extremo.

Tipo de sistema productivo	Superficie total (ha)	Superficie expuesta (ha)
Acuícola	47.14	21.04
Agricultura de riego anual	2,464.34	2,464.34
Agricultura de riego anual y semipermanente	10,133.18	10,133.18
Pastizal cultivado	5,254.23	2,143.07
Pastizal inducido	2,850.25	633.18
Total	20,749.15	15,394.82

Cuadro 27. Superficies totales y expuestas por tipo de sistema productivo.
Fuente: Pares A.C.

Es importante aclarar que este estudio no se enfocó en determinar los distintos tipos de vegetación y su uso actual, ya que no incluyó una clasificación supervisada en campo. En este sentido, los pastizales, especialmente los catalogados como inducidos en la Serie VII del INEGI (fuente de información utilizada), podrían no corresponder actualmente con actividades agrícolas y tener otros usos, como actividades terciarias vinculadas al turismo o al desarrollo inmobiliario, como campos de golf.

Figura 44. Exposición de los sistemas productivos. **Fuente:** Pares, A.C.



Gráfica 27. Porcentaje de superficie expuesta por tipo de sistema productivo.
Fuente: Pares A.C.

Comprender la exposición de los sistemas productivos a peligros naturales es fundamental para desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático y reducción de riesgos. Al identificar las áreas más vulnerables y los sectores productivos más expuestos, es posible tomar decisiones informadas para implementar acciones enfocadas a 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.

Para una descripción detallada del tipo de cultivos anuales, perennes y del sector pecuario en La Paz se puede acceder al apartado 5.3.4 Actividades productivas de este documento.

5.6.3. Exposición de los ecosistemas / sistema natural

El análisis del sistema natural muestra que de 387,355.49 ha con cobertura de algún tipo de ecosistema, solo el 14% por ciento de la superficie ocupada por éstos se encuentra expuesta, siendo los manglares y las dunas costeras, seguidos de la selva de galería los tipos de vegetación con mayor proporción de superficie expuesta, lo cual tiene sentido por las zonas particulares en donde se desarrollan estos ecosistemas (costa y cauces temporales) (Figura 45).

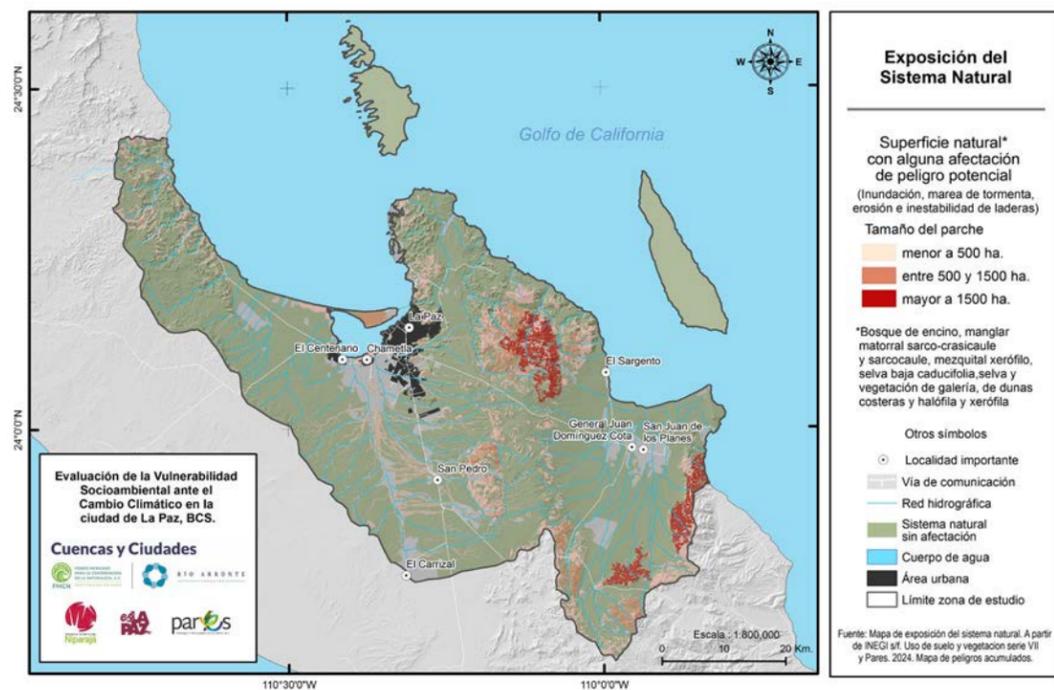


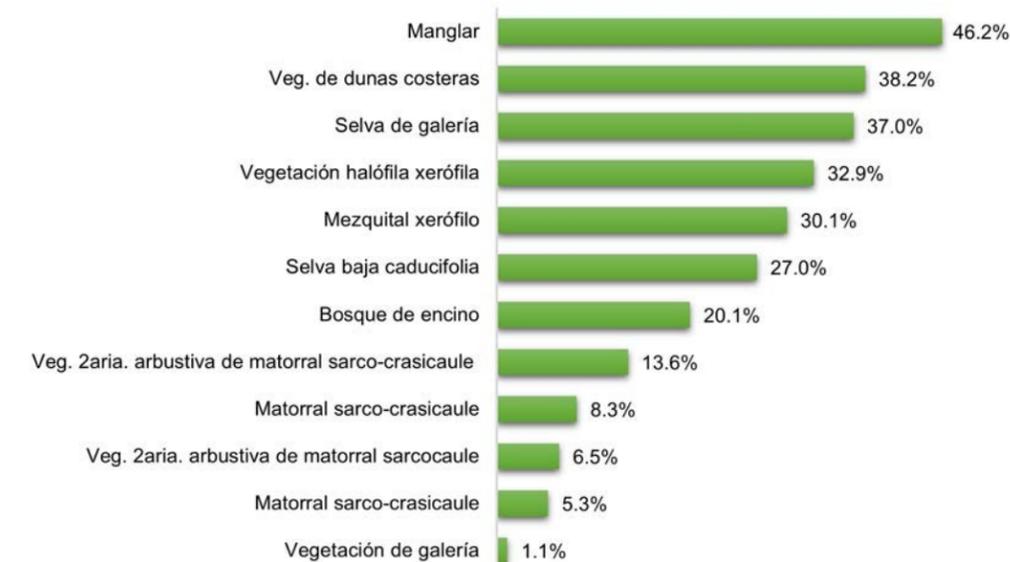
Figura 45. Exposición de los ecosistemas. Fuente: Pares, A.C.

El Cuadro 28 sintetiza las superficies totales y las que están expuestas de los ecosistemas presentes en el área de estudio, mientras que la Gráfica 28 indica la proporción del área total expuesta de cada ecosistema.

Cuadro 28. Superficies totales y expuestas por tipo de ecosistema. Fuente: Pares, A.C.

Tipo de Vegetación	Superficie total (ha)	Superficie expuesta (ha)
Bosque de encino	3,019.36	605.63
Manglar	513.17	237.22
Matorral sarcocaulé	136,351.90	11,294.07
Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarcocaulé	30,057.88	1,944.34
Matorral sarco-crasicaule	76,881.89	4,098.98
Vegetación secundaria arbustiva de matorral sarco-crasicaule	5,980.46	814.18
Mezquital xerófilo	2,404.79	724.23
Selva baja caducifolia	126,016.90	34,017.90

Tipo de Vegetación	Superficie total (ha)	Superficie expuesta (ha)
Selva de galería	212.39	78.61
Vegetación de dunas costeras	2,422.54	926.07
Vegetación de galería	347.20	3.80
Vegetación halófila xerófila	3,147.02	1,035.82



Gráfica 28. Superficies totales y expuestas por tipo de ecosistema. Fuente: Pares, A.C.

La salud de los ecosistemas está directamente relacionada con la resiliencia de la ciudad de La Paz. La presencia de ecosistemas saludables contribuye a mejorar la calidad del aire y del agua, regulan el clima local y proporcionan hábitats para la biodiversidad, además de favorecer la recarga del acuífero al infiltrar el agua de lluvia. Al conservar y restaurar estos ecosistemas, se fortalece la capacidad de la ciudad para adaptarse al cambio climático.

En este sentido, es relevante destacar la fragilidad y el alto grado de exposición ante eventos climáticos de algunos de estos ecosistemas presentes en la zona costera de La Paz (manglares y dunas costeras) y la importancia de su conservación-restauración por sus servicios ecosistémicos, destacando, en este caso, el papel que juegan como amortiguadores de los impactos del cambio climático.

Además de sus servicios de protección, en particular los manglares desempeñan un papel importante como hábitats y zonas de cría para peces, aves y otras especies de vida silvestre, a la vez que sustentan ecosistemas relacionados, como las praderas marinas y los arrecifes de coral y de moluscos. Los manglares son excelentes captadores de carbono que almacenan inclusive mucho más que los bosques terrestres, sobre todo en el suelo.

De acuerdo con TNC (2021), un estudio de evaluación a nivel mundial de 2018 concluye que:

- los manglares reducen las inundaciones que afectan al menos a 18 millones de personas,

- sin los manglares, un 39% más de personas se verían afectadas por las inundaciones anualmente, y los daños por inundaciones aumentarían un 16% y USD 82.000 millones anualmente (Losada *et al.*, 2018:31-33).

Aunado a lo anterior, los manglares contribuyen a limitar la exposición a los peligros reduciendo la altura de las olas y reteniendo los sedimentos, lo que disminuye el impacto de las inundaciones y la erosión (Losada *et al.*, 2018:5).

Por su parte, las dunas costeras suelen representar la última línea de defensa contra la erosión oceánica. Las dunas actúan como barrera contra inundaciones y desvían el viento y la niebla salina. La presencia de un sistema de dunas estable proporciona un mecanismo de defensa natural contra el ataque de las olas y la erosión. Sin embargo, las dunas también son un sistema dinámico en el que se producen cambios naturales, normalmente durante los episodios de tormentas, cuando un gran movimiento de arena provoca la erosión de la playa, la exposición de los sustratos y la inundación. Estos eventos pueden ser bastante extremos, pero hay que reconocer que se producen de forma natural. Las dunas frontales intactas pueden mitigar el impacto en términos de pérdidas iniciadas por la erosión (TNC, 2021).

La cubierta vegetal es una parte importante del sistema de dunas, ya que reduce la velocidad del viento y favorece la acumulación de arena arrastrada por el viento. Sin el efecto estabilizador de la vegetación, y a través de varios factores adversos (introducción de malezas, actividad humana como la extracción de arena y las construcciones, olas de tormenta, sequía e incluso incendios provocados por rayos), el movimiento de la arena puede cubrir progresivamente los entornos naturales y edificados. Muchas dunas se ven afectadas por el desarrollo, que inhibe los flujos naturales de la arena y el sistema de dunas.

Cuando se construyen edificios sobre la duna delantera, existe un gran riesgo de que la acción de las tormentas y las olas socave el área. En los casos en los que se han construido diques ante la duna frontal hacia el mar, la arena detrás de la duna trasera se separa del sistema. Esto puede provocar una erosión importante, hasta la pérdida total de la arena de la playa (Chan, H.T. y Baba, S., 2009:5).

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 La Paz, 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 susceptibilidad 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 DENUE (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

Las unidades económicas seleccionadas para la zona urbana de La Paz pertenecen a sectores de suma importancia social y económica para la ciudad, destacando entre ellas las asociadas al turismo, como son los servicios de alojamiento (hoteles, y Airbnb etc.), los bares y discotecas, y restaurantes. Por su parte los servicios de alojamiento en general presentan una exposición de poco

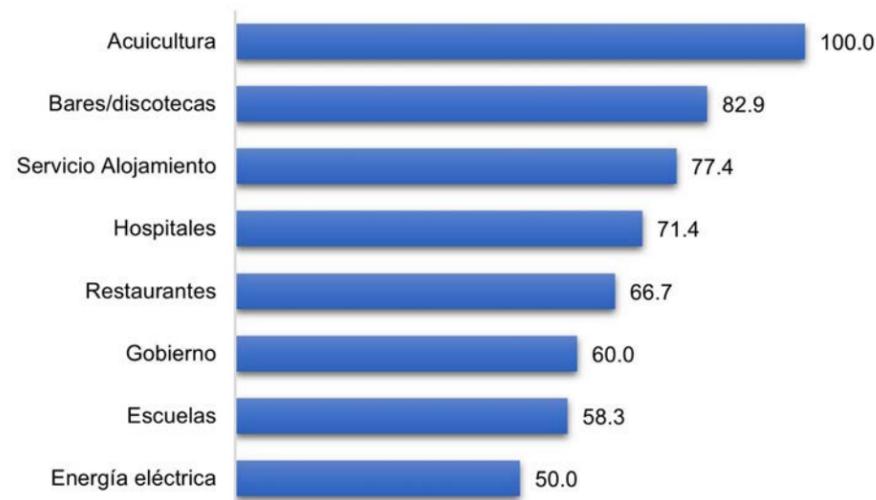
más de 77%, mientras que los bares y discotecas un 83% y los restaurantes 66.7%. Este resultado refleja la potencial vulnerabilidad de muchas de estas instalaciones destinadas al turismo por su cercanía a la franja costera y por tanto sujetas a peligros de inundación por desborde de arroyos de rápida respuesta y por marea de tormenta, y en el futuro por la elevación del nivel del mar.

También se evaluó la exposición de otros sectores relevantes que pudieran verse afectados por eventos hidrometeorológicos extremos, como la infraestructura eléctrica que resultó con un 50% de exposición, los hospitales, con 71.4% de exposición, y las instalaciones de gobierno vinculadas con la atención al público con 60%.

El sector educativo resultó con un 29% de las escuelas expuestas. Por otro lado la infraestructura acuícola aunque pequeñas en dimensión tienen relevancia económica y sus instalaciones dentro del centro de población muestran un 100% de exposición ante peligros relacionados con el clima, lo anterior debido a su ubicación cerca de arroyos urbanos con potencial de desbordarse ante precipitaciones intensas (**Cuadro 29, Gráfica 29 y Figura 46**). Otros sectores con menores porcentajes de exposición se desglosan en el Anexo II.

Cuadro 29. Principales infraestructuras urbanas expuestas. **Fuente:** Pares, A.C.

Sector	Número unidades existentes	Unidades expuesta
Acuicultura	6	6
Bares/discotecas	35	29
Energía eléctrica	6	3
Escuelas	48	28
Gobierno	20	12
Hospitales	7	5
Restaurantes	96	64
Servicio Alojamiento	31	24
Total	249	171



Gráfica 29. Porcentaje de exposición de la infraestructura por sector. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI (2024).

En lo que respecta a las vías de comunicación los resultados muestran que en la zona urbana hay 312.93 km, la mayor parte de estas afectaciones potenciales (83%) se encuentran al interior de las colonias, principalmente entre vías de tercer orden y muchas también fuera de la zona céntrica de la ciudad. En este sentido destaca el 14%

de exposición de las vías primarias, esta situación puede provocar serios e importantes conflictos de 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 30 y Figura 46).

Cuadro 30. Exposición de las vías de comunicación por orden y tipo. Fuente: Pares A.C. con datos de INEGI (2024).

Orden y tipo de vía	Longitud expuesta (km.)
<i>Primer orden</i>	43.77
Avenida	16.17
Boulevard	23.87
Calzada	0.80
Circuito	2.93
<i>Segundo orden (Prolongación)</i>	0.73
<i>Tercer orden (Calle, callejón y retorno)</i>	258.75
<i>Cuarto orden (Andador, cerrada, peatonal y privada)</i>	9.67
Total	312.93

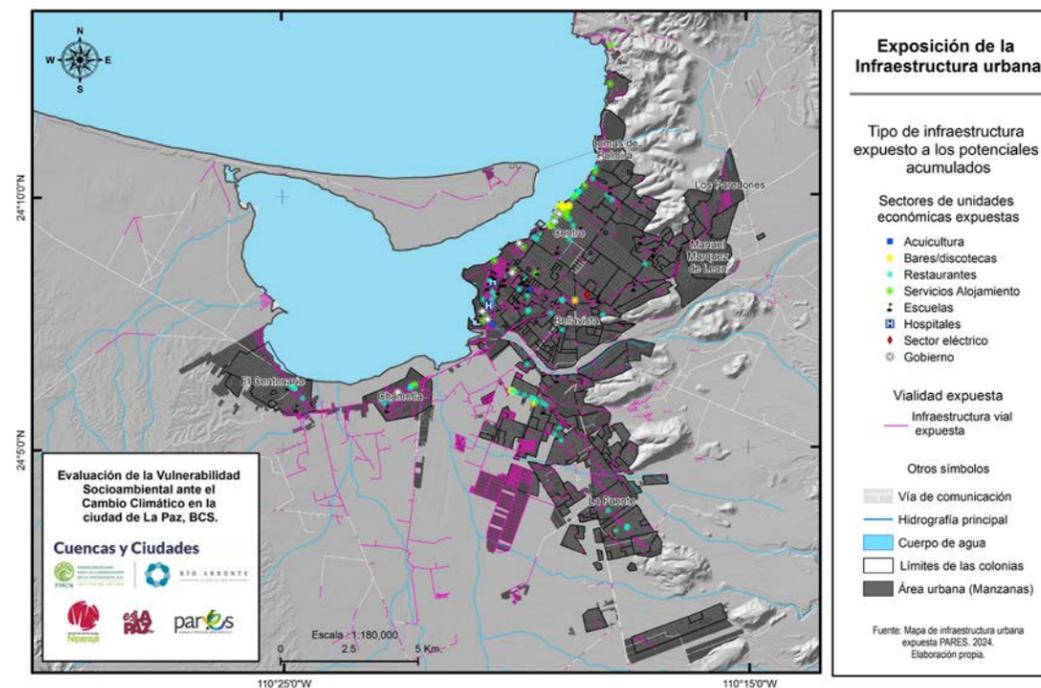


Figura 46. Exposición de la infraestructura urbana ante eventos climáticos. Fuente: Pares A.C.

Como puede observarse, en la ciudad de La Paz se presenta una alta exposición de la infraestructura asociada al sector turístico. La concentración de establecimientos turísticos en zonas costeras los expone de manera significativa a eventos extremos como inundaciones y erosión costera. Esto representa un riesgo considerable para la economía local, dado que el turismo es un pilar fundamental de la actividad económica de La Paz. Por otra parte, la exposición de las vías de comunicación, especialmente las primarias, compromete la capacidad de respuesta ante emergencias y la movilidad de la población, lo que puede generar pérdidas económicas y sociales significativas que, aunadas a la exposición de la infraestructura hospitalaria y de educación, pueden poner en riesgo la salud y el bienestar de la población, especialmente en situaciones de emergencia.

Los resultados obtenidos evidencian la necesidad de adoptar un enfoque integral para la gestión del riesgo climático, considerando no solo la infraestructura física, sino también la vulnerabilidad social y económica de la población. En ese sentido se vuelve estratégico el desarrollar planes de ordenamiento territorial (ecológico y urbano) que incorporen los criterios de peligros climáticos y exposición, y promuevan la densificación en zonas seguras, restringiendo el desarrollo en áreas de alto peligro.

Además, se debe promover la implementación de soluciones basadas en naturaleza, como la restauración de los ecosistemas costeros (manglares y humedales), y la creación de áreas verdes que faciliten la infiltración del agua -oasis urbanos-, que apoyen a la infraestructura gris a disminuir el peligro de inundación, al mismo tiempo que se mejora la calidad y accesibilidad a áreas verdes para la población.

Lo anterior también subraya la necesidad de desarrollar y mejorar los sistemas de alerta temprana para eventos extremos, con el fin de reducir la pérdida de vidas humanas y daños a sus bienes. Para lograr una mejor adaptación de las personas ante los efectos negativos del cambio climático es preciso fomentar la participación ciudadana en la toma de decisiones y establecer mecanismos de coordinación interinstitucional, con las organizaciones que trabajan en el territorio y el gobierno local de tal forma que faciliten una gestión efectiva del peligro climático.

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.

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. De acuerdo con el marco geoestadístico del INEGI, en la zona de estudio de la ciudad de La Paz se ubican 338 AGEB urbanas de las cuales 24 presentan insuficiencia de información para la estimación del índice, ya sea porque no presentan el dato de población, o el dato de viviendas particulares habitadas, variables indispensables para este ejercicio. De tal manera que la estimación del índice se realizó para 314 AGEB urbanas.

En el caso de las localidades fuera de la zona urbana, se consideraron todas aquellas ubicadas en las AGEB rurales que interceptan con la zona de estudio. De 335 localidades rurales que se encuentran comprendidas en el área de estudio, 257 presentan insuficiencia de datos para la estimación del índice. En concreto, 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 78 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 31** se muestran los campos, las variables, la justificación de su inclusión y el sentido en que fue tomado cada indicador.

Cuadro 31. Indicadores del ISSE. Fuente: Pares, A.C.

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.

Campos	Indicador	Justificación/Orientación del indicador
Servicios de Salud/ discapacidad	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.
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

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; si indicaría que se trata de una unidad de análisis con indicadores más favorables que otras unidades de análisis con grado de sensibilidad distinto.

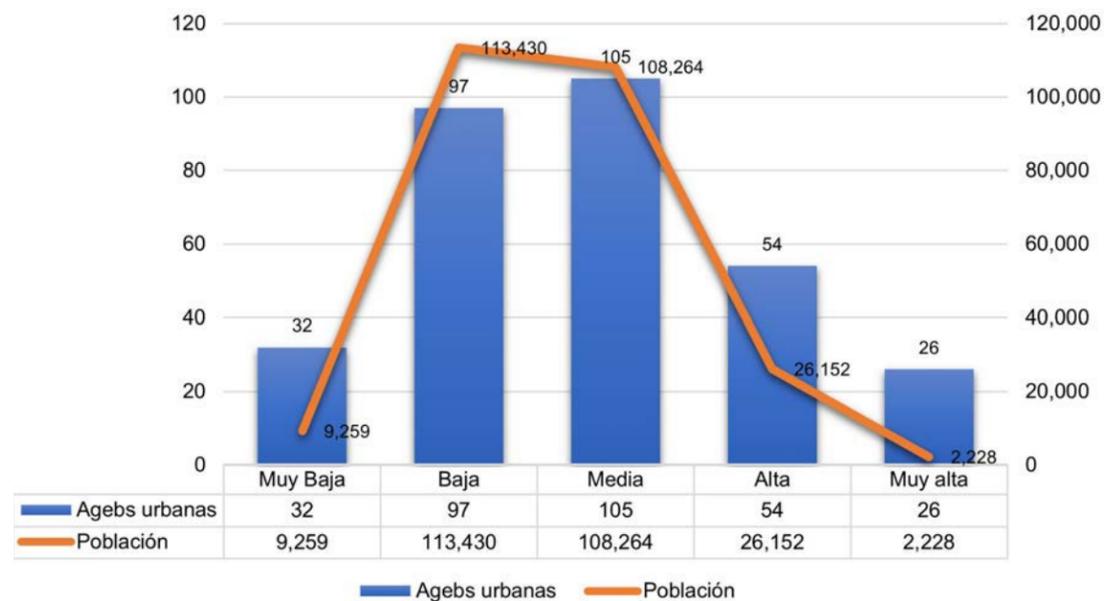
Resultados

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 La Paz y las localidades rurales en la zona de estudio con grados Muy altos y Altos de sensibilidad socioeconómica.

Vista en su conjunto, destaca la zona norte-noreste de la ciudad de La Paz por ser esta donde se ubica con mayor incidencia la sensibilidad socioeconómica alta y muy alta en una especie de semicírculo que, al continuar hacia un imaginario eje al sur, se van ubicando áreas similares en cuanto a su sensibilidad, aunque un tanto más dispersas. Áreas en esta misma categoría de sensibilidad socioeconómica se ubican también en el extremo poniente de la zona de estudio. **(Figura 47)**

AGEB urbanas por sensibilidad socioeconómica

Los resultados encontrados indican que de las 314 AGEB urbanas analizadas en la zona de estudio, 26 se encuentran con grado Muy Alto de sensibilidad socioeconómica y en ellas habitan 2,228 personas; 54 AGEB se ubicaron con grado Alto de sensibilidad, con una población de 26,152; en grado Medio se encuentran 105 AGEB, cuya población asciende a 108,264; en grado Bajo de sensibilidad se encontraron 97 AGEB con población de 113,430; finalmente, en grado de sensibilidad socioeconómica Muy Bajo se situaron 32 AGEB con 9,259 de población. **(Gráfica 30, Figura 47).**



Gráfica 30. Sensibilidad socioeconómica en AGEB urbanas.
Fuente: Pares A.C.

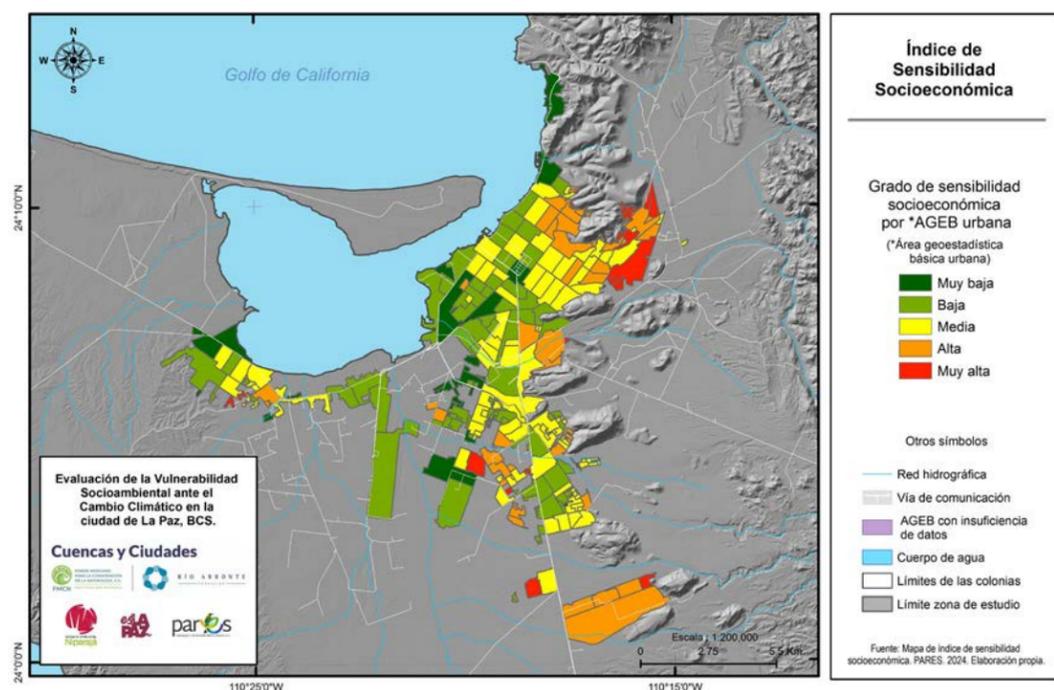


Figura 47. Grado de sensibilidad socioeconómica por AGEB urbana.
Fuente: Pares A.C.

Sensibilidad socioeconómica vinculada a las colonias

Teniendo en cuenta que los habitantes de una localidad tienen en las unidades habitacionales que las conforman (colonias, fraccionamientos, etc.) uno de los principales referentes de orientación en ella. Por tal motivo, se intenta aquí 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 la población que presenta valores de sensibilidad socioeconómica alta y muy alta. Se trata

de una aproximación dado que ambas delimitaciones - AGEB /colonias- no son coincidentes. Tal ensayo quedaría como sigue.

Áreas con valores muy altos de sensibilidad socioeconómica se pueden observar con una mayor concentración en la parte noreste de la ciudad con incidencia en las siguientes colonias (**Cuadros 32, 33 y Figura 48**).

Cuadro 32. Colonias con grado de sensibilidad socioeconómica muy alta.

Sector Norte		
Manuel Márquez de León y su ampliación	Laguna Azul	Ampliación Vista Hermosa
Partes del fraccionamiento Vista Hermosa	Los Paredones	Loma Bonita (La Lomita)
Ampliación Villas de Guadalupe	Villas de Guadalupe	
Sector Sur		
Conjunto habitacional Parque Industrial	Valle Dorado	La Pasión C.
Parte oriental de la colonia Calafia	Colonia los Cardones y Los Tabachines	
Sector Poniente		
Colonia Las Flores del Centenario		

Sector Nore - Noreste		
Unidad habitacional Pedregal de Cortéz	Guadalupe Victoria	La Rinconada
Antonio Navarro Rubio y ampliación	Porciones de Vicente Guerrero	Laguna Azul
Barrio las Ladrilleras	Villas de Guadalupe	Colina de La Cruz
Francisco Villa	Agustín de Olachea y ampliación	San Pablo Guelatao
Ciudad del Cielo	Lázaro Cárdenas y ampliación	Lienzo Charro
Sector Sur		
Fraccionamiento El Carrizal	El Cardonal	Porciones de Los Cardones
Agua Escondida	Porciones de Diana Laura de Riojas	Tecnológico
Vivah y Calafia	El Cardoncito II	Ampliación Progreso

Sector Nore - Noreste		
Unidad habitacional Pedregal de Cortéz	Guadalupe Victoria	La Rinconada
Antonio Navarro Rubio y ampliación	Porciones de Vicente Guerrero	Laguna Azul
Barrio las Ladrilleras	Villas de Guadalupe	Colina de La Cruz
Francisco Villa	Agustín de Olachea y ampliación	San Pablo Guelatao
Ciudad del Cielo	Lázaro Cárdenas y ampliación	Lienzo Charro
Sector Sur		
Fraccionamiento El Carrizal	El Cardonal	Porciones de Los Cardones
Agua Escondida	Porciones de Diana Laura de Riojas	Tecnológico
Vivah y Calafia	El Cardoncito II	Ampliación Progreso

Cuadro 33. Colonias con grado de sensibilidad socioeconómica alta.

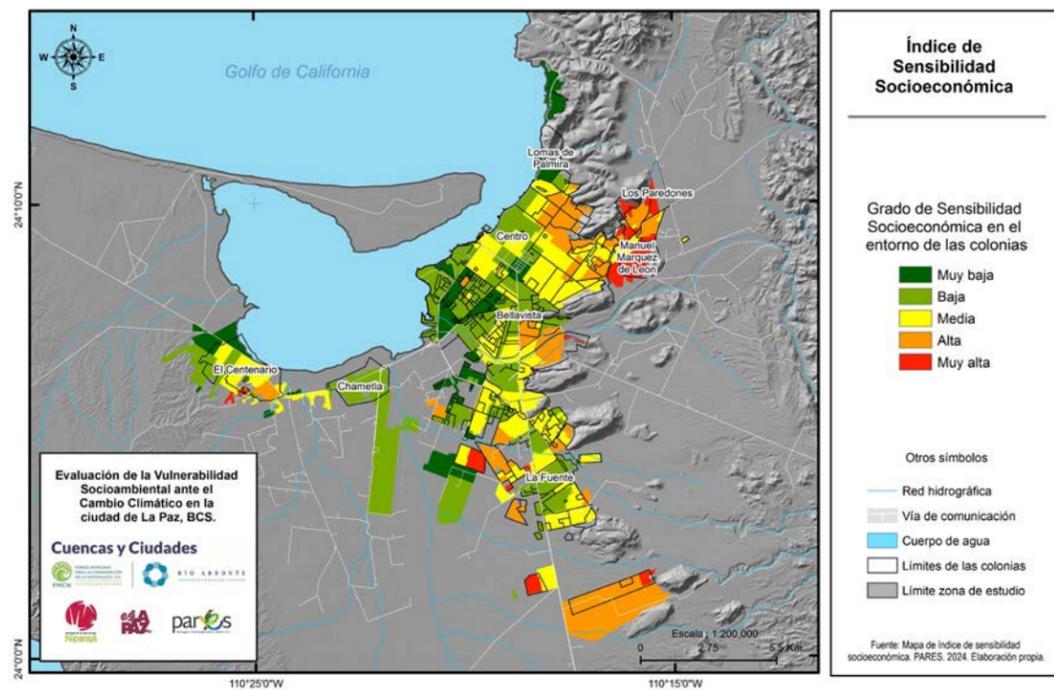


Figura 48. Grado de sensibilidad socioeconómica en el entorno de las colonias. Fuente: Pares A.C.

Sensibilidad socioeconómica de comunidades rurales

Como resultado de la estimación del índice de sensibilidad socioeconómica para las localidades de la zona de estudio resaltamos a continuación aquellas que presentan los grados altos y muy altos (**Figura 49**).

Con grado de sensibilidad socioeconómica muy alto se identifican las siguientes localidades:

Cuadro 34. Localidades con grado de sensibilidad socioeconómica muy alto.

Oriente		
La Palmilla	El Cajoncito	
Sureste		
Los caballeros	Los Divisaderos	El Aguajito
La Semilla		
Suroeste		
Agroexportadora de Noroeste		

Oriente		
Granjeros Guaycura	Las Vinoramas	
Noroeste		
Boca de Sauzoso		
Sureste		
El Agua de López	Las Palmas	La Huerta
Los Ángeles	San Rafael de los Encinitos	Los Tamales
San Juan de los Planes	Los Bledales (La Ceibita)	Colonia 28 de Octubre (Kilómetro 6)
Las Calabazas	El Arroyo del Diablo	El Milagro
Colonia Primero de Mayo	Ejido San Luis	Álvaro Obregón
La Estrella del Norte	Los Guayabitos	Los Arenales
San Miguel El Salto	Los Tejones	
Suroeste		
El Bethel	San Juan	

Cuadro 35. Localidades con grado de sensibilidad socioeconómica alto.

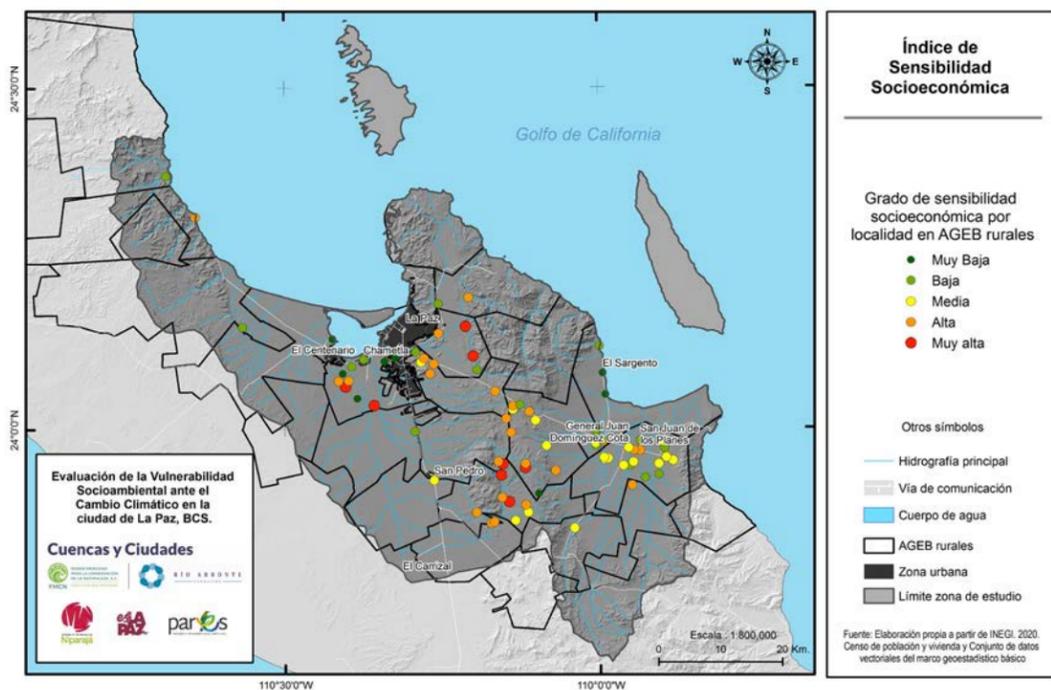


Figura 49. Índice de sensibilidad socioeconómica en localidades en AGEB rurales. Fuente: Pares A.C.

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, 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 cua-

les 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).

Como señala 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 por contener solo estos campos variables que cumplen la condición anterior, sino que resultan indicadores de género importantes porque, como señala el Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 del municipio de La Paz, “la persistencia de brechas de desigualdad de género, así como actitudes machistas, discriminatorias y violentas generan efectos graves en el bienestar y la vida de las mujeres” (p.133)

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 36). 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 36. Variables censales para estimar brechas de género. Fuente: Censo Nacional de Población y Vivienda, INEGI 2020.

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.

VARIABLES DESAGREGADAS POR SEXO	DEFINICIÓN
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 13 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 13 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.
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.

Esta categorización de las AGEB_u se llevó a una representación cartográfica a la que se le sobrepuso la retícula de colonias para su descripción territorial, a la que se procede a continuación para señalar de manera indicativa colonias que de manera parcial o total presentan grados muy altos y altos (**Cuadros 37 y 38**).

Vista en su conjunto, la distribución del índice, se observa que el grado muy alto de sensibilidad se concentra de forma acentuada en una franja que va del Fraccionamiento Marina del Sur en la parte noroeste sobre la línea costera, hasta la colonia Guadalupe Victoria en el noreste, atravesando el centro de la ciudad; de manera más dispersa se observan algunos asentamientos sobre el eje sur de la ciudad. Grados altos de este índice se distribuyen por todos los rumbos (**Figura 50**).

Colonias con grado muy alto de brechas de género		
Marina del Sur	Ciudad del Recreo	Fraccionamiento Campestre
Esperanza I	Esperanza II	Guaycura
Los Girasoles	Conjunto Hab. Solidaridad	Jardines de la Paz
Loreto	Las Arboledas	Independencia
Pueblo Nuevo	Centro	Unidad Hab. Issste
Vicente Guerrero	Guadalupe Victoria	Benito Juárez
Roma	Lázaro Cárdenas	San Pablo Guelatao
Libertad	Clemente Guillen	Conjunto Hab. Donceles
8 de Octubre 2ª sección	Las Américas	Balandra
Fracc. Santa Fe	Tabachines	Fracc. Universitario

Cuadro 37. Colonias con grado muy alto de brechas de género.

Noreste de la ciudad		
Paseos de Cortez	El Esterito	Ciudad del Cielo
Antonio Navarro Rubio	Villas de Guadalupe	Laguna Azul
Manuel Márquez de León	La Escondida	20 de Noviembre
Adolfo Ruiz Cortínez	Flores Magón	Rosaura Zapata
Noroeste de la ciudad		
La Inalámbrica	Barrio El Manglito	Arcos del Sol 1
Balandra Puesta del Sol	Pericues	Puesta del Sol Villas delMar
Las Palmas	Las Garzas	U.H. Domingo Carballo Felix**
Sur de la ciudad		
Los Cactus	Bella Vista	Tecnológico
Revolución	3 de Mayo II	Fracc. Mezquitito
Misiones II	Fracc. Paraíso del Sol	Valle Dorado
Fracc. Ayuntamiento	Fracc. Ayuntamiento	Vista Real
Poniente de la ciudad		
Partes de Ejido El Centenario		

Cuadro 38. Colonias con grado alto de brechas de género.

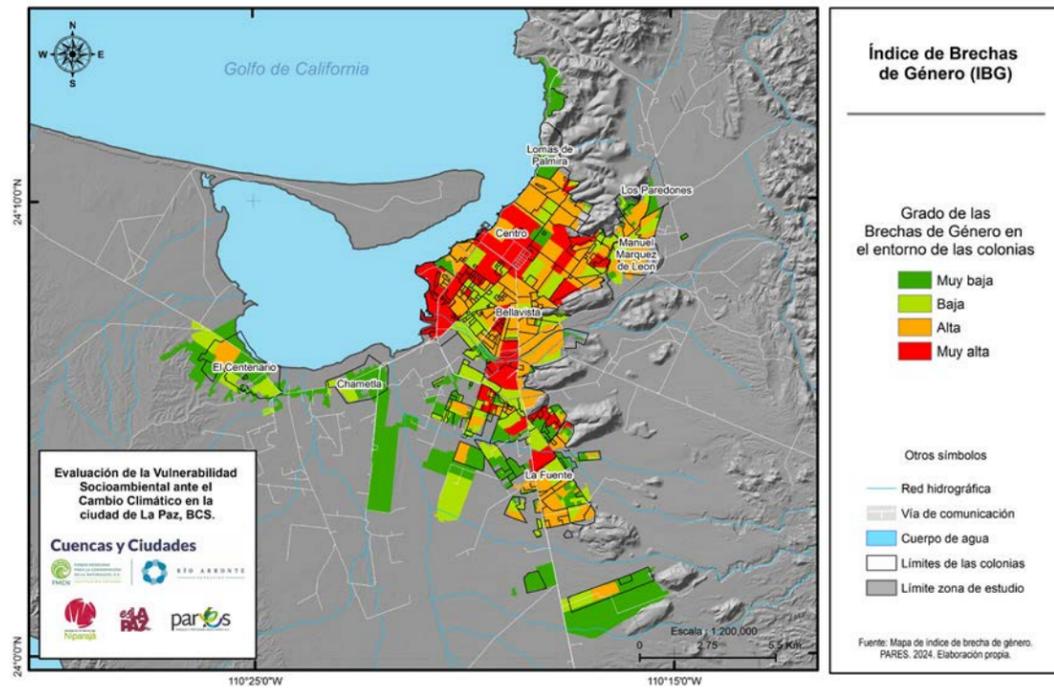


Figura 50. Índice de brechas de género en torno a colonias. Fuente: Pares A.C.

A partir del análisis anterior puede concluirse que la desigualdad de género en La Paz, 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)

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 del mismo: 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 socioeconómica 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.

Sensibilidad Socioeconómica	Brechas de género			
	Muy alta	Alta	Baja	Muy baja
Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Media
Alta	Muy alta	Muy alto	Media	Baja
Media	Muy alta	Alta	Baja	Baja
Baja	Alta	Media	Baja	Muy baja
Muy baja	Media	Baja	Muy baja	Muy baja

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 que de manera parcial o total presentan grados muy altos (Cuadro 39) y altos (Cuadro 40) (Figura 51).

Cuadro 39. Colonias con grado muy alto de sensibilidad socioeconómica con brechas de género. Fuente: Pares A.C.

Centro-Noreste de la ciudad		
U. Habitacional Misioneros	Conjunto Hab. Solidaridad	Pueblo Nuevo
Centro	U.H. Pedregal del Cortez	Agustín Olachea
Antonio Navarro Rubio	Lienza Charro	Vicente Guerrero
Villas de Guadalupe	Manuel Márquez de León	Vista Hermosa
Ampliación Vista Hermosa	Benito Juárez	Lázaro Cárdenas
Sur de la ciudad		
Conjunto Hab. Donceles 28	Fracc. Embotelladores 82	Río Blanco
Fracc. El Carrizal	8 de Octubre 2ª Sección	Tecnológico
Agua Escondida	Fracc. Santa Fe	8 de Octubre 1ª Sección
Puerta Azul	Invi Mezquitito	Ampliación Progreso Vivah
Los Tabachines	Olas Alta	

Noreste de la ciudad		
Fracc. Colina del Sol	Centro	Fracc. Perla
Loma Linda	Jacinto López	Francisco Villa
20 de Noviembre	Roma	Fracc. Misiones de Loreto
Noreste de la ciudad		
Unidad H. Tulipanes	Ampliación Loreto	Independencia
U.H. Domingo Carballo Félix	Esperanza	Esperanza 1
Esperanza 2	Fracc. Campestre	Fracc. Marina del Sur
Sur de la ciudad		
Revolución	U.H. Molino Harinero	U.H. Agustín Arreola
Fracc. Paseos del Sol	Fracc. Coromuel	Fracc. Las Américas
Fracc. Universitario	Fracc. Mezquitito	Fracc. San Carlos
Fracc. Miramar	Valle Dorado	Fracc. Del Mar
Fracc. Ayuntamiento	Fracc. Arco Iris	Fracc. Arco Iris 2
Poniente de la ciudad		
Partes de Ejido El Centenario		

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

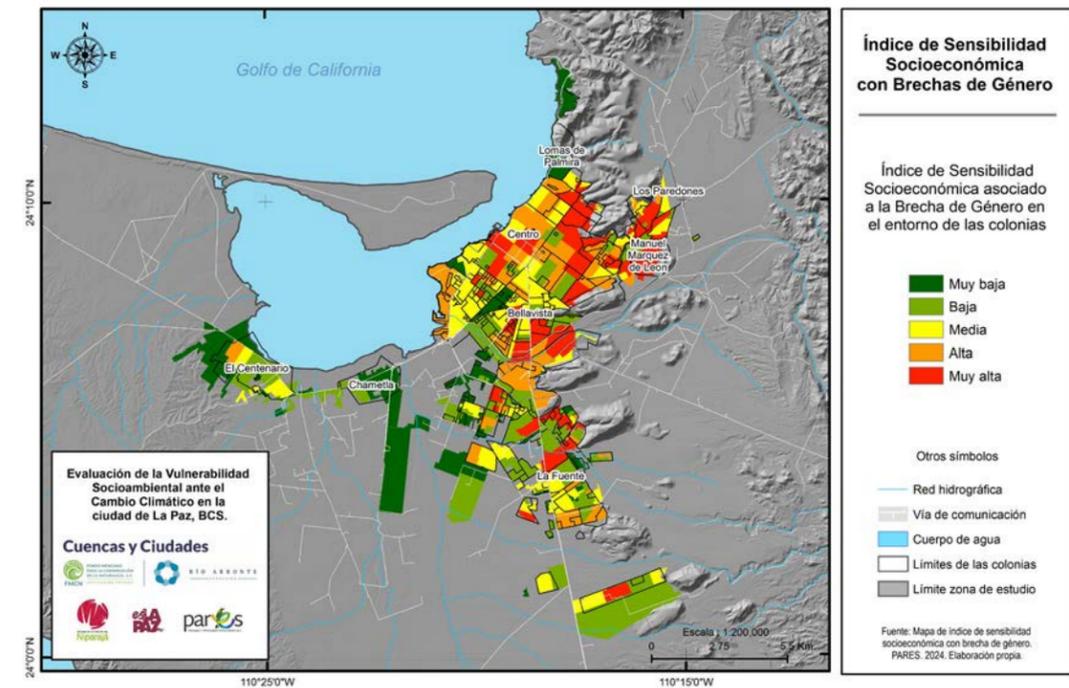


Figura 51. Índice de sensibilidad socioeconómica con brechas de género. **Fuente:** Pares A.C.

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 geostatística urbana; escala que permite penetrar con cierta minuciosidad al interior de la ciudad para ubicar los contrastes socioeconómicos y las desigualdades de género.

Desde el enfoque de desigualdades socioeconómicas a través del ISSE se pudo observar en la zona urbana de La Paz un patrón de poblamiento que, en líneas generales, permite observar una especie de escalonamiento o gradiente de mayor a menor capacidad socioeconómica, del centro histórico en dirección hacia asentamientos en la periferia noreste. De tal forma que se puede advertir lo que se conoce como segregación urbana. No resulta muy arriesgado adelantar la hipótesis de que estos asentamientos en la periferia se han encontrado con mayores dificultades u obstáculos para acceder a servicios de los que dispone la ciudad, tal como ocurre generalmente en asentamientos con población menos favorecida.

La zona urbana de La Paz ha conocido en años recientes la expansión de la mancha urbana preferentemente hacia el sur mediante desarrollos inmobiliarios y usos comerciales adyacentes a la carretera transpeninsular. Esta parte creciente de la ciudad pareciera una extensión física de las mejores condiciones socioeconómicas ubicadas en el

centro histórico, aunque también en ella se encuentran dispersos algunos asentamientos de alta sensibilidad socioeconómica.

Por otro lado, como realidad estructural las desigualdades de género, analizadas y sintetizadas en el IBG, se presentan en la ciudad de manera más aleatoria que la condición socioeconómica, reafirmando que no necesariamente las brechas de género son patente exclusiva de sectores o estratos socioeconómicos específicos.

Este análisis de las desigualdades socioeconómicas y de género en la zona urbana de La Paz revela un patrón de segregación urbana que incrementa la vulnerabilidad de ciertos sectores ante el cambio climático. Los asentamientos en la periferia, con menor acceso a servicios y recursos, presentan una sensibilidad socioeconómica más elevada, lo que los expone de manera desproporcionada a los riesgos climáticos. La expansión urbana hacia el sur, si bien refleja una continuidad de mejores condiciones socioeconómicas, también alberga áreas de alta sensibilidad. Al combinar el Índice de Sensibilidad Socioeconómica (ISSE) con el Índice de Brechas de Género (IBG), se 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. Esta

información es estratégica para la creación de políticas públicas que prioricen intervenciones en áreas con mayor vulnerabilidad socioambiental, promoviendo la equidad en la adaptación al cambio climático.

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 La Paz, 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 vulnerabilidad socioeconómica,

se procedió a superponer esta información con los mapas de peligros 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 a peligros contra la sensibilidad socioeconómica. 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 41**), cuyos resultados permiten identificar áreas con mayor impacto potencial.

Cuadro 41. Matriz de doble entrada para la evaluación del impacto potencial.
Fuente: Pares A.C.

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

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 mediante la unión de capas en el SIG. De esta forma, se generó la capa final de impacto potencial, la cual se presenta en la **Figura 52**.

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.

La superficie total con impacto potencial es de 95,734.30ha que equivalen al 26.4% de la zona de estudio de las cuales 58.2% corresponden al sistema natural, 15.8% al sistema productivo, 1% a la zona urbana y 25% a las islas Cerralvo y Espiritu Santo. La población expuesta en la zona urbana la conforman 30,883 habitantes, de ellos, el 14.44% se encuentra en categoría Muy Alta (4,460 personas). El 29.94% se encuentran en categoría Alta (9,245 personas). Esto indica que una proporción considerable de la población se encuentra en zonas de alto peligro. Por otro lado, el 36.49% de los habitantes se ubica en categoría de impacto Medio, y el 14.73% en categoría de Bajo impacto potencial (11,270 y 4,548 personas respectivamente), (**Cuadro 42**).

Cuadro 42. Superficie y numero de habitantes sujetos a impacto potencial.
Fuente: Pares A.C.

Impacto Potencial				
Sensibilidad Socioeconómica	Superficie (ha)	% de la zona de estudio	Población expuesta	% población urbana
Natural	55,751.10	58.2%		
Alto	9,595.00	10.0%		
Medio	7,452.36	7.8%		
Bajo	38,703.74	40.4%		
Productivo	15,117.40	15.8%		
Alto	13,346.48	13.9%		
Medio	951.92	1.0%		
Bajo	819.00	0.9%		
Urbano	958.25	1.0%	29,523	
Muy alto	78.63	0.1%	4,460	14.44%
Alto	149.63	0.2%	9,245	29.94%
Medio	297.64	0.3%	11,270	36.49%
Bajo	432.36	0.5%	4,548	14.73%
Urbano	23,907.55	25.0%		
Medio	23,907.55	25.0%		
Total general	95,734.30	100%	34,561	100%

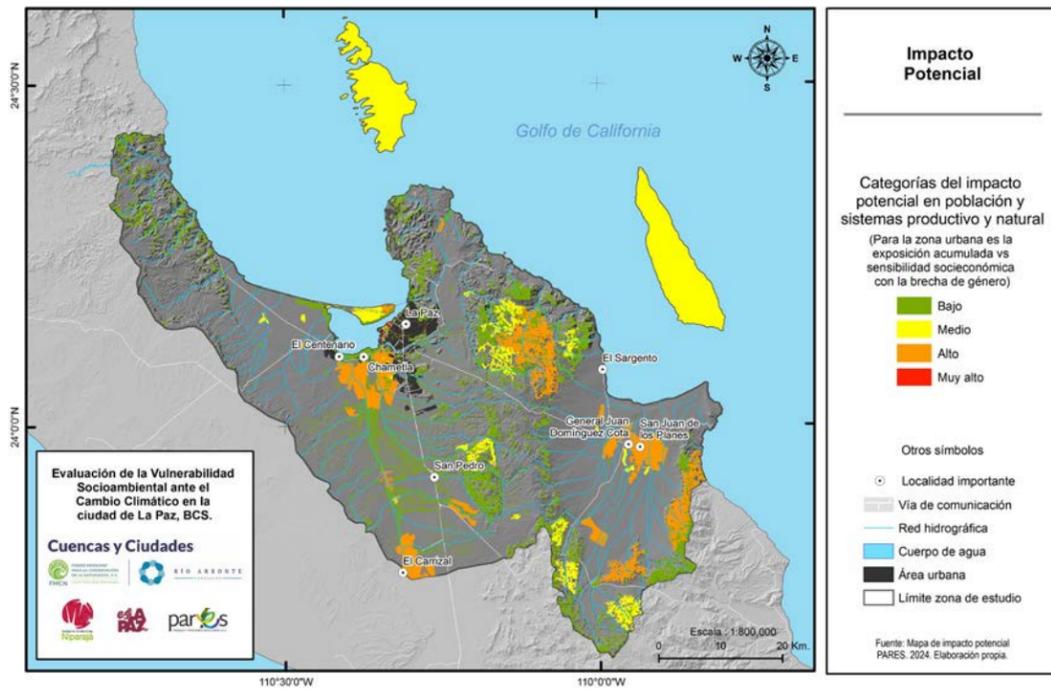


Figura 52. Impacto potencial en la zona de estudio. Fuente: Pares A.C.

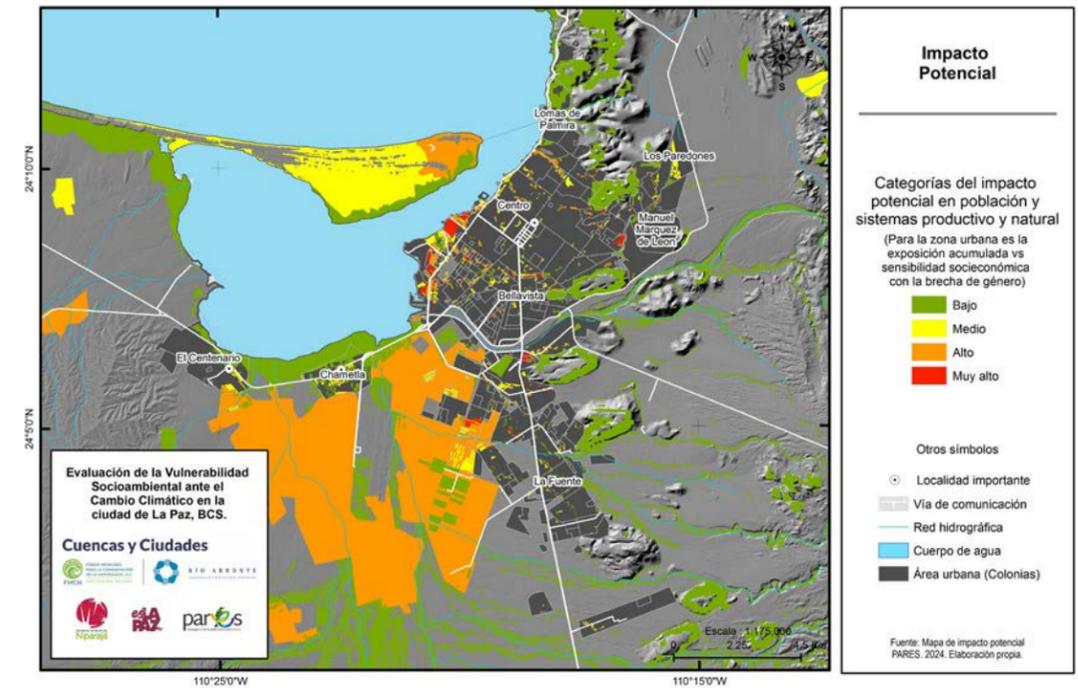


Figura 53. Impacto potencial en las colonias de la zona urbana de La Paz. Fuente: Pares A.C.

En un análisis detallado de las colonias, se encontró que 170 colonias se encuentran en alguna categoría de impacto potencial, 19 en Muy Alto, 84 en Alto, 137 en Medio y 70 en bajo impacto potencial (**Figura 53**) estos resultados identifican un área de alto potencial al sur de Chametla y al suroeste de la ciudad de La Paz, caracterizada por la convergencia de numerosos arroyos temporales. Esta zona, históricamente dedicada a la agricultura de riego debido a la abundancia de agua, se vuelve altamente vulnerable ante eventos hidrometeorológicos extremos, lo que incrementa el riesgo de inundaciones severas. Asimismo, la punta de El Mogote, con un ecosistema frágil de dunas costeras, presenta un riesgo elevado debido a la presencia de desarrollos habitacionales y turísticos, los cuales exacerban la vulnerabilidad ante eventos naturales.

Los datos por colonia revelan una variabilidad significativa en cuanto al nivel de impacto potencial. Mientras algunas colonias concentran un alto porcentaje de sus habitantes en las categorías de Muy Alto y Alto impacto potencial, otras se encuentran en una situación más favorable (**Cuadro 43**, **Figura 53**).

- Colonias con mayor impacto potencial: Miramar, La Esperanza 2, Esperanza, Ciudad del Recreo concentran un alto número de habitantes en las categorías de Muy Alto y Alto impacto potencial. lo que puede anticipar una vulnerabilidad mayor

respecto a otras zonas de la ciudad ante los peligros identificados en este estudio (Inundación, inestabilidad de laderas, etc).

- Colonias con menor impacto potencial: Colonias como La Inalámbrica, Domingo Carballo Félix y Marina Del Sur presentan un bajo número de habitantes en las categorías de Muy Alto y Alto impacto, lo que sugiere una menor vulnerabilidad. Sin embargo, es importante considerar el contexto de cada colonia y la posibilidad de cambios en el futuro.
- Colonias con distribución equilibrada: Colonias como Centro y El Manglito muestran una distribución más equilibrada entre las diferentes categorías de impacto, lo que también sugiere una vulnerabilidad moderada entre sus habitantes.

Colonia	N°. de habitantes		
	Total de habitantes	Muy Alto y Alto	Medio
Miramar	2,824	2317	461
La Esperanza 2	1,176	1176	
Esperanza	700	700	
Ciudad del Recreo	582	451	131
La inalámbrica	398	376	22
Domingo Carballo Félix	350	341	9
Marina del Sur	317	302	15
El Manglito	350	297	53
Centro	703	284	392
Colina del Sol	282	271	11

Cuadro 43. Colonias con más habitantes sujetos a mayor impacto potencial. Fuente: Pares A.C.

El listado completo del impacto potencial por colonia, puede consultarse en el Anexo III.

5.9. Capacidad adaptativa

El cambio climático representa una amenaza creciente para las ciudades costeras como La Paz. 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 La Paz, los ecosistemas presentes tanto en el contexto urbano como a nivel de cuenca ofrecen una serie de servicios ecosistémicos que contribuyen a aumentar 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, las dunas costeras actúan como barreras naturales que protegen las zonas interiores de la intrusión salina mientras que los bosques de encino ofrecen una protección natural contra la erosión al tiempo que proveen agua superficial y capturan carbono. La pérdida o degradación de estos ecosistemas reduce significativamente la capacidad adaptativa de las ciudades costeras. 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 La Paz, 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 que aprovechen los beneficios que estos ofrecen. Por su parte, 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 de

dunas costeras, la creación de infraestructura verde, la conservación de suelos, y en general la gestión sostenible de los ecosistemas aguas arriba en la cuenca.

Estas acciones no solo contribuyen a aumentar la resiliencia de las ciudades, 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 y su entorno rural. 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 La Paz, 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 permitan la identificación de las áreas más relevantes en la provisión simultánea de múltiples SE (servicios como la provisión superficial del agua, retención de suelos y el almacenamiento de carbono), sus unidades biofísicas (ha, m³, mm y ton) y su relación con la vulnerabilidad de la ciudad que se sirve de estos. Esta evaluación se aborda con un enfoque en los paisajes urbanos de la ciudad de La Paz y en las cuencas que la abastecen de agua. Además se implementaron análisis espaciales para una modelación hidrológica que permitió simular los procesos que ocurren dentro de las cuencas, como lo son, la escorrentía superficial (o flujo rápido), la infiltración, la evapotranspiración y el flujo base.

Los resultados comprenden el desarrollo de un indicador que permitió priorizar cada pixel del paisaje, para entender el estado actual de los SE en la zona de estudio. La modelación espacial proporciona una herramienta crítica para visualizar cómo los fenómenos climáticos y el paisaje interactúan 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, como indicadores de la capacidad adaptativa ante el impacto de

eventos climáticos extremos. Con el fin 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 las localidades 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 geográfica 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.*, 2018). 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, 2012; 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 e implementación de las Soluciones basadas en Naturaleza, 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.

Adquisición de datos

El área fue delimitada utilizando los conjuntos vectoriales de Cuencas Hidrográficas de México (cuencas, subcuencas y microcuencas; en escala 1:250,000) de CONAGUA (INEGI-CONAGUA, 2017). 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 44**, 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 cartográficas: (1) El Modelo Digital del Terreno (DEM) con 15 m de resolución de INEGI (INEGI, 2021); 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 los 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 Tier-1, 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).

Cuadro 44. Variables necesarias para el mapeo de servicios ecosistémicos en InVEST Fuente: Pares A.C.

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	
	Coefficiente de estacionalidad (0-10)	
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)	

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.*, 2016). 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 a la curva de Budyko (Hamel *et al.*, 2020). También identifica como los cambios en cada zona del paisaje (o píxel) afectan la 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 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 8 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 m (**Figura 54**).

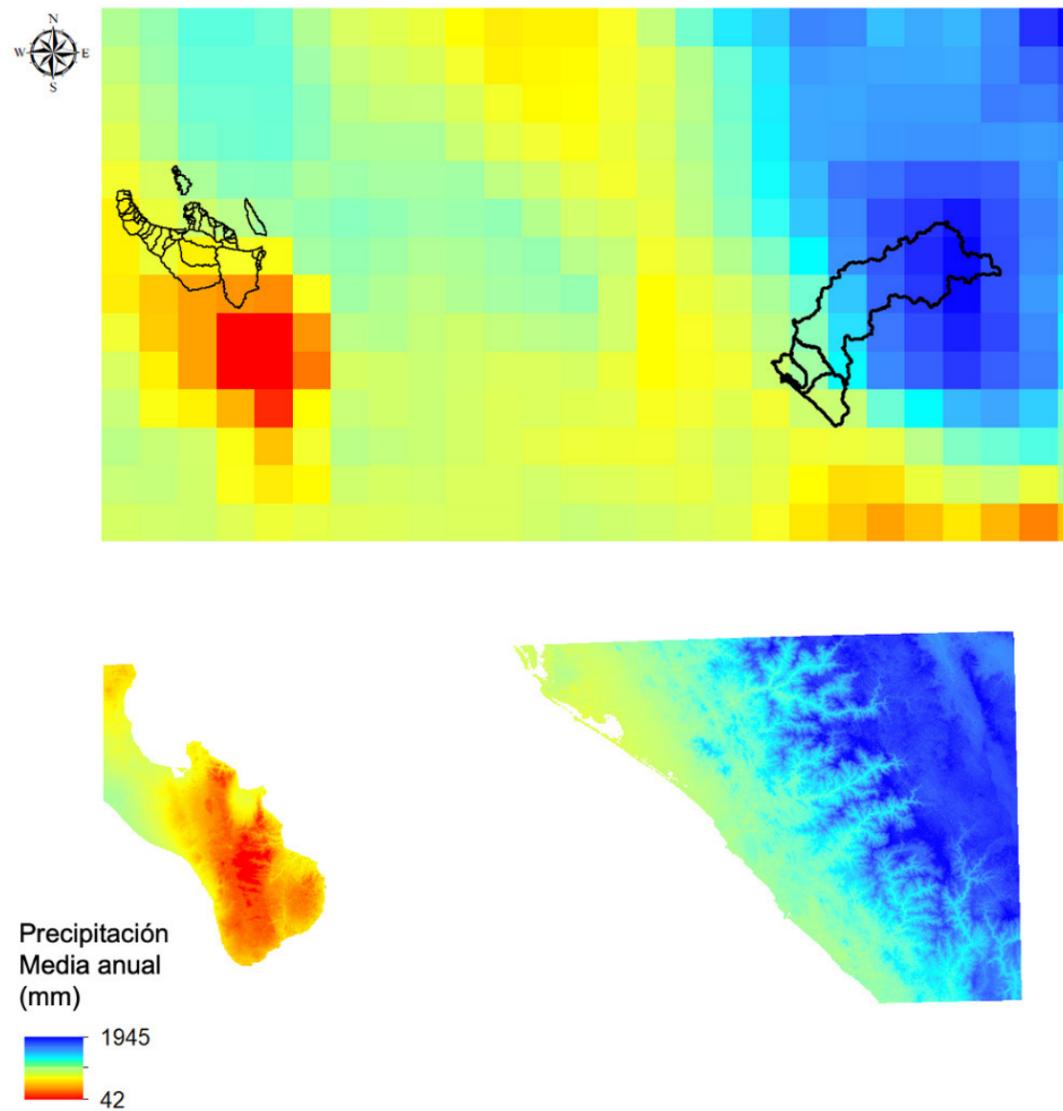


Figura 54. Ejemplo del aumento de resolución mediante el método de downscaling con machispline. Fuente: Pares A.C.

Evapotranspiración potencial. Este mapa en formato ráster (mm año⁻¹), fue calculado por medio 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 Spatial 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 a la zona 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 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 la zona 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 Perdida 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 arroyos 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., 2016). 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(M·J·ha·mm)⁻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 Alberts (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) y Renard (1994). 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 Comisión Nacional Forestal (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 Regression-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:

$$\hat{z}RK(S_0) = \sum_{k=0}^p \hat{\beta}_k * q_k(S_0) + \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \varepsilon_i(S_0) + \sum_{j=1}^n \omega_{2j} Z_2(S_j) \right) \quad (3)$$

Donde RK(S₀) es la estimación puntual de la variable en una ubicación espacial desconocida, β_k son los coeficientes del modelo, q_k es el número de variables auxiliares, ω_i (S₀) son los pesos determinados por el semivariograma, y ε 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, intercepción, 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 SW_t, 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; R_{day}, es la cantidad de precipitación (mm); Q_{surf}, es la cantidad de escurrimiento superficial (mm); E_a, es la cantidad de evapotranspiración (mm); W_{seep}, es la cantidad de agua que infiltra en el perfil del suelo (mm) y Q_{gw}, 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 en una asignación de valor de escorrentía, o proporción de la precipitación que será retenida, evapotranspirada y la que se convertirá en escorrentía 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 escorrentía (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 Samami (1985). Finalmente, el flujo base está determinado por la cantidad de agua que llega hasta el cauce de los arroyos desde las aguas subterráneas durante la estación seca. B, representa el flujo que mantiene agua en los arroyos durante las épocas de baja precipitación.

A fin de parametrizar el modelo se hizo uso 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 ocho 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 Humedad (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 m. 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 escorrentía) 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, tons, etc.) y disímiles. Los valores de los ráster fueron estandarizados mediante el método de scaling, haciendo uso de la Ecuación 5 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 pixel, $minI$ es el valor máximo observado del conjunto de valores IP y $maxI$ es el máximo valor observado del mismo conjunto de valores.

$$I_p = \frac{(I_{obs} - minI)}{(maxI - minI)} \quad (5)$$

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 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 planificación 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 *Fuzzi 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 (pixel), 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 la vegetación halófila, vegetación de dunas costeras, matorrales sarco-crasicaule, matorral sarcocaule, a la selva baja y a los bosques de encino (**Figura 32**). Como sistemas productivos, a los cultivos agrícolas, cultivos de riego, cultivos perennes y pastizales. Por último, los otros usos del suelo incluyen a las zonas urbanas, suelo desnudo y 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 55**).

Caon base en los datos históricos de precipitación, esta

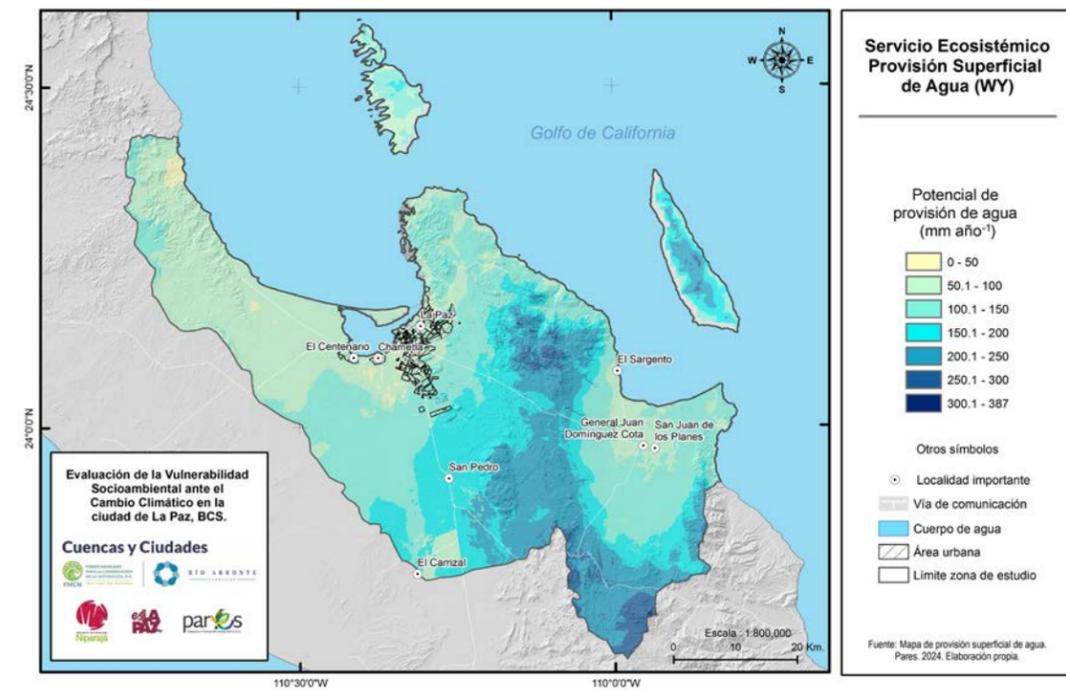


Figura 55. Distribución espacial del servicio de provisión superficial de agua. Fuente: Pares A.C.

osciló entre los 112 y los 481 mm año⁻¹ (entre los 11 y 30 mm día⁻¹), con una media anual de 160 mm año⁻¹, generando una provisión de agua de entre 0 y los 400 mm año⁻¹; con una media anual de 115.7 mm día⁻¹. Las zonas de mayor aporte o disponibilidad de agua fueron aquellas que coinciden espacialmente con los bosques de encino (250 ± 20 mm año⁻¹; max: 400 mm año⁻¹; min: 203 mm año⁻¹), la selva baja (209 ± 36 mm año⁻¹; max: 399 mm año⁻¹; min: 51 mm año⁻¹), y en menor medida el matorral xerófilo (186 ± 2.9 mm año⁻¹; max: 193 mm año⁻¹; min: 167 mm año⁻¹) ubicados al sur y sureste de la cuenca, que ocasionan la formación de escurrimientos significativos de agua.

Las áreas de menor producción de agua se ubicaron en los territorios aledaños a la Bahía de La Paz, que coincidieron con las zonas sin vegetación aparente (68 ± 41 mm año⁻¹; max: 213 mm año⁻¹; min: 11 mm año⁻¹), de agricultura de riego (82 ± 20 mm año⁻¹; max: 188 mm año⁻¹; min: 38 mm año⁻¹), de vegetación de dunas (83.2 ± 43 mm año⁻¹; max:

213 mm año⁻¹; min: 42 mm año⁻¹) y de las zonas urbanas (93.5 ± 36 mm año⁻¹; max: 281 mm año⁻¹; min: 0 mm año⁻¹). Dentro de estas zonas la evapotranspiración es más alta, debido a las altas temperaturas y radiación solar, limitando la formación de escurrimientos superficiales perennes. En el **Cuadro 45** se resumen algunas estadísticas de la provisión para cada servicio. Estos resultados destacan un volumen total de producción de agua superficial de 505 Millones de m³ (40% de la precipitación total). Siendo las laderas de las sierras Novillo y Trincheras, las que contribuyen con el mayor aporte de agua superficial (65.7%; 142 mm año⁻¹). Las áreas con mayores porcentajes de uso de suelo urbano, agrícola y los matorrales son las que contribuyen en menor medida la provisión superficial de agua, debido a la alta evapotranspiración en la Bahía de La Paz.

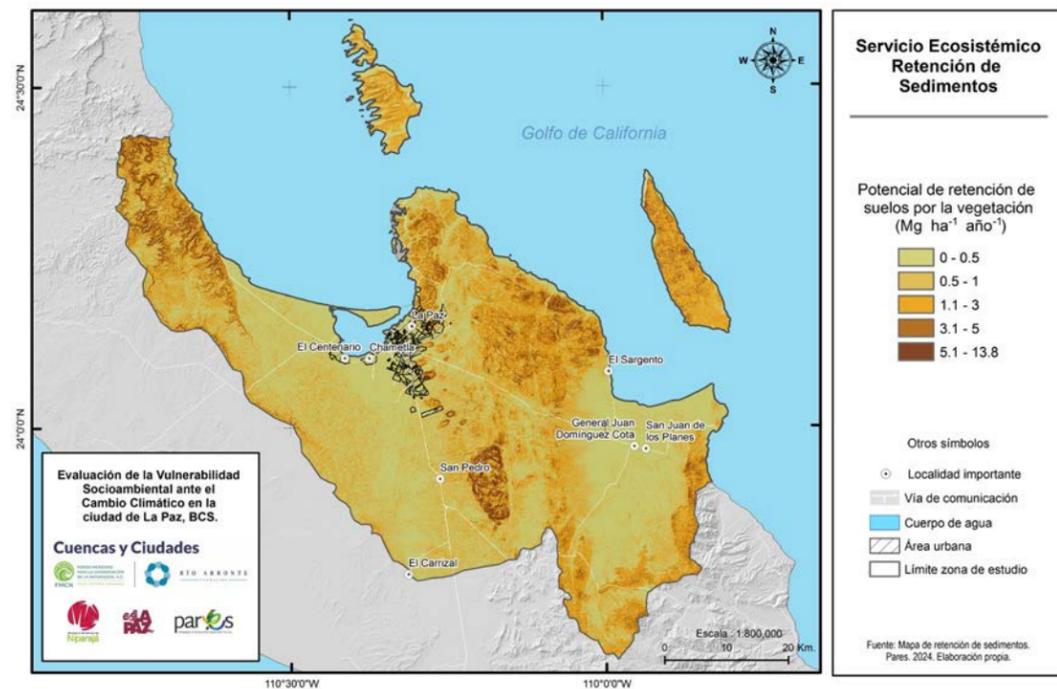
Cuadro 45. Producción total de SE en la zona de estudio. Fuente: Pares A.C.

Producción de SE por subcuenca			% de producción de la zona sur y sureste		
Provisión de agua superficial WY 10 ⁶ m ³ año ⁻¹	Retención de sedimentos SR 10 ⁶ ton año ⁻¹	Almacenamiento de Carbono CS 10 ⁶ Mg	WY	SR	CS
505.8	4.1	59.7	40	1.23	2.41

Retención de sedimentos

Los ecosistemas boscosos, sobre todo en pendientes pronunciadas, juegan un papel importante como barrera frente al desplazamiento de partículas de suelo durante la formación de arroyos intermitentes y, en particular, en las Sierras Novillo, Las Cruces y Trincheras, donde la lluvia y la pendiente de las laderas incrementa la erosión de los suelos y escurrimiento hacia la Bahía de La Paz (**Figura 56**). La retención de suelos se encontró entre las 0 y las 18.2 ton año⁻¹, ecosistemas como bosques y selvas pueden evitar que se pierdan 4.1 millones de toneladas de suelo por año (**Cuadro 44**), por efectos de la erosión hídrica (8.36 Mg ha⁻¹ año⁻¹).

Figura 56. Distribución espacial del servicio de retención de suelo/sedimentos.
Fuente: Pares A.C.



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 toneladas de Carbono, desagregados en los diferentes reservorios. El almacenamiento de carbono oscila entre 0 y 286.7 Mg ha⁻¹. Siendo la selva baja la que presentó los mayores niveles (194.6 ± 22.3 Mg ha⁻¹; max: 205.4 Mg ha⁻¹; min: 3.1 Mg ha⁻¹), seguida por el bosque

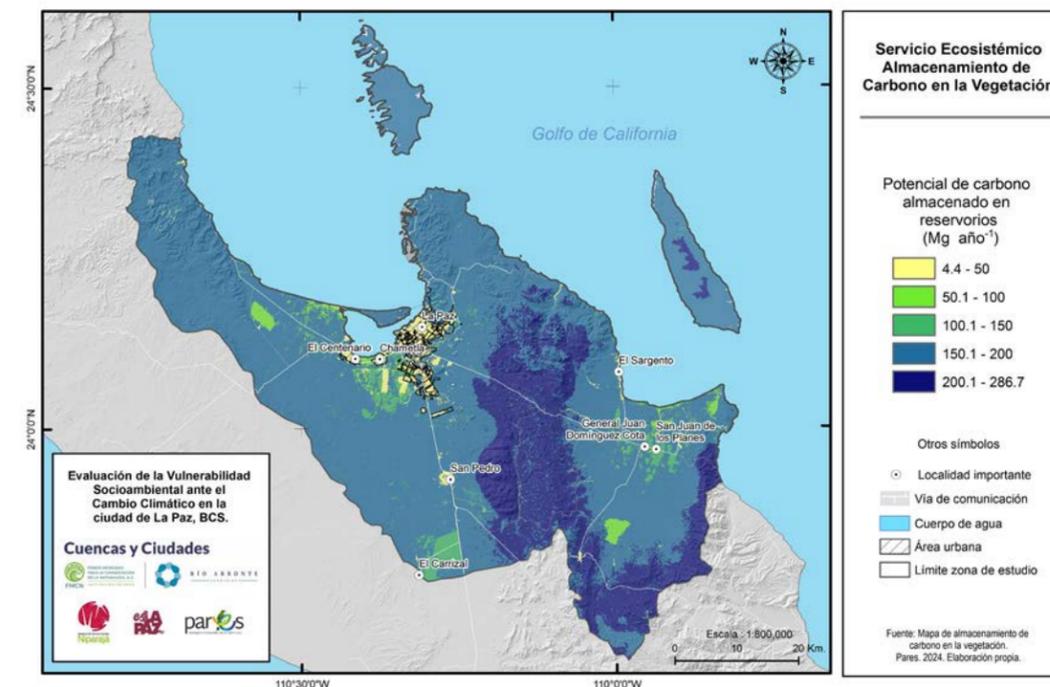
de encino (18 ± 14 Mg ha⁻¹ año⁻¹; max: 33.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹; min: 0.013 Mg ha⁻¹ año⁻¹), la vegetación riparia (15.7 ± 10.1 Mg ha⁻¹ año⁻¹; max: 33.1 Mg ha⁻¹ año⁻¹; min: 0.125 Mg ha⁻¹ año⁻¹), las zonas agrícolas (14.8 ± 0.66 Mg ha⁻¹ año⁻¹), el matorral sarcrocaule (14.4 ± 15 Mg ha⁻¹ año⁻¹), y los bosques de encino (12 ± 8.8 Mg ha⁻¹ año⁻¹), jugaron un papel más relevante en la retención de sedimentos en las áreas serranas. Los valores de retención de sedimentos mostrados se consideraron altos y se ubicaron espacialmente en las zonas de pendientes pronunciadas, siendo influenciados principalmente por los escurrimientos y los usos de suelo intensificados (con una menor cobertura vegetal; erosión potencial de suelos 27.8 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Los resultados resaltan nuevamente un mayor aporte en la retención de sedimentos por parte de la vegetación arbórea y arbustiva en las partes bajas de las Sierras, contribuyendo a la retención total de 4.1 millones de toneladas de suelo por año.

de encino (165.4 ± 1.76 Mg ha⁻¹; max: 286.7 Mg ha⁻¹; min: 24.7 Mg ha⁻¹) y los matorrales (163.2 ± 16.4 Mg ha⁻¹; max: 205.1 Mg ha⁻¹; min: 3.1 Mg ha⁻¹). Mientras que la vegetación de la parte alta de las sierras es la que contribuye con el 56% del total de carbono almacenado (**Figura 57**).

La cantidad de carbono almacenado es un indicador directo de la salud y la resiliencia de un ecosistema. Selvas, bosques, matorrales y otros ecosistemas actúan como

sumideros de carbono, capturando grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera y pueden apoyar la mitigación del cambio climático. Conocer la cantidad de carbono almacenado, permite diseñar estrategias de conservación y restauración de ecosistemas que maximicen su capacidad de almacenamiento de carbono.

Figura 57. Distribución espacial del carbono almacenado en la vegetación.
Fuente: Pares A.C.



5.9.6. Resultados del balance hídrico

Por su parte los resultados de la lámina de escurrimiento superficial anual en la zona de estudio se determinaron con base en los excesos de agua mensuales que arrojó el Balance Hídrico. Los escurrimientos en la cuenca se presentan en verano (julio-octubre) debido a la presencia de eventos extremos de lluvia, mientras que durante los meses de febrero a junio se presenta una lámina mínima de escurrimiento, debido a los cambios en precipitación (escasa lluvia), y a los aumentos en la temperatura y evapotranspiración los cuales impactan principalmente la humedad del suelo en la Bahía de La Paz y los valles que la rodean.

El escurrimiento anual generado o el aporte al flujo rápido por estas zonas, fué una lámina de 6.46 mm año⁻¹ (aporte promedio de los pixeles al flujo rápido de 13 mm año⁻¹), generando escurrimientos extraordinarios que pueden causar inundaciones en la zona urbana y en los valles que

Esta información también puede utilizarse para valorar económicamente los servicios ecosistémicos y así justificar inversiones en su conservación y restauración, además de tomar decisiones informadas sobre el uso del suelo, la gestión de los recursos naturales y la planificación del desarrollo urbano, minimizando los impactos negativos sobre los ecosistemas y maximizando sus beneficios para las personas.

la circundan. Aunque, la cubierta vegetal también influye en la humedad del suelo, a través de la interceptación de las gotas de lluvia, las áreas más elevadas de las Sierras El Novillo, Las Cruces y las Trincheras, aportaron una lámina promedio de 20 mm año⁻¹ al flujo rápido. Por otro lado, las áreas dominadas por matorrales, zonas agrícolas y zonas urbanas aportan en menor medida al flujo base (B= 70 mm año⁻¹), sobre todo en la Bahía de La Paz y al noroeste de la cuenca.

La **Figura 58** brinda un panorama más claro a nivel de paisaje y permite relacionar los valores de la lámina de flujo base directamente con los tipos de cobertura vegetal. Como puede verse las zonas montañosas son las que presentan un mayor aporte a la lámina de flujo, con un promedio de 140 mm año⁻¹. Sin embargo, esta lámina no es suficiente para que se formen escurrimientos perennes. Las áreas con vegetación amortiguan las inundaciones y permiten la infiltración del agua en el suelo. Las áreas con

mayor aporte a la recarga de los acuíferos están determinadas por la curva numérica CN, donde los valores bajos reflejan un índice con tasas altas de infiltración, que coinciden espacialmente con la zona montañosa, presentando una conductividad hidráulica de hasta 49 mm/s. La zona donde se distribuyen las áreas agrícolas de riego y las zonas urbanas presentaron los valores más altos en

las tasas de escurrimiento, debido a la compactación de suelos y al incremento de la escorrentía por baja presencia de vegetación (Figura 59).

Figura 58. Distribución espacial del aporte de paisaje a la lámina de flujo base de agua. Fuente: Pares A.C.

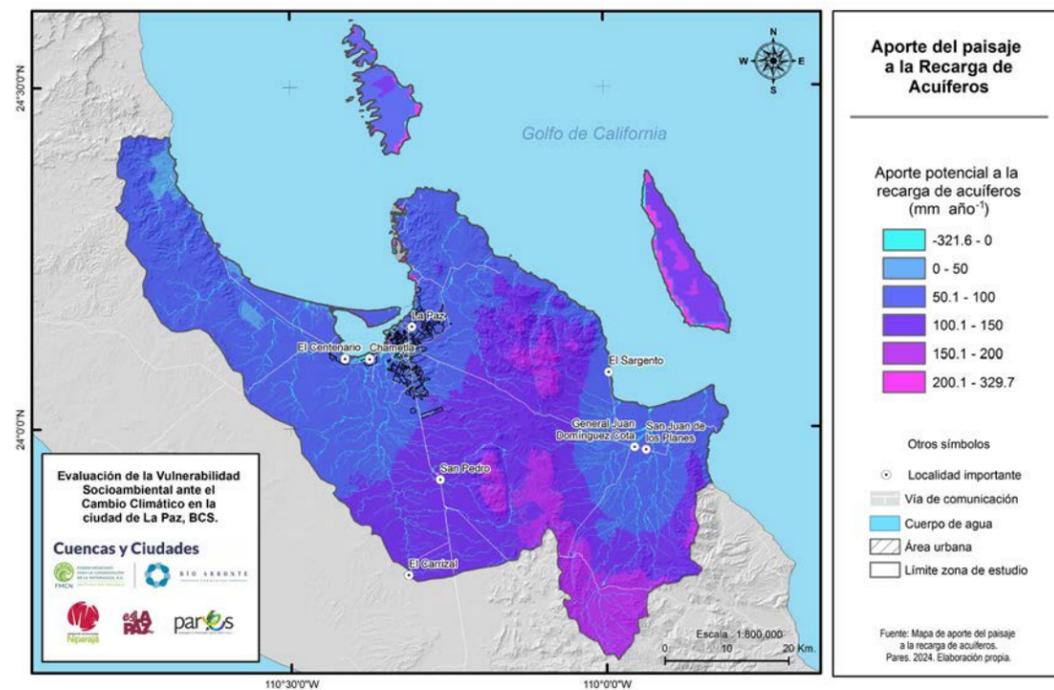
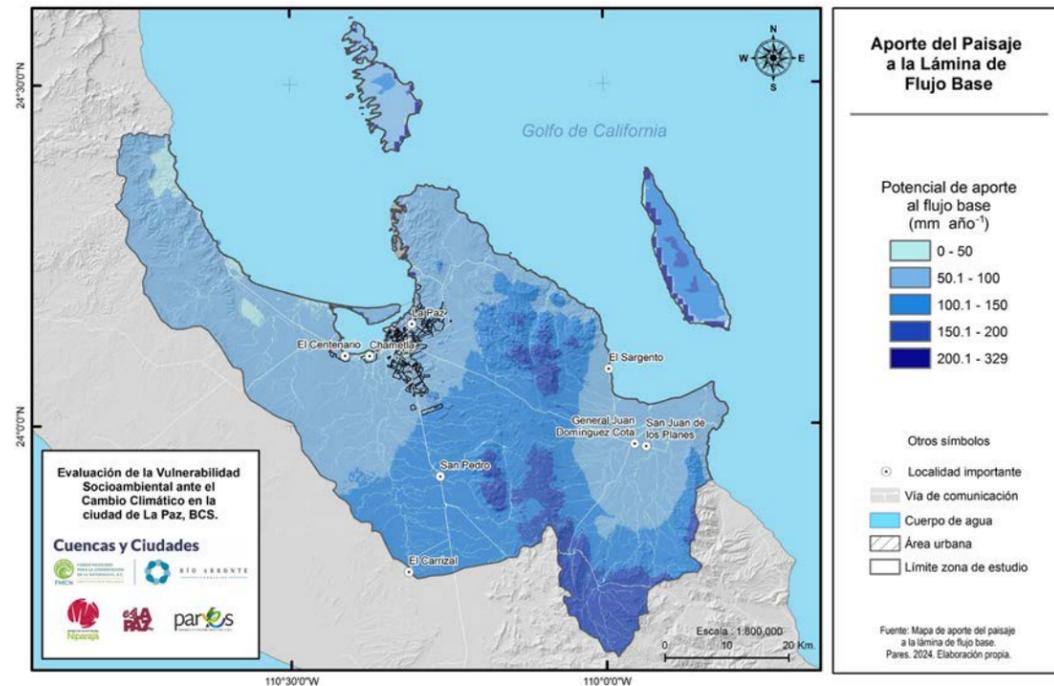


Figura 59. Distribución espacial del aporte del paisaje a la recarga de mantos acuíferos. Fuente: Pares A.C.

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, las cuales permitirán priorizar y focalizar acciones encaminadas a reducir la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. El 31.7% (112,473.1 ha) de la zona de estudio coincidió con las zonas de alta provisión superficial del agua (WY), ubicadas en la parte sur y sureste, mientras que, el 51.2% presentó áreas de baja provisión. Las zonas con mayor potencial de retener suelos abarcaron el 10% (35,253 ha) del área de la cuenca y se superpusieron espacialmente con las áreas a mayor altitud en las Sierras de El Novillo, Las Cruces y Las Trincheras. Por su parte, el 19% (71824.4 ha) del área

de la cuenca coincidió con las áreas prioritarias en almacenamiento de carbono, siendo los ecosistemas bosque de encino y selva baja los más representativos. En ese sentido, el 39% del área muestra una alta capacidad de infiltración de agua al año, mientras que el 25.5% de la superficie tuvo un aporte alto de agua al flujo base; y el 97% de la superficie tiene un alto aporte al flujo rápido (Cuadro 46), lo cual indica una alta susceptibilidad a eventos hidrometeorológicos extremos como lluvias intensas y prolongadas. Esta condición puede elevar significativamente el peligro de inundaciones repentinas, inestabilidad de laderas y erosión.

Cuadro 46. Nivel de prioridad para la provisión de servicios ecosistémicos (Porcentaje). Fuente: Pares A.C.

Categoría de erosión	Infiltración	B	WY	SR	CS
Muy baja	0.075	0.043	0.192	0.506	0.006
Baja	0.236	0.445	0.319	0.249	0.031
Media	0.292	0.257	0.171	0.145	0.744
Alta	0.235	0.243	0.187	0.077	0.020
Muy alta	0.162	0.012	0.131	0.023	0.200

Para obtener el mapa de servicios ecosistémicos integrados 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. En la Figura 60 se 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 servicios ecosistémicos, así como aquellas áreas que requieren atención, debido a la pérdida potencial de servicios, en un escenario futuro en donde pudieran existir cambios en los usos de suelo y en el clima.

El mapa de priorización de servicios ecosistémicos muestra que cada categoría de priorización abarca diferentes ecosistemas y usos de suelo, en el Cuadro 47 se puede ver la superficie que ocupa cada categoría de priorización y la proporción de la categoría en la superficie total de la zona de estudio. Posteriormente se describe el tipo de vegetación y usos de suelo que predominan en las distintas categorías de priorización y su importancia para la resiliencia de la ciudad y su entorno.

En el mismo mapa se pueden apreciar las áreas críticas que están representadas por su bajo nivel en la provisión de al menos tres servicios ecosistémicos, estas zonas se ubican en la parte baja de la cuenca y coinciden espacialmente con las áreas de mayor actividad humana y también en la parte alta de la cuenca, donde se distribuyen la vegetación arbustiva y los pastizales. De la superficie total de la zona de estudio, el 43.3% del área se identificó con las áreas de muy alta prioridad y el 21.7% con las áreas de muy baja y baja prioridad (Figura 60).

Prioridad de SE	Superficie (ha)	% de la superficie total
Muy Alta	77,526.30	21.40
Alta	74,982.10	20.70
Media	130,111.60	35.90
Baja	54,529.80	15.00
Muy Baja	25,385.90	7.00
Total	362,535.70	100.00

Cuadro 47. Superficie por categoría de prioridad de Servicios Ecosistémicos
Fuente: Pares A.C.

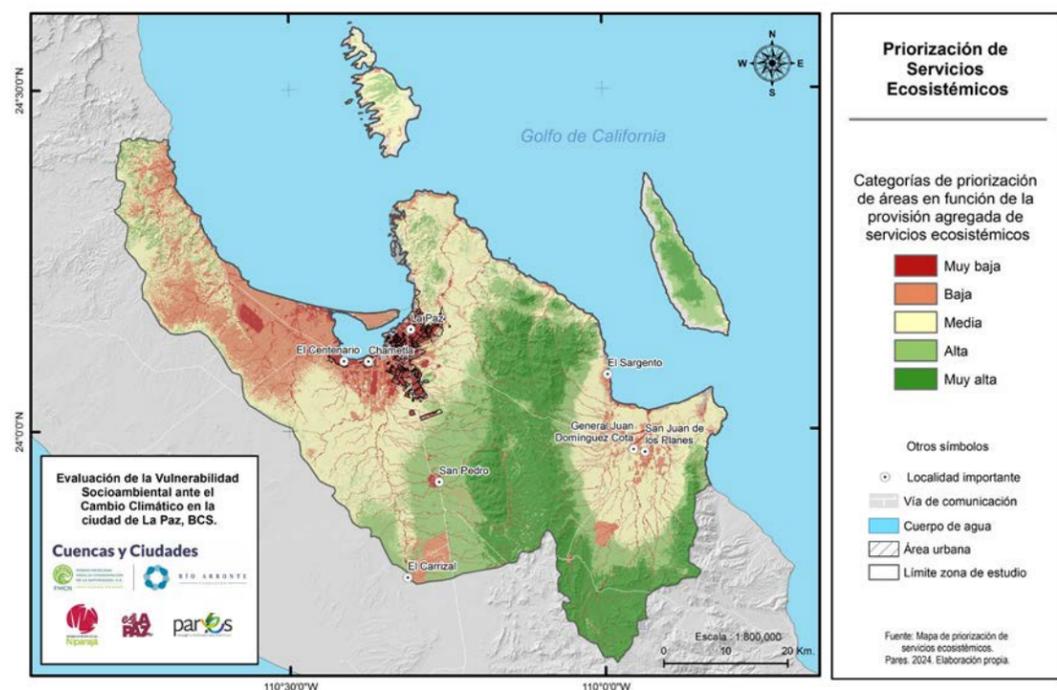


Figura 60. Áreas prioritarias para la provisión de servicios ecosistémicos.
Fuente: Pares A.C.

Los resultados del análisis de los fragmentos de vegetación revelan una clara dominancia de matorral sarcocaulé y de selva baja caducifolia en las categorías de Muy Alta, Alta y Media prioridad en términos de servicios ecosistémicos (**Cuadro 48**).

Muy Alta prioridad: La selva baja caducifolia concentra el 98% de la superficie en esta categoría (69,960.30 ha), destacando la importancia de la preservación de este ecosistema por los servicios que brinda.

Alta prioridad: Predomina el matorral sarcocaulé y sus estados sucesionales, con 38,321.80 ha que corresponden al 59.36% de la superficie en esta categoría, seguido por la selva baja caducifolia que concentra cerca del 23.87% de esta categoría con un total de 17,897.60 ha, en esta categoría también destacan los matorrales sarco-crasicaule con 13,602.10 ha (18.14%). Estos tres tipos de vegetación concentran el 93.12% de esta categoría

Media prioridad: En esta categoría predominan los matorrales y sus sucesiones: el matorral sarcocaulé con 60% de la superficie de esta categoría (78,031.10 ha), y en segundo lugar el matorral sarco-crasicaule con una superficie de

41,491.8 ha que equivale 31.9%. Con menor superficie (2,431.1 ha), en esta categoría se presenta la agricultura de riego anual y semipermanente.

Baja prioridad: Los polígonos clasificados como de baja prioridad en cuanto a servicios ecosistémicos están predominantemente ocupados por el matorral sarcocaulé y sus sucesiones con una superficie de 25,778.20 ha representando el 47.28% y el matorral sarco-crasicaule con 29.7%. La agricultura de riego anual y semipermanente ocupa el tercer lugar de esta categoría, con 4,930 ha (9.04%) de la superficie.

Las áreas clasificadas como de Muy Baja prioridad para los servicios ecosistémicos están principalmente ocupadas por los asentamientos humanos que ocupan 7,512 ha (cerca de 30% de esta categoría) el matorral sarcocaulé con 4,546.4 ha (17.9% de la superficie), y el matorral sarco-crasicaule con 4,351.6 ha (17.14%).

Cuadro 48. Categorías de priorización de servicios ecosistémicos por tipo de vegetación. Fuente: Pares A.C. clasificación de acuerdo con los usos de suelo y vegetación Serie VII INEGI.

Uso de suelo y vegetación	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	Total
Matorral sarcocaulé*	7.0%	58.1%	59.9%	47.2%	22.3%	42.3%
Selva baja caducifolia	89.0%	23.9%	1.7%	1.0%	9.2%	25.4%
Matorral sarco-crasicaule*	1.0%	19.5%	31.9%	29.7%	19.0%	21.5%
Asentamientos humanos	0.1%	0.9%	1.0%	2.7%	29.6%	3.0%
Agricultura	0.0%	0.9%	2.8%	13.7%	9.3%	3.5%
Bosque de encino	2.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0.4%	0.7%
Pastizal inducido	0.1%	0.7%	0.3%	0.8%	4.0%	0.6%
Vegetación halófila xerófila	0.0%	0.8%	0.6%	0.1%	0.7%	0.5%
Vegetación de dunas costeras	0.0%	0.0%	0.2%	2.0%	0.8%	0.4%
Sin vegetación aparente	0.0%	0.0%	0.3%	0.8%	0.4%	0.3%
Vegetación de galería	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.0%	0.1%
Manglar	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
Cuerpo de agua	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Selva de galería	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Importancia de la vegetación en la cuenca de La Paz.

De acuerdo con la Sociedad de Historia Natural Niparáj², “en la vegetación predominan el matorral y la selva baja caducifolia. Estos dos tipos de vegetación están adaptados para resistir condiciones de aridez y sequía, y se caracterizan por tener árboles y arbustos de menos de diez metros de altura. Entre los servicios ecosistémicos que prestan los matorrales se cuenta la regulación de nutrientes, la polinización, el control biológico, el ser hábitat, refugio y criadero de especies endémicas, así como la producción de alimentos, textiles y medicinas”. (Conabio, 2022 citado por Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2023).



Bursera microphylla (Torote)
Fotografía. Enciclovida

Los principales impactos a los que están sometidos los matorrales son los cambios de uso de suelo, destacando el pastoreo descontrolado, que es una de las principales causas de deterioro junto con los desmontes para agricultura y ganadería. Estos cambios ocasionan la pérdida de la vegetación a causa de la compactación y erosión del suelo, la extracción de especies maderables y la explotación descontrolada de plantas como materia prima industrial (elaboración de cera que destruye la planta en su totalidad).

Por su parte, la importancia de la selva baja caducifolia es ser el hábitat de especies silvestres endémicas y/o de valor comercial, además de los diversos servicios ecosistémicos que brinda, como son la captura de carbono, conservación de suelos, de biodiversidad y de riberas, así como regulación de clima y mantenimiento de los ciclos minerales.

² Sociedad de Historia Natural Niparáj (2023). Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz. BCS, México.

En el caso de La Paz, el matorral sarcocaula es un tipo de hábitat en el que la mayoría de plantas son suculentas, es decir, que tienen tallos carnosos y son capaces de almacenar agua. Este hábitat se caracteriza por la dominancia de arbustos de corteza papirácea (papiros), que crecen sobre terrenos rocosos y suelos delgados. Algunas plantas típicas de este hábitat son el torote, el copal, el ciruelo, el lomboy, la matacora y el palo Adán.



Jatropha cuneata (Matacora)
Fotografía inaturalist.org

En la región de estudio se identificaron remanentes de otros ecosistemas, que si bien no abarcan superficies tan importantes como los matorrales y la selva seca, son igualmente relevantes en términos de los servicios ecosistémicos que prestan y, dado su deterioro, requieren de acciones enfocadas a su restauración y conservación: los manglares, vegetación de dunas costeras y humedales costeros.

La importancia de estos ecosistemas reside en la variedad de servicios ecosistémicos que brindan, particularmente como amortiguadores frente a los impactos del cambio climático: actúan como sistemas naturales para el control de inundaciones, como barreras contra huracanes, así como ante el avance de la intrusión salina; además, controlan la erosión y protegen las costas al mantener los procesos de sedimentación; son zonas de alimentación,

refugio y crecimiento de la vida marino-costera; proveen recursos maderables; poseen un alto valor estético y recreativo, además de almacenar y secuestrar CO₂ (Conabio, 2022 citado por Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2023).



Humedales costeros y manglares en la zona de estudio
Fotografía. Pares A. C.

Los manglares y humedales de la zona de estudio están protegidos tanto por instrumentos de conservación internacionales Sitio Ramsar Humedales El Mogote - Ensenada de La Paz (Ramsar, 2008b) y Sitio Ramsar Balandra (Ramsar, 2008a) como por instrumentos de conservación nacional Área de Protección de Flora y Fauna Balandra (Conanp, 2022; Semarnat y Conanp, 2016). Además, los humedales de la bahía de La Paz son considerados áreas de importancia para la conservación de las aves (AICA) debido a que en esa zona inverna una gran cantidad de aves playeras (Arizmendi y Márquez, 2000) (citados por Sociedad de Historia Natural Niparáj (2023)). La superficie total de ecosistemas en alguna de las categorías de priorización de servicios ecosistémicos puede consultarse en el anexo IV.



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 índice proporciona una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas de adaptación al cambio climático específicas para cada contexto.

Cuadro 49. Matriz de valoración de la vulnerabilidad socioambiental. Fuente: Pares A.C.

Impacto Potencial	Valoración Ecosistémica				
	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Muy alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Media
Alta	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta	Media
Media	Alta	Alta	Media	Media	Media
Baja	Alta	Media	Media	Media	Baja

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 49** 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 61**).

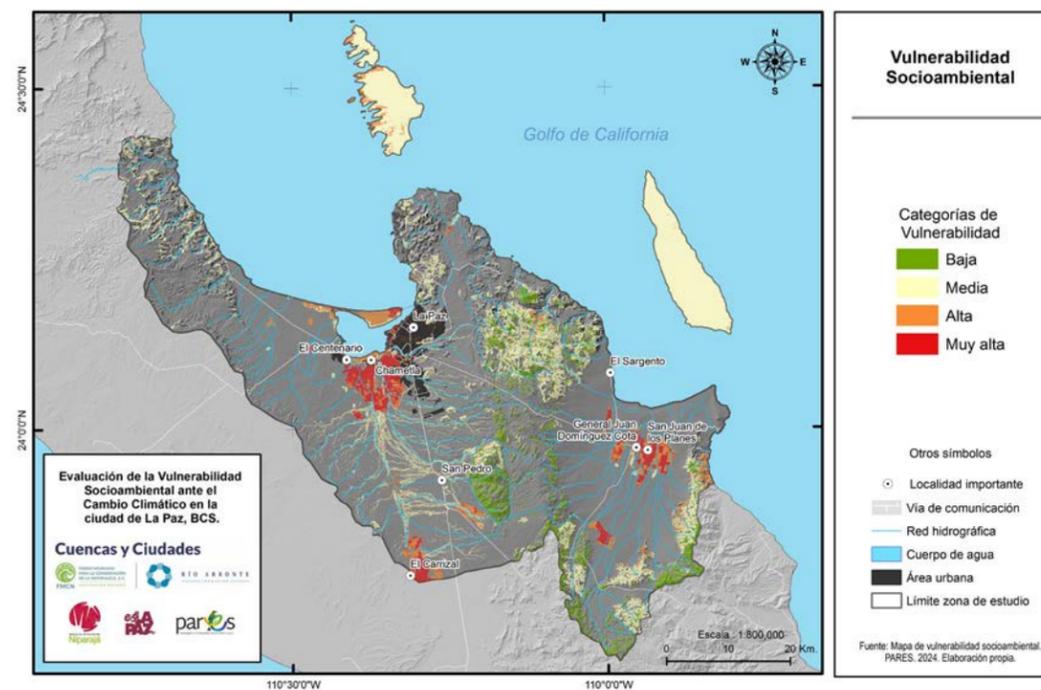


Figura 61. Mapa de Vulnerabilidad Socioambiental de La Paz. Fuente: Pares A.C.

El mapa muestra una superficie de 95,734.31 ha con algún grado de vulnerabilidad en la zona de estudio. Esta vulnerabilidad se distribuye de la siguiente manera, el 16% corresponde al sistema productivo, el 58% al sistema natural, el 25% al territorio insular y el 1% restante a la ciudad de La Paz. Desde el punto de vista de las categorías de vulnerabilidad la distribución de esta superficie se integra como sigue: La categoría Media ocupa la mayoría del territorio vulnerable con 62% de la superficie; en mucha menor proporción le sigue la categoría Baja con el 17%, por otro lado, la categoría Alta ocupa el 13% y la vulnerabilidad Muy Alta únicamente agrupa al 9% de la superficie.

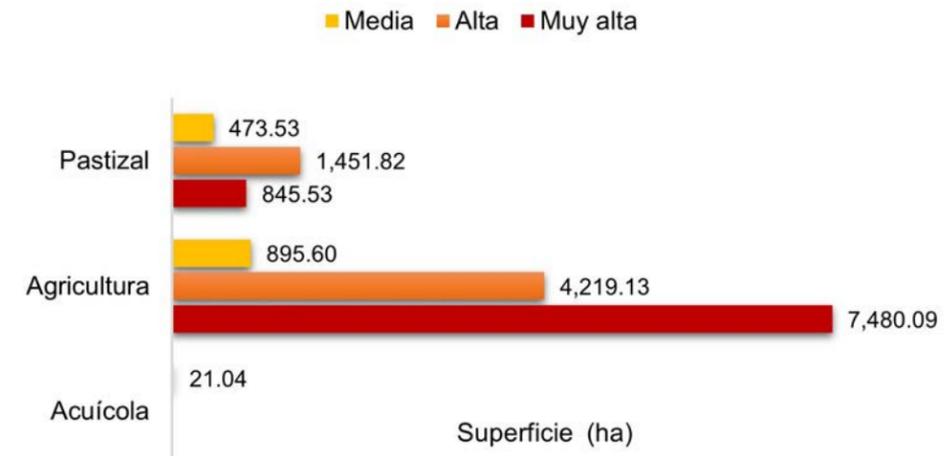
Los resultados del análisis de vulnerabilidad revelan un panorama heterogéneo en la ciudad de La Paz. El sistema productivo presenta una alta vulnerabilidad, con el 54% de su superficie clasificada como Muy Alta. Por su parte, el sistema natural muestra un nivel de vulnerabilidad medio en el 31.40% de su extensión. Las islas, en su mayoría (95%), también se encuentran en la categoría de vulnerabilidad Media. Finalmente, en el área urbana predomina la categoría Alta, con el 60% de la superficie vulnerable concentrada en esta categoría.

Dentro del sistema natural, las selvas bajas caducifolias presentan la mayor superficie vulnerable con 34,017

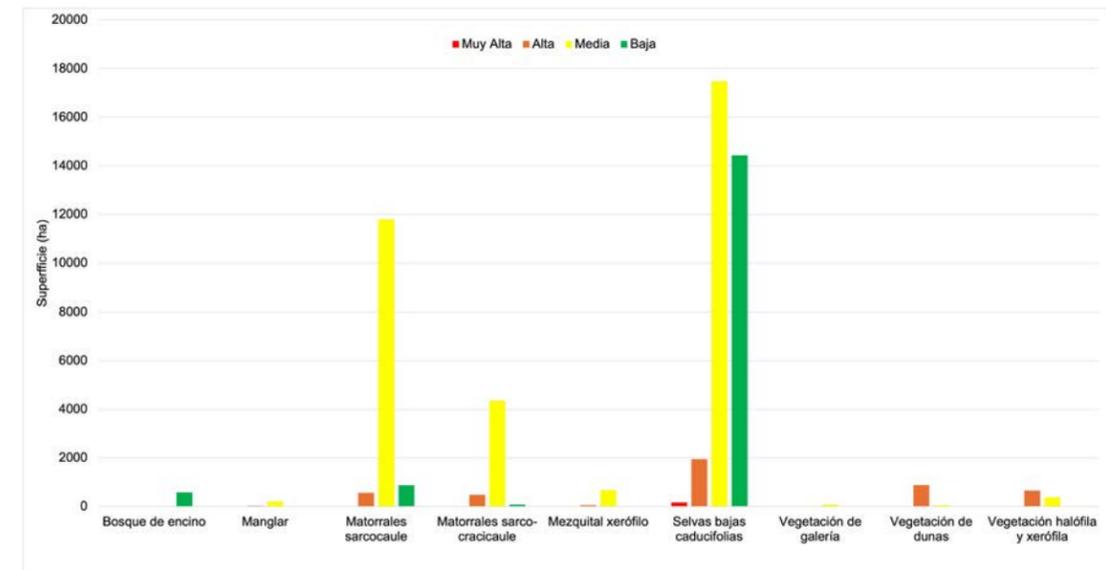
hectáreas (60.98% del total), seguidas de los matorrales sarcocaulé con 13,237.75 hectáreas (23.73%). En cuanto al sistema productivo, la agricultura de riego concentra la mayor superficie vulnerable, con 12,597 hectáreas, lo que representa el 13% de toda la superficie vulnerable. (Ver **Cuadro 50** y **Gráficas 31** y **32**).

Subcuenca	Vulnerabilidad				Total general
	Muy alta	Alta	Media	Baja	
Sistema productivo	8,325.62	5,670.95	1,390.17	8.08	15,394.82
Acuícola			21.04		21.04
Agricultura	7,480.09	4,219.13	895.60	2.71	12,597.53
Pastizal	845.53	1,451.82	473.53	5.37	2,776.25
Sistema natural	167.38	4,631.26	35,020.88	15,959.20	55,778.71
Bosque de encino		13.91	12.42	579.29	605.63
Manglar	0.29	28.98	207.72	0.21	237.21
Matorrales sarcocaula	1.53	566.18	11,792.25	877.78	13,237.75
Matorrales sarco-cracicaule		479.02	4,358.00	75.45	4,912.46
Mezquital xerófilo		54.29	668.82	1.04	724.15
Selvas bajas caducifolias	165.55	1,943.52	17,483.06	14,425.42	34,017.55
Vegetación de galería		7.48	74.92		82.40
Vegetación de dunas		881.19	3.92		926.00
Vegetación halófila y xerófila		656.70	378.87		1,035.57
Islas		1,287.32	22,620.23		23,907.55
Urbano	201.23	391.39	60.60		653.22
Total general	8,694.23	11,980.93	59,091.87	15,967.27	95,734.31

Cuadro 50. Superficies vulnerables de los sistemas productivo y natural. Fuente: Pares A.C.



Gráfica 31. Superficies vulnerables del sistema productivo. Fuente: Pares A.C.



Gráfica 32. Superficies vulnerables del sistema natural. Fuente: Pares A.C.

Ubicación de sitios de interés por su vulnerabilidad

Tomando como base la **Figura 32** que corresponde al mapa de vegetación y usos del suelo de zona de estudio hemos señalado con círculos de colores los sitios que por su condición de vulnerabilidad o ausencia de ésta (**Figura 62**) 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.

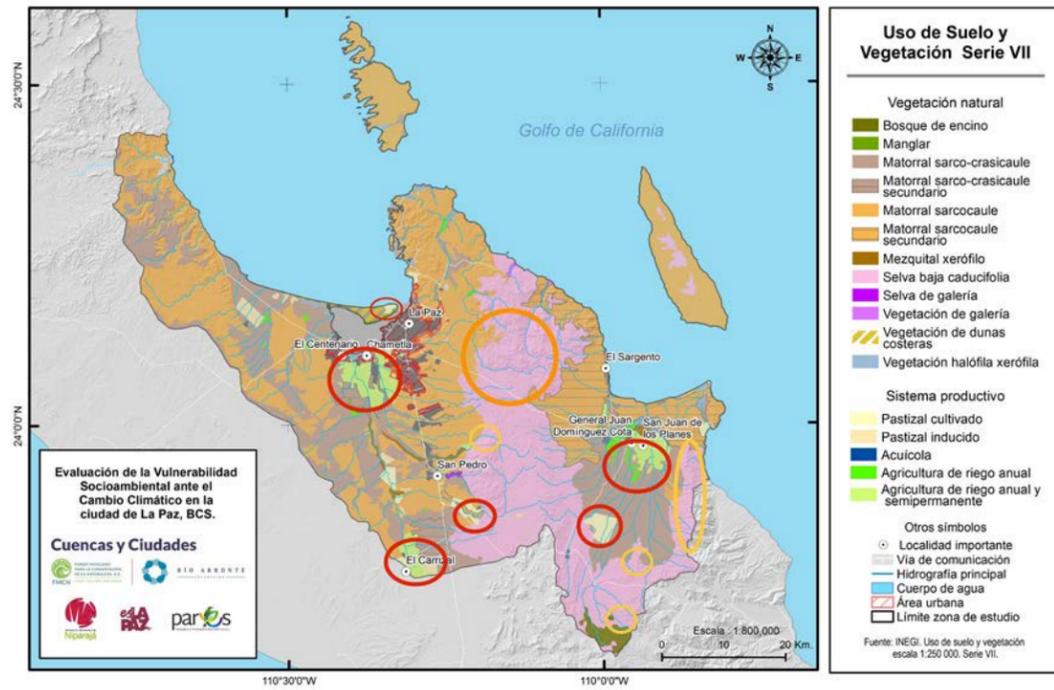


Figura 62. Mapa de usos del suelo y vegetación 2024 con sitios de interés .
Fuente: Pares A.C.

Sitio y ubicación de acuerdo con la Figura 62

Imagen satelital

Polígonos en color Rosa en el mapa de vegetación.

Corresponden al ecosistema de selva baja caducifolia y no son vulnerables en la actualidad

Ubicación: entre las sierras de El Novillo y Las Cruces.

Estas selvas, que en la actualidad no son vulnerables, brindan servicios ecosistémicos muy importantes para La Paz, como por ejemplo la captación de agua de lluvia y su infiltración al acuífero, protección frente la erosión en las laderas, almacenamiento de carbono, entre otros. Si se eliminan o deterioran pueden perder la capacidad de ofrecer estos servicios.



Círculo naranja.

Ubicación: Al norte de la sierra de El Novillo, hacia las partes altas de la sierra de Las Cruces, la selva baja presenta zonas vulnerables con categorías Baja y Media. En esta porción del territorio las selvas se observan más fragmentadas, posiblemente porque están sujetas a procesos erosivos, pero aun así continúan brindando los servicios ecosistémicos descritos en la imagen anterior.



Sitio y ubicación de acuerdo con la Figura 62

Imagen satelital

Por su parte en la Sierra de El Novillo la selva presenta vulnerabilidad baja.

Hacia el sur y sureste de la zona de estudio se identifica un polígono importante de selva baja caducifolia con vulnerabilidad entre media y baja, abarcando las localidades de San Antonio, Escalama, San Antonio de la Sierra, Agua Blanca, Los Potrerillos, La Palmilla.

De esta sierra proviene el mayor aporte de agua al acuífero por lo que su preservación es fundamental para garantizar este servicio. En la imagen se aprecian los cauces de arroyos intermitentes que descienden a ambos lados de la sierra.



En el caso de los arroyos intermitentes, todos se ubican en vulnerabilidad Media a Alta sobre todo algunos cauces que drenan hacia la zona urbana.

Ante eventos climáticos extremos estos arroyos de repuesta rápida suelen inundar las zonas urbanas y rancherías por lo que se deben buscar alternativas que permitan por una parte captar e infiltrar el agua de lluvia, y por otra proteger con vegetación los cauces de los arroyos.

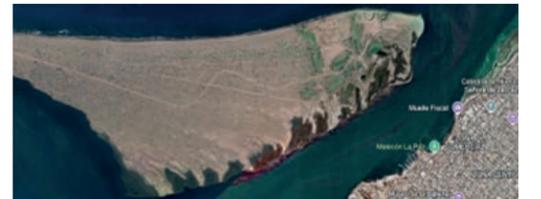


Círculo rojo: Punta de El Mogote

Ubicación: Punta de la península de El Mogote zona con muy alta vulnerabilidad en donde se aprecian desarrollos turísticos (como el fraccionamiento Paraíso del Mar).

En el resto de la barra la vulnerabilidad se ubica como Alta, esta zona se caracteriza por vegetación de dunas costeras y en la costa sur de la barra se identifican manglares con vulnerabilidad Media.

Los manglares son muy importantes por la multiplicidad de servicios ecosistémicos que proporcionan, entre los más importantes, la regulación de flujos de nutrientes, biodiversidad y control de inundaciones. Motivos por los que es importante preservarlos e incluso restaurarlos.



Manglares en El Mogote



Dunas costeras en El Mogote



Sitio y ubicación de acuerdo con la Figura 62

Imagen satelital

Las islas frente a la Bahía de La Paz presentan vulnerabilidad Media, y se caracterizan por la ausencia de habitantes por lo que los ecosistemas característicos como el matorral sarcocaula se conservan en buen estado y aportan servicios ecosistémicos que es importante mantener.



Por su parte en las islas Espíritu Santo y Partida hay presencia de manglares con vulnerabilidad Alta. Estos manglares juegan un papel relevante en la protección de la costa, evitando que las pequeñas playas asociadas se erosionen.

Imagen satelital muestra un detalle del manglar en Isla Partida.



Círculo rojo.

Ubicación: Uso agrícola anual y semi permanente con Muy alta y alta vulnerabilidad en la localidad de San Juan de los Planes.



Cuadro 51. Sitios de interés por su grado de vulnerabilidad. Fuente: Pares A.C.

Para profundizar en la vulnerabilidad socioambiental del centro de población de La Paz, se realizó un análisis detallado de la **Figura 63**. Este enfoque nos permitió identificar que aproximadamente 30,883 habitantes presentan algún grado de vulnerabilidad. El análisis detallado de la vulnerabilidad reveló que el 45% de la población (13,783 personas) se encuentra en una situación de Muy Alta vulnerabilidad. Por su parte, el 52% (15,905 personas) se clasifica como Alta vulnerabilidad, mientras que solo el 4% (1,195 personas) presenta una vulnerabilidad Media.

Es importante señalar que para La Paz existen un importante número de áreas urbanas que la capa de colonias de CONAPO no tiene registradas con nombre. En estas zonas, que podrían ser manzanas irregulares, la vulnerabilidad alcanza a 1,360 habitantes, de los cuales 333 están en la categoría de Muy Alta, 746 en la categoría de Alta y 281 en la vulnerabilidad media.

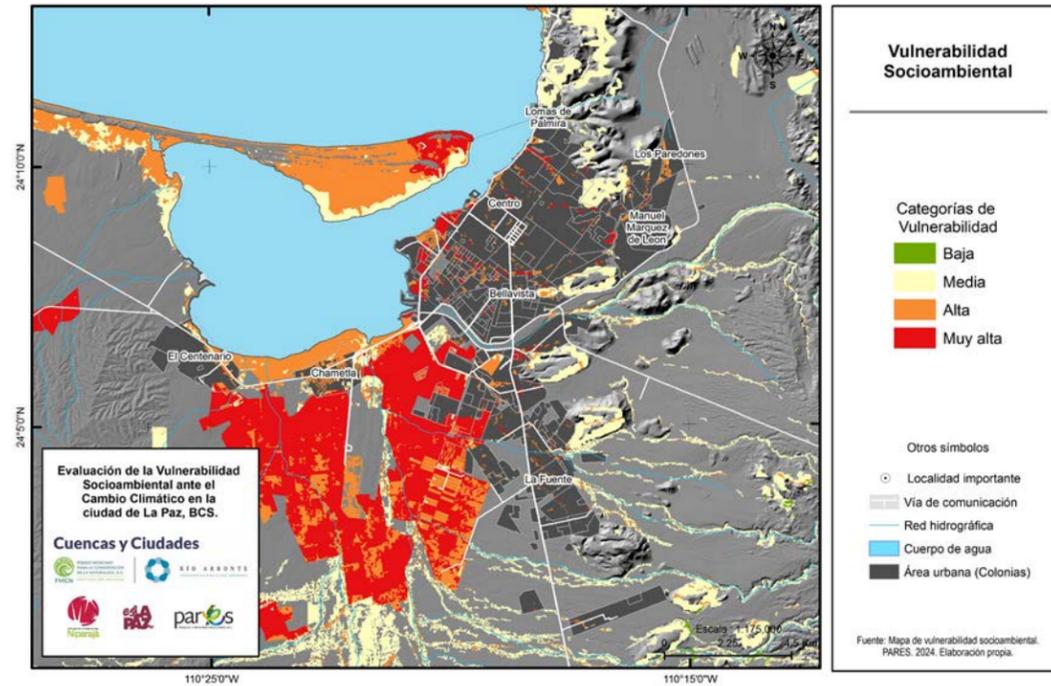


Figura 63. Vulnerabilidad socioambiental en la zona urbana de La Paz. Fuente: Pares A.C.

Al analizar la vulnerabilidad a nivel de colonia en la ciudad de La Paz, encontramos que 170 de un total de 171 colonias presentan algún grado de vulnerabilidad. Sin embargo, al considerar solo aquellas con más de diez habitantes, este número se reduce a 149. Es importante destacar que, dentro de una misma colonia, pueden coexistir diferentes niveles de vulnerabilidad, lo que se evidencia en la **Gráfica 33**. Esta gráfica muestra que la categoría de Alta vulnerabilidad es la predominante entre las colonias.

Gráfica 33. Número de colonias por categoría de vulnerabilidad. Fuente: Pares, A.C.

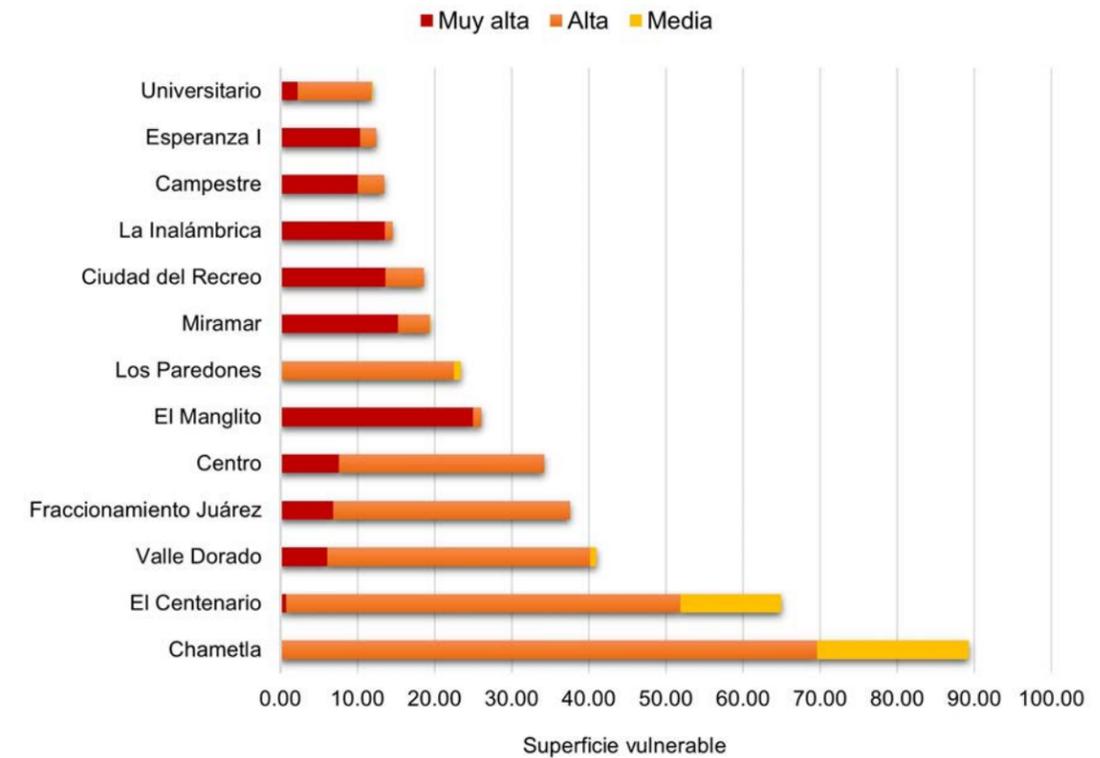


Las colonias con población más vulnerable (más de 500 habitantes en alguna categoría de vulnerabilidad se enlistan en el **Cuadro 52**.

Cuadro 52. Colonias con la población más vulnerables/ número de habitantes
Fuente: Pares, A.C.

Colonia	Muy Alta	Alta	Media	Población total Vulnerable por colonia
Miramar	2,317	491	16	2,824
Chametla		1,589	162	1,751
La Esperanza 2	1,176			1,176
Fraccionamiento Juárez	160	868		1,028
Antares		796	16	812
La Cima		742		742
Centro	284	419		703
Esperanza	700			700
Ciudad del Recreo	451	131		582

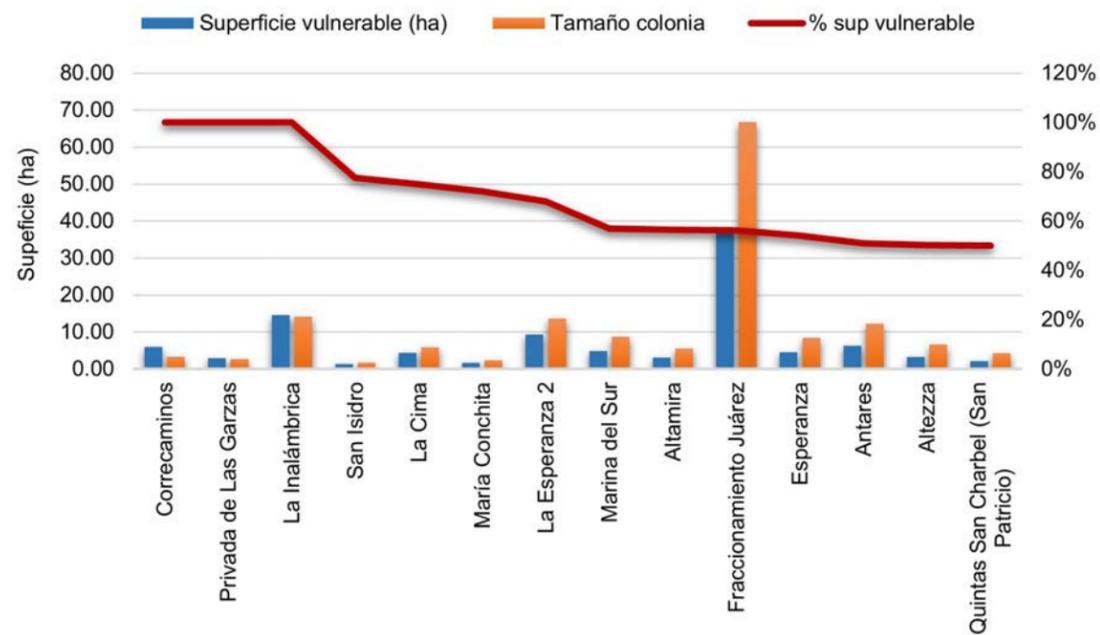
Si se considera la superficie de las colonias con algún grado de vulnerabilidad, de las 170 colonias reportadas, 79 presentan por lo menos alguna de las cuatro categorías de vulnerabilidad en al menos el 10% de su superficie. Sin embargo, el mayor interés se centra en identificar las colonias con las mayores superficies vulnerables. La **Gráfica 34** muestra las 13 colonias cuya superficie acumulada excede las diez hectáreas y sus correspondientes categorías de vulnerabilidad (muy alta, alta y media).



Gráfica 34. Colonias con las mayores superficies en muy alta y alta vulnerabilidad. Fuente: Pares, A.C.

Por su parte, 82 colonias presentan superficies importantes del orden de 1 a 10 hectáreas en alguna categoría de vulnerabilidad y 75 colonias más tienen superficies en alguna categoría de vulnerabilidad menores a una hectárea.

Al analizar el porcentaje de superficie vulnerable en cada colonia, encontramos que las colonias más pequeñas presentan una particular relevancia. De las 14 colonias con más del 50% de su superficie clasificada como Muy Alta, Alta o Media, tres de ellas (La Inalámbrica, Correcaminos y Privada de las Garzas) tienen toda su extensión en estas categorías, aunque su tamaño no supera las 10 hectáreas. Destaca también el Fraccionamiento Juárez, donde casi la mitad de sus 40 hectáreas presenta algún nivel de vulnerabilidad. (**Gráfica 35**).



Gráfica 35. Relación entre el área (ha) y las colonias con más del 50% de superficie vulnerable Fuente: Pares, A.C.

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 La Paz. Al descomponer la vulnerabilidad en componentes sectoriales como el turismo, la infraestructura urbana, los sistemas agropecuarios 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), “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 positivo 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)⁴.

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 de estudio. En este capítulo se aborda la vulnerabilidad de los principales sectores productivos asociados a la ciudad de La Paz.

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 atributo 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 más 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

De acuerdo con el Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz. BCS (Sociedad de Historia Natural Niparajá, 2024)⁵, “la mayor parte de la población se concentra en la zona urbana, además de ser el principal destino turístico, con las implicaciones que esto tiene en materia de acceso a agua de calidad y su disposición final. Otro aspecto importante de la zona urbana es que se localiza en la parte baja de la cuenca, así que recibe los impactos acumulados, positivos y negativos, de las actividades en las partes media y alta de la cuenca. La zona urbana de La Paz incluye tanto a la ciudad como a las localidades conurbadas de Chametla y El Centenario, entre las tres localidades ocupan alrededor de 92 km². El crecimiento del suelo urbano es 50 por ciento más rápido que el crecimiento de la población urbana. Entre 2010 y 2020, la mancha urbana en la cuenca y el acuífero de La Paz creció 51.6 por ciento, mientras que en el mismo periodo, el crecimiento poblacional fue de 18 por ciento, expandiéndose principalmente hacia el suroeste, en la zona baja de la cuenca de La Paz. Este crecimiento, aunado a la impermeabilización del suelo por el efecto de la pavimentación afecta, tanto la capacidad de infiltración de la cuenca, como la velocidad y el volumen de las corrientes que se forman por las tormentas tropicales y que atraviesan la ciudad hacia el mar. Asimismo, afecta la capacidad de recarga del acuífero, lo cual aumenta la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura urbana ante los impactos del cambio climático”.

En ese sentido se analizó la vulnerabilidad actual (Figura 64) ante eventos relacionados con el cambio climático en 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.

⁴ Banco Interamericano de Desarrollo, 2010. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica

⁵ Sociedad de Historia Natural Niparajá (2023). Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz. BCS, México.

Los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad de los sectores urbanos se muestran en el **Cuadro 53**, esta información destaca que de 171 unidades económicas e instalaciones con categorías Muy Alta (55) y Alta (116) de vulnerabilidad, el 68.4% (117 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 48.6% (48 infraestructuras) y finalmente la acuicultura (instalaciones acuícolas y oficinas del ramo) cercana a la zona urbana con el 3.5% (6 instalaciones).

Cuadro 53. Vulnerabilidad del sector urbano de La Paz. **Fuente:** Pares, A.C.

Vulnerabilidad sectorial zona urbana			
Sector	Muy alta	Alta	Total general
Acuicultura	2	4	6
Acuicultura	2	4	6
Infraestructura	27	21	48
Escuelas	16	12	28
Gobierno	6	6	12
Hospitales	4	1	5
Energía eléctrica	1	2	3
Turismo	26	91	117
Bares-discotecas		29	29
Restaurantes	21	43	64
Servicio de alojamiento	5	19	24
Total general	55	116	171

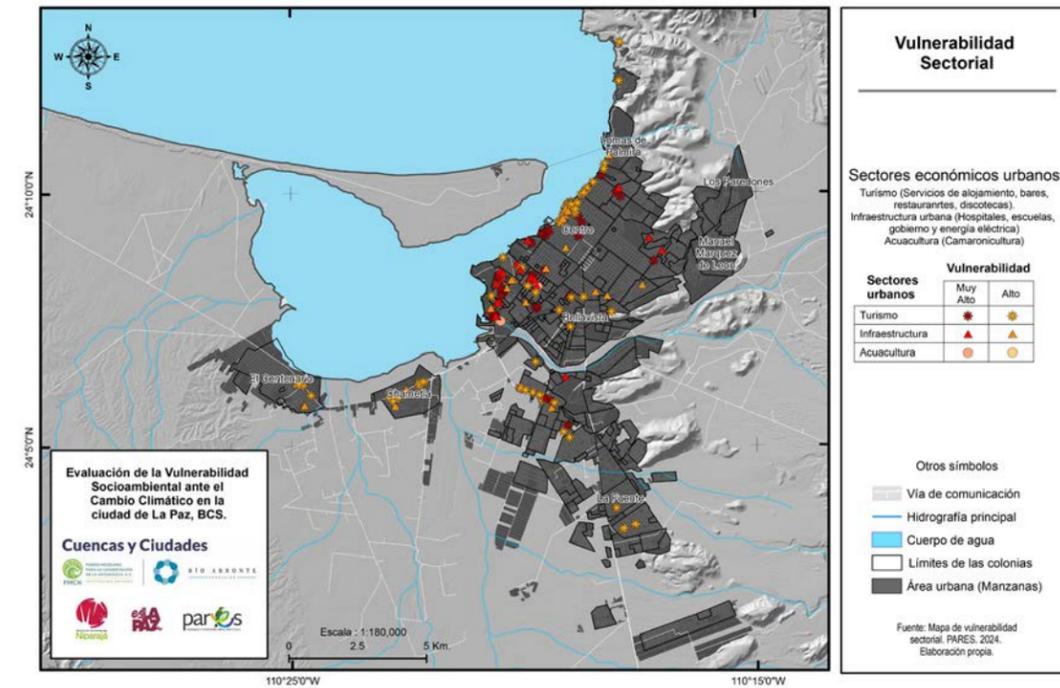
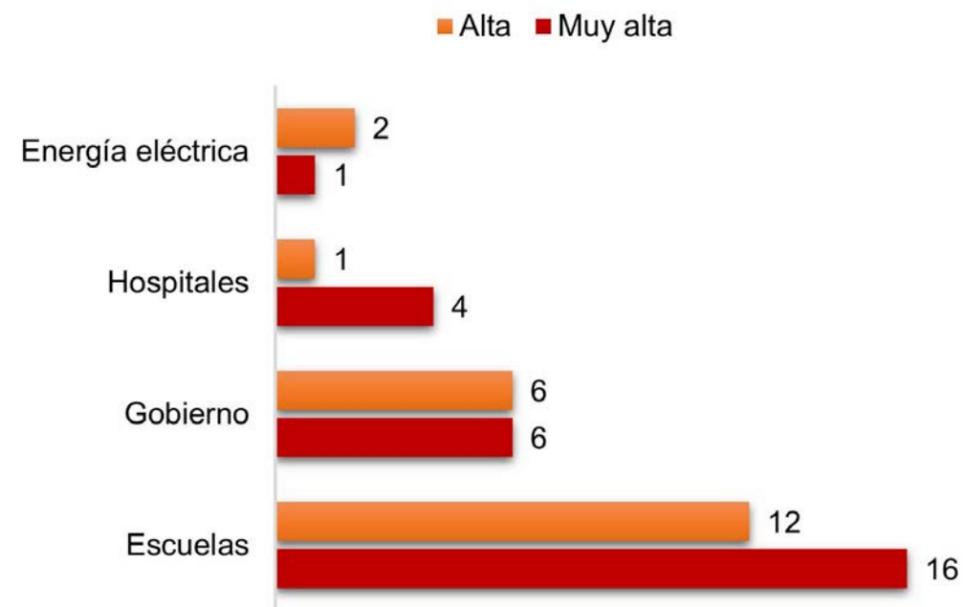


Figura 64. Vulnerabilidad de los sectores urbanos. **Fuente:** Pares A.C.

Un análisis detallado permite identificar con mayor precisión las infraestructuras que presentan mayor vulnerabilidad, las cuales se concentran en las colonias ubicadas al occidente de la zona urbana, principalmente en las colonias Bahía de La Paz, Puesta de Sol y al sur de El Conchalito.

Los datos obtenidos ponen de manifiesto la alta vulnerabilidad de varias escuelas dentro de la zona de estudio, 12 en categoría de Muy Alta vulnerabilidad y 16 en categoría de Alta vulnerabilidad (**Gráfica 36**). Esta situación resulta preocupante si consideramos que en estas instalaciones se encuentran estudiantes de diversas edades aunado al papel que desempeñan estos espacios como refugios durante eventos climáticos extremos. El hecho de que muchas escuelas estén ubicadas en zonas vulnerables compromete su capacidad para ofrecer un entorno seguro a la comunidad en momentos de crisis.

El sector gubernamental y las infraestructuras energéticas sobresalen como puntos críticos en términos de vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Con 6 edificios gubernamentales en categoría de vulnerabilidad Muy Alta y 6 oficinas de gobierno en categoría Alta, además de 3 instalaciones eléctricas clasificadas como de Alta y Muy Alta vulnerabilidad, la mayoría de éstas ubicadas en las colonias antes mencionadas, la continuidad de los servicios públicos y el suministro eléctrico se pueden encontrar en peligro, lo que podría tener consecuencias significativas para la población y los turistas en caso de emergencia.



Gráfica 36. Número de instalaciones urbanas por categoría de vulnerabilidad.
Fuente: Pares, A.C.

En el sector dedicado a las actividades turísticas (servicios de alojamiento, bares y discotecas y restaurantes) se identificaron un total de 117 instalaciones vulnerables, 26 con vulnerabilidad Muy Alta y 91 con Alta.

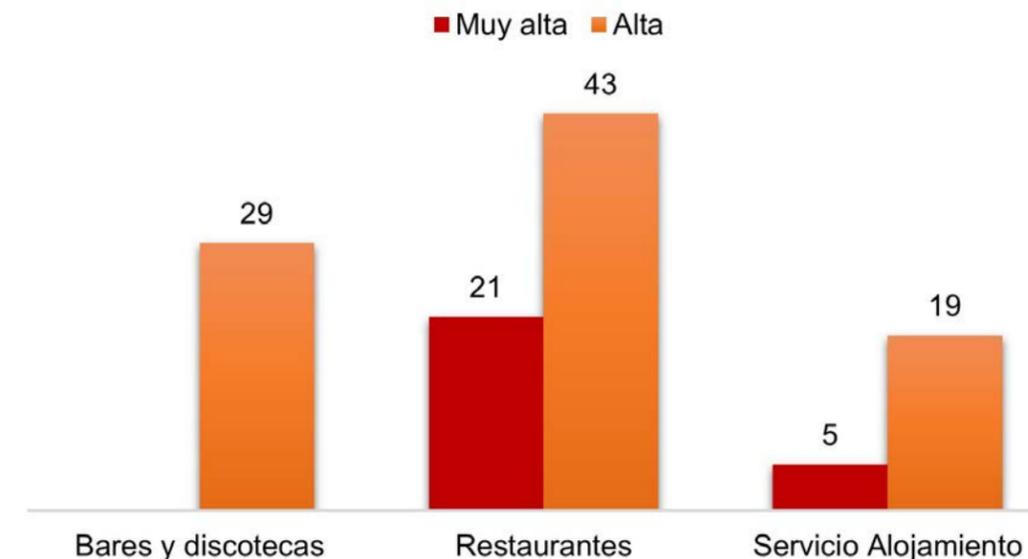
Lo anterior resulta significativo, de acuerdo con el Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz, BCS (Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2024):

“El turismo es la principal actividad económica del municipio. Cifras proporcionadas por el Gobierno del estado informan que en 2019 llegaron a la capital poco más de 500,000 pasajeros por vía aérea. Investigaciones recientes muestran que un turista promedio en un destino de playa consume entre 550 y 1,000 litros de agua por día, cantidad muy superior a la que consumen las personas residentes locales y turistas en destinos no costeros (Santacruz y Santacruz, 2020; Ruiz y Amador, 2018). Esta cifra se basa tanto en el consumo de la industria para satisfacer las necesidades básicas de sus huéspedes (duchas, inodoros, alimentos), como para regar los jardines o campos de golf, llenar las albercas o lavar la ropa de cama”.

Estos datos, así como la evidente dependencia del recurso hídrico con un acuífero actualmente sobreexplotado y con problemas de intrusión salina, indican la importancia de identificar las unidades económicas más vulnerables dedicadas a esta actividad, lo que permitirá diseñar e implementar medidas eficaces para una gestión adecuada del agua.

El análisis realizado muestra que los restaurantes son los que tienen el mayor número de unidades vulnerables con 64, de los cuales 21 clasifican en categoría Muy Alta y 43 en categoría de Alta vulnerabilidad, respectivamente. Los servicios de alojamiento (hoteles, Airbnb, etc.) presentan 24 instalaciones vulnerables, destacando 19 con Alta vulnerabilidad. Finalmente, los bares y discotecas con 29 vulnerables, todos ellos clasificados en Alta vulnerabilidad (Gráfica 37).

La mayoría de los servicios de alojamiento con Alta vulnerabilidad se localizan en la franja costera a partir del muelle fiscal hacia el norte, finalizando en Lomas de Palmira, mientras que en la zona centro se encuentran los de Muy Alta vulnerabilidad. De manera más dispersa hay algunos servicios de alojamiento con Alta vulnerabilidad hacia el interior de la franja costera, en colonias como Chametla y El Centenario, y hacia el sur en la colonia Balandra.



Gráfica 37. Número de instalaciones turísticas por categoría de vulnerabilidad.
Fuente: Pares, A.C.

En cuanto a las instalaciones del sector destinado a la acuicultura que se clasificaron como vulnerables, éstas se localizan en la colonia La Selva Fidepaz, posiblemente son oficinas o almacenes. Se identificaron 6 instalaciones vulnerables, de las cuales 2 se encuentran en categoría Muy Alta y 4 en categoría Alta.

Como se planteó anteriormente, la ciudad de La Paz y las actividades que en ella se desarrollan, particularmente las del sector turismo dependen del recurso agua, muy escaso y cada vez más comprometido tal como lo refiere el PAMIC (2024):

“en el acuífero de La Paz, el uso que tiene el mayor volumen concesionado es el público urbano, que junto con el doméstico suman 64 por ciento del volumen total anual concesionado (~20.1 Mm³). Según cifras oficiales, más del 95 por ciento de la población de la ciudad de La Paz cuenta con agua entubada dentro de su vivienda; sin embargo, el contar con una toma domiciliar conectada a la red pública no necesariamente implica que el agua llegue en cantidad suficiente y con una calidad óptima para consumo humano. En la zona nororiental de la ciudad es donde se presenta el mayor desabasto de agua potable, sobre todo en las colonias Villas de Guadalupe, Laguna Azul, Lagunitas, Vista Hermosa, Ampliación Vista Hermosa y Márquez de León”.

Vulnerabilidad del sector agropecuario

“En la cuenca de La Paz se cultiva principalmente jitomate, chile verde, maíz, mango, espárrago, cebolla y alfalfa (SIAP, 2023b). El volumen de producción de los dos primeros es alto, mientras que el espárrago y la alfalfa son cultivos perennes con gran valor de comercialización (Campbell, 2021). Otros cultivos de relevancia económica son la cebolla, el melón y el pepino, mientras que, en términos de superficie sembrada, también sobresale el maíz. En el acuífero de La Paz, el volumen concesionado para esta actividad suma 23 por ciento (casi 14 Mm³)” (Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2024).

Cultivo	Requerimientos de agua*
Espárragos	976.6 litros/kg
Pepino	350 litros/kg
Cebolla	300 litros/kg
Chile	287 litros/kg
Tomate	188 litros/kg

* Cantidad de agua necesaria para producir, empaquetar y transportar un kilogramo de los principales productos agrícolas.

Cuadro 54. Agua necesaria para los cultivos representativos en La Paz. **Fuente:** Sociedad de Historia Natural, Niparajá (2024) con datos del Centro Virtual de Información del Agua (2018); Ríos-Flores et al. (2017).

Por su parte, “la ganadería ocupa el primer lugar a nivel estatal en la producción de carne de ganado bovino (más de 8,000 t/año), porcícola (~170 t/año) y avícola (más de 400 t/año), conocer el requerimiento de agua de estos productos, al igual que de los productos agrícolas, y contrastarlo con la disponibilidad actual es un ejercicio necesario dentro de un enfoque de cuenca que busca mantener la calidad y cantidad de los servicios ambientales hidrológicos” (Sociedad de Historia Natural Niparajá, 2024).

Cuadro 55. Requerimiento de agua para la producción ganadera. **Fuente:** Sociedad de Historia Natural, Niparajá (2024) con datos del Centro Virtual de Información del Agua (2018); Ríos-Flores et al. (2017).

Producto	Requerimientos de agua*
Carne de res	15,000 litros/kg
Carne de cerdo	6,500 litros/kg
Carne de pollo	4,500 litros/kg
Leche	1,00 litros/kg
Huevos	3,500 litros/kg

*Cantidad de agua necesaria para producir, empaquetar y transportar un kilogramo o litro de productos ganaderos.

Considerando la información aportada por el PAMIC, resalta la importancia de identificar las zonas destinadas a las actividades agropecuarias más vulnerables ante el cambio climático ya que su futuro depende de forma destacada de la variabilidad actual y futura de la precipitación y la gestión adecuada de este recurso.

Las actividades del sector agropecuario que se identificaron como vulnerables abarcan una superficie de 8,303.33 ha y todas fueron identificadas como de Muy Alta vulnerabilidad. Éstas se localizan principalmente en las cercanías de la zona urbana, al sur de las localidades de Chametla y El Centenario, y el resto entre la localidad de El Carrizal al sur de la cuenca de La Paz (básicamente pastizales) y las

localidades de General Juan Domínguez Cota y San Juan de los Planes, al suroriente de la zona urbana, dedicados a la agricultura de riego (**Figura 65**).

La mayor proporción de superficie vulnerable corresponde a la identificada como agricultura de riego anual y semipermanente con 6,622.06 ha (cerca de 80%), en segundo lugar, los pastizales con una superficie de 845.52 ha (10.2%) y finalmente la agricultura de riego anual con 835.75 ha (10.1%) (**Cuadro 56**).

Cuadro 56. Vulnerabilidad de las actividades del sector agropecuario (Superficie). **Fuente:** Sociedad de Historia Natural, Niparajá (2024) con datos del Centro Virtual de Información del Agua (2018); Ríos-Flores et al. (2017).

Superficie por categoría de vulnerabilidad (ha)		
Tipos de actividad	Muy alta	Total general
Agricultura de riego anual	835.75	835.75
Agricultura de riego anual y semipermanente	6,622.06	6,622.06
Pastizales	845.52	845.52
Total general	8,303.33	8,303.33

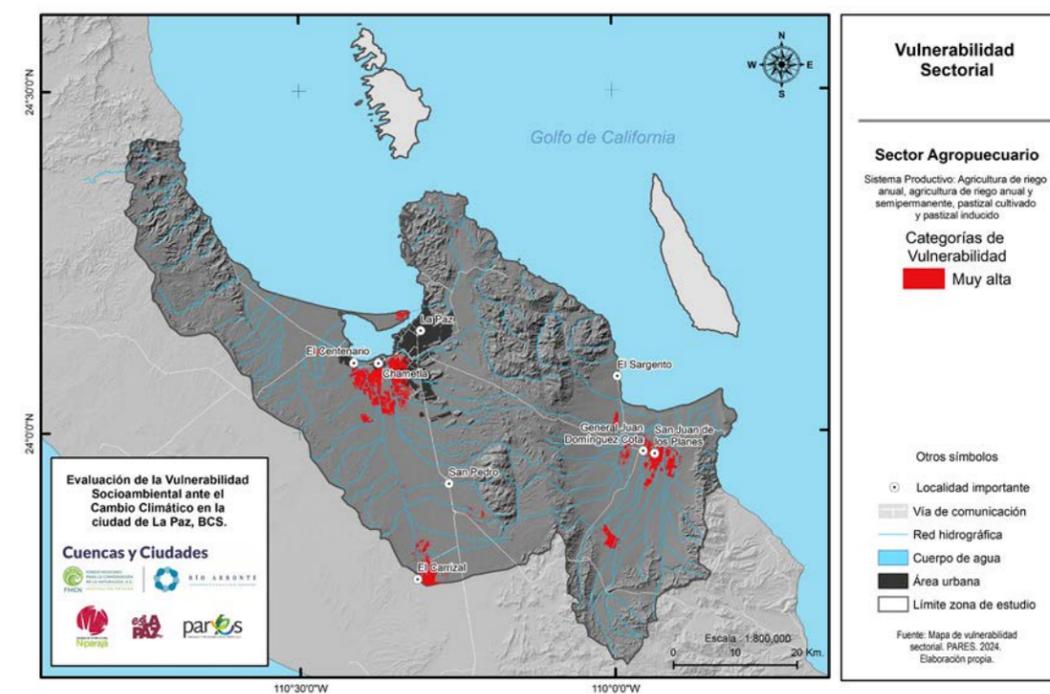


Figura 65. Vulnerabilidad del sector agropecuario. **Fuente:** Pares A.C.

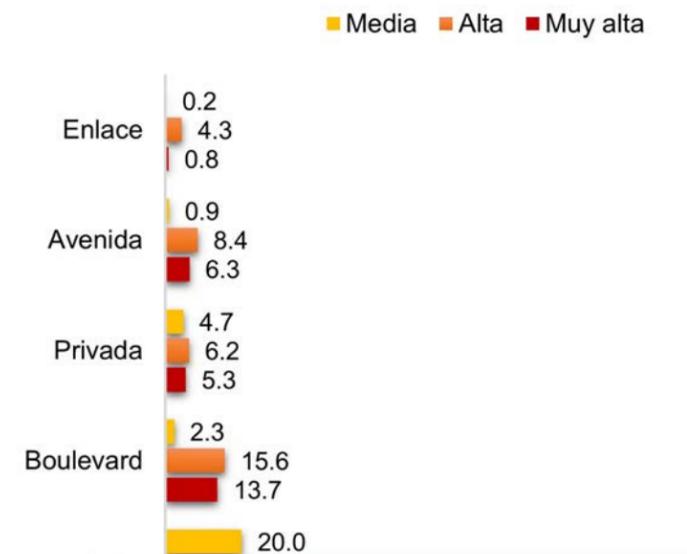
Vulnerabilidad del sector Infraestructura Vial

La infraestructura vial evaluada fuera de la zona urbana incluye las carreteras pavimentadas y al interior de la zona urbana se analizaron las avenidas, calzadas, boulevares, calles y callejones considerando el orden de las vialidades (**Figura 66 y Cuadro 57**).

Derivado del análisis de las vialidades fuera de la zona urbana se detectaron un total de 87.8 km vulnerables, en los que predomina la Alta vulnerabilidad con 52.7 km. Las carreteras con Muy Alta vulnerabilidad se localizan principalmente entre las localidades de General Juan Domínguez Cota y San Juan de Los Planes y abarcan 18.3 km. Por su parte, las carreteras con Alta vulnerabilidad comunican a la ciudad de La Paz con la localidad de El Carrizal al sur, y hacia el nororiente recorren la franja costera a través de Punta Prieta, Puerto de Pichiligue hasta la punta Maravia.

Vialidades de la zona urbana

Las vialidades vulnerables dentro de la zona urbana comprenden 407.5 km (Gráfica 38). El análisis indica que las calles presentan la mayor extensión en categoría de vulnerabilidad con 323.5 km, de los cuales 153.5 km clasifican en Muy Alta y 149.9 km en Alta vulnerabilidad. La distribución de las calles más vulnerables se concentra en la zona que abarca desde El Conchalito hacia El Malecón y hacia el sur de Chametla.



Gráfica 38. Vialidades urbanas en categoría de vulnerabilidad Muy Alta y Alta (longitud en km). **Fuente:** Pares, A.C.

Tipo de vía	Muy Alta	Alta	Media	Baja	Total
Carretera	18.3	52.7	16.6	0.3	87.8
Calle	153.5	149.9	20.0		323.5
Boulevard	13.7	15.6	2.3		31.6
Privada	5.3	6.2	4.7		16.3
Avenida	6.3	8.4	0.9		15.7
Enlace	0.8	4.3	0.2		5.4
Callejón	2.4	1.4	0.1		4.0
Circuito	1.3	1.8	0.1		3.2
Calzada	0.6	1.5			2.1
Retorno	1.2	0.4			1.6
Retorno U	0.5	0.7	0.0		1.2
Viaducto		0.8	0.3		1.1
Glorieta	0.7	0.1	0.2		1.0
Prolongación	0.2	0.1			0.3
Otro	0.0	0.1		0.2	0.3
Ampliación	0.0	0.0			0.1
Andador		0.0			0.0
Total general	205.2	244.2	45.5	0.5	495.3

Cuadro 57. Vulnerabilidad de las vías de comunicación (Longitud km). **Fuente:** Pares A.C.

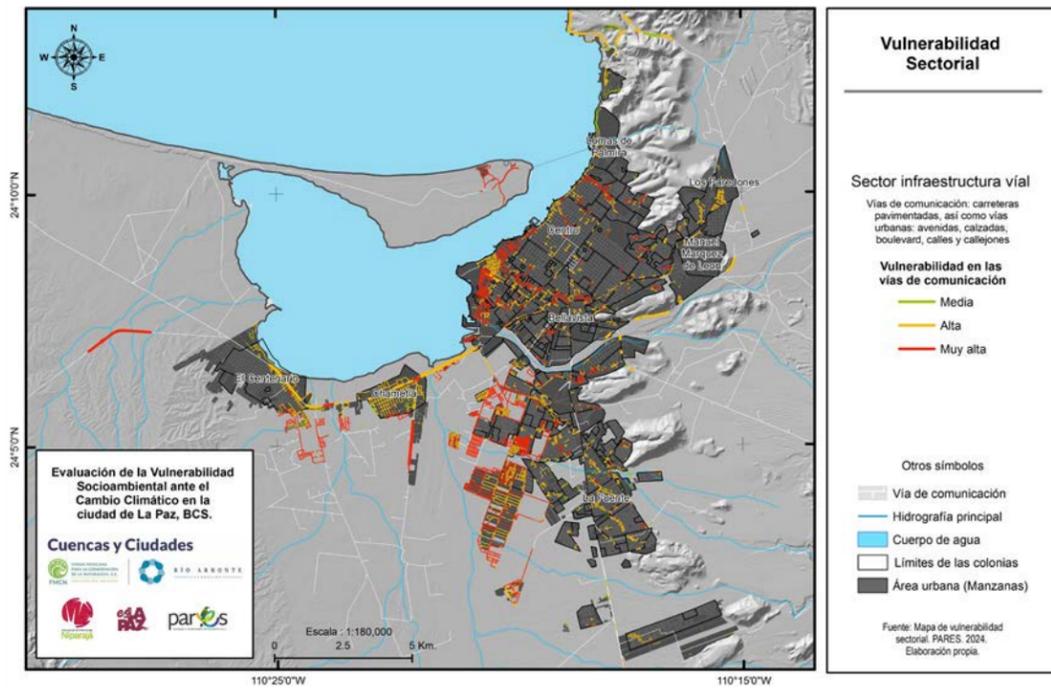


Figura 66. Vulnerabilidad del sector infraestructura vial. Fuente: Pares A.C.

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 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 la cobertura vegetal sobre la provisión de los SE, en los paisajes urbanos

de la ciudad de La Paz y en las cuencas que la abastecen de agua. Los escenarios de cambio climático (basados en datos históricos de estaciones climatológicas) y de cambios en los usos de suelo (realizados en 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 12 Norte, con datum WG84. 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 categorías 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 10 categorías (comprendidas en las cuencas que rodean a la ciudad de La Paz), 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 mediante 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 in 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.terrasoft.com].

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 Perceptrón 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 USCVC) 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 67 y 68 presentan los mapas de cambios de uso del suelo y cobertura vegetal, concebidos como escenarios tendenciales que reflejan las tendencias observadas del periodo 2000-2020 y las cuales se extienden a los años 2030 y 2050.

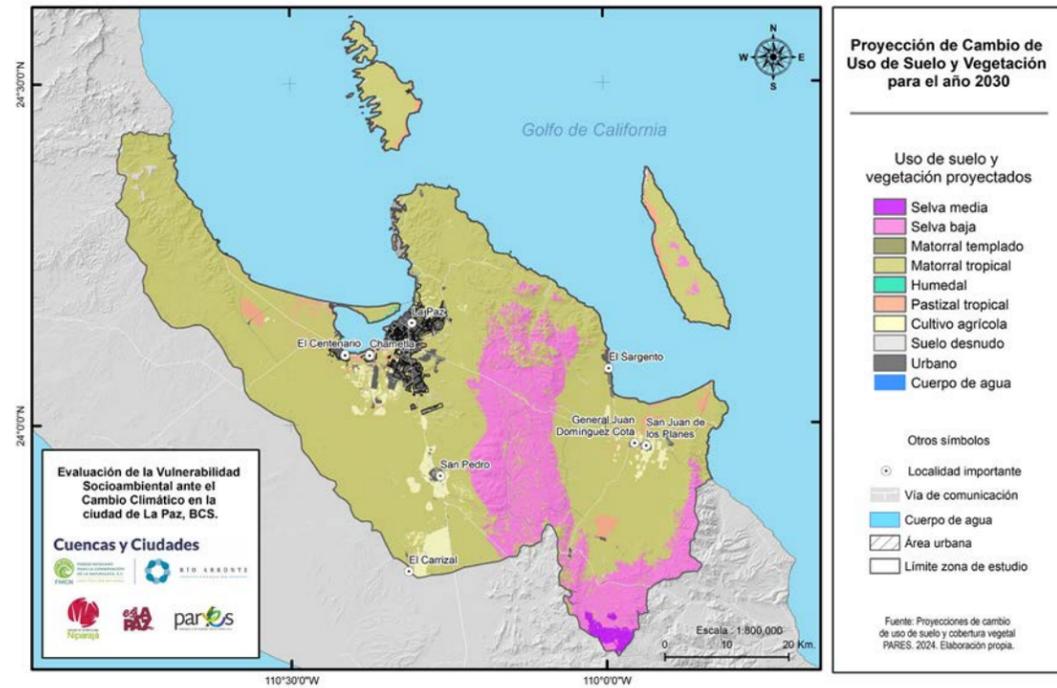


Figura 67. Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

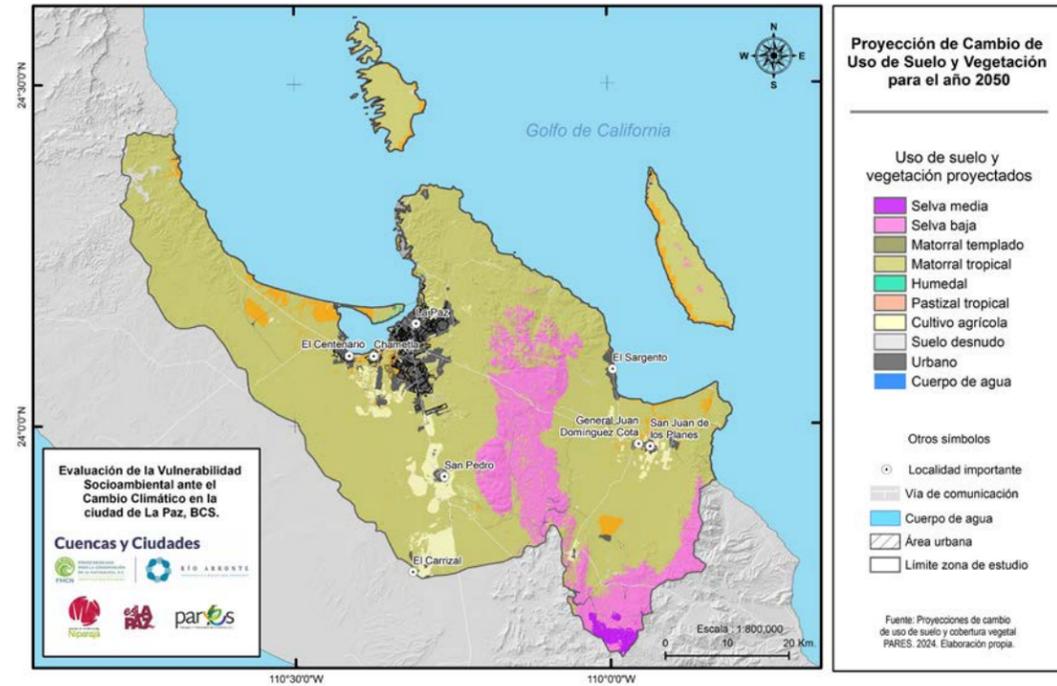


Figura 68. Cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en escenario RCP 4.5 (2050). Fuente: Pares A.C.

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 la estimación de la capacidad adaptativa y en el mapeo de SE. 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 píxel (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 píxel, bajo las condiciones de cambio futuras, con los valores correspondientes en la línea base (2024), y posterior estimación del cambio proporcional en cada píxel en el *Spatial Analysis* de ArcMap. Ello con el fin de identificar los cambios espacio-temporales de las cuencas que rodean a la ciudad de La Paz. 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.

Cuadro 58. Categorías de uso de suelo y vegetación (2000-2020) superficie (ha). **Fuente:** Sociedad de Historia Natural, Niparáj (2024) con datos del Centro Virtual de Información del Agua (2018); Ríos-Flores et al. (2017).

USCV	Ha			%		
	2000	2013	Δ	2000	2013	Δ
Selva baja	88,165	71,603	-16,562	24.7	20.1	-4.64
Bosque de encino	2,001	2,366	366	0.56	0.66	0.10
Matorral tropical	246,521	256,459	9,938	71.9	71.9	2.79
Matorral templado	29.3	29.1	-0.02	0.01	0.01	0.0
Pastizal tropical	2,865	6,479	3,614	0.80	1.82	1.02
Manglar	117	216	99	0.03	0.06	0.03
Cultivos agrícolas	11,558	8,654	-2,904	3.24	2.43	-0.81
Suelo desnudo	0.45	1,372	1,371	0.00	0.38	0.38
Zonas urbanas	5,560	9,568	4,008	1.56	2.68	1.12
Bosque de encino	33	104	70	0.01	0.03	0.02

Resultados del análisis de cambios en los usos del suelo y la cobertura vegetal

Las principales clases de USCV utilizados fueron: la selva baja caducifolia, bosques de encino, matorral tropical (matorral sarcocaulé), matorral templado (matorral crasi-caulé), pastizal tropical, manglar, cultivos agrícolas, suelo desnudo, zonas urbanas y cuerpos de agua. De acuerdo con la evaluación retrospectiva realizada, en la zona de estudio se perdió un total de 16,562 ha de selva baja durante el periodo 2000-2024. Las principales causas de su deforestación fueron la conversión a vegetación arbustiva-secundaria (matorrales), pastizales, a zonas urbanas y a suelo desnudo. Se identificó una disminución en los cultivos agrícolas (2,904 ha; -0.81%), por su conversión a zonas urbanas y a suelo desnudo en las periferias de La Paz. Estas pérdidas totales representaron el 4.91% del área forestal y el 4.64% del área. El **Cuadro 58**, presenta las transiciones más importantes para el periodo 2000-2020.

Para el periodo 2020-2030, las proyecciones (las cuales representan la continuación de las transiciones históricas para el periodo 2000-2020) indican un crecimiento más acelerado de las zonas urbanas en un 0.74% (2,645 ha), cultivos agrícolas en un 0.45% (1,588 ha) y pastizales 0.63% (2,238 ha), a costa de la transformación de la selva baja. A su vez se puede esperar una conversión de vegetación arborea o selva baja a vegetación arbustiva (matorral) de alrededor de 2,284 ha (0.64%), representando el 2.92% del área forestal y el 2.7% del área total. Para el periodo 2020-2050, se estimó un posible crecimiento de las zonas urbanas, cultivos agrícolas, pastizales tropicales y de la vegetación

arbustiva (matorral) como resultado del aclareo de la selva baja, hacia el sur de la ciudad de La Paz, donde se espera una pérdida de 24,775 ha (-6.94%), equivalente al 7.5% de la cobertura forestal y 6.9% del área total. El **Cuadro 59** y la **Gráfica 39**, presenta las transiciones más importantes para el periodo 2020-2030 y 2020-2050.

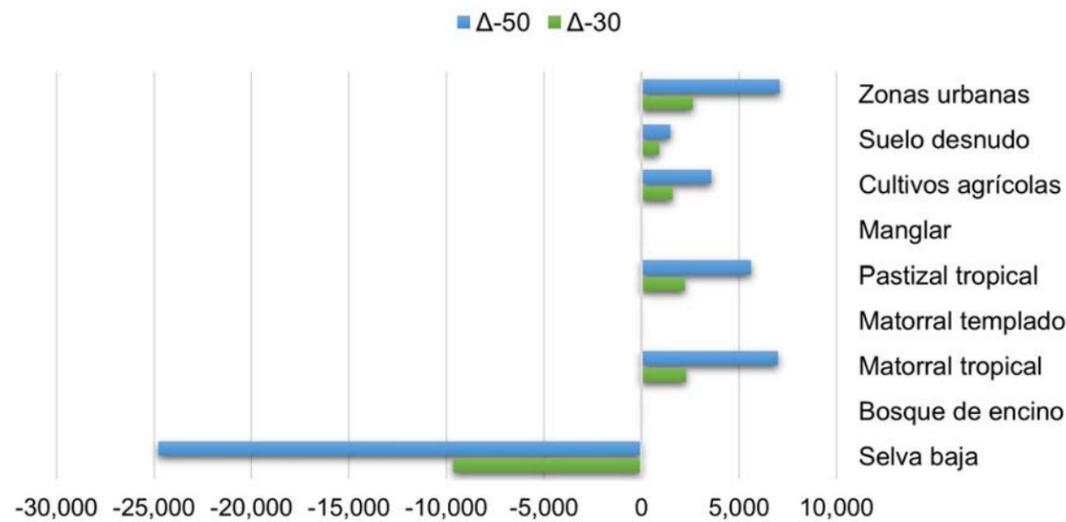
Cuadro 59. Categorías de uso de suelo y vegetación para los periodos 2020-2030 y 2020-2050, Superficie (ha). **Fuente:** Sociedad de Historia Natural, Niparáj (2024) con datos del Centro Virtual de Información del Agua (2018); Ríos-Flores et al. (2017).

USCV	Ha				%			
	2030	2050	Δ-30	Δ-50	2030	2050	Δ-30	Δ-50
Selva baja	61,951	46,828	-9,652	-24,775	17.4	13.1	-2.70	-6.94
Bosque de encino	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001
Matorral tropical	246,521	246,521	246,521	246,521	246,521	246,521	246,521	246,521
Matorral templado	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3
Pastizal tropical	2,865	2,865	2,865	2,865	2,865	2,865	2,865	2,865
Manglar	117	117	117	117	117	117	117	117
Cultivos agrícolas	11,558	11,558	11,558	11,558	11,558	11,558	11,558	11,558
Suelo desnudo	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Zonas urbanas	5,560	5,560	5,560	5,560	5,560	5,560	5,560	5,560
Cuerpos de agua	33	33	33	33	33	33	33	33

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 78 a 433 mm año⁻¹ bajo el RCP 4.5 y de 80 mm a 469 mm año⁻¹ bajo el RCP 8.5, con una reducción promedio anual de hasta 57.2 mm año⁻¹ en los alrededores de La Paz, General Juan Domínguez y de San Juan de los Planes; además de una reducción de 89 mm año⁻¹ en las Sierras de El Novillo, Las Cruces y Trincheras (-7.49 mm día⁻¹); con un promedio anual de 176 mm año⁻¹ (-13.3%, con respecto al 2020), bajo el RCP 4.5.

Con respecto al RCP 8.5, se podrían presentar disminuciones de hasta 98.2 mm año⁻¹ (-8.18 mm día⁻¹) en la parte sur (coincidiendo espacialmente con las Sierras) y de 49.2 mm año⁻¹ (-4.1 mm día⁻¹) en los alrededores de la Bahía de La Paz, con una media anual de 167 mm año⁻¹ (-17.3%, con respecto a la línea base). Mientras que para el año 2050 se pueden esperar cambios en la precipitación promedio anual de los 137 mm a los 597 mm año⁻¹ bajo el RCP 4.5 (con una media de 211 mm año⁻¹; +3.9%, con respecto al 2020) y de 107 mm a los 688 mm año⁻¹ (con una media de 206 mm año⁻¹; +1.5%, con respecto a la línea base). Por su parte en el escenario RCP 4.5, se podrían esperar incrementos de 17 mm año⁻¹ (3.4 mm día⁻¹) en el centro y este del área y de 4 mm año⁻¹ (0.27 mm día⁻¹) en los alrededores de las Paz.



Gráfica 39. Cambios en la superficie (ha) de ocupación de usos del suelo y vegetación al 2030 y 2050. Fuente: Pares, A.C.

Finalmente, se podría esperar una reducción de 47 mm año⁻¹ (3.9 mm día⁻¹) en la parte de la Sierra y una disminución de 11.8 mm año⁻¹ (-0.98 mm día⁻¹) en los alrededores de La Paz, en el escenario RCP 8.5.

En lo que respecta a la temperatura promedio anual, los escenarios indican un posible incremento de 0.77°C en la parte de la Sierra, un incremento 0.76°C en los alrededores de la Bahía de La Paz y un probable incremento de 0.73°C en el noroeste del área, bajo el RCP 4.5, para el año 2030 (con un rango de 18.7 a los 25.76 °C año⁻¹). Mientras que se podrían presentar incrementos de 0.80°C en la Sierra, de 0.74°C en los alrededores de La Paz y de 0.72°C en el noroeste (con un rango entre los 18.6 y los 25.9°C año⁻¹), bajo el RCP 8.5. Por su parte, para el 2050, bajo el RCP 4.5 se estimaron incrementos en la temperatura promedio de 1.85°C en la parte de la Sierra, de 1.90°C en los alrededores de la Bahía de La Paz y de 2.0°C en el noroeste de la Bahía (con un rango de 20.2 a 26.5 °C). Finalmente, bajo el RCP 8.5, se podrían presentar incrementos de 1.48°C en la Sierra, de 1.5°C en los alrededores de La Paz y de 1.56°C al noroeste (con un rango de 20.5 a 26.6 °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 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.

Dados los cambios en los USCv y CC descritos, para 2030 los escenarios indican un posible cambio en la provisión superficial del agua de entre 0 y los 300 mm año⁻¹; con una media anual de 64 mm año⁻¹ (- 52% con respecto al año 2024). Se espera una reducción de hasta 60 mm año⁻¹ en los alrededores de la Bahía de La Paz, General Juan Domínguez y San Juan de los Planes, bajo el RCP 4.5 (coincidiendo espacialmente con las áreas dominadas por la zona urbana, cultivos agrícolas, pastizales y matorrales); además de una reducción en las Sierras del El Novillo, Las Cruces y Trincheras, de hasta 200 mm año⁻¹ (Figuras 69 y 70). 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 de 0 a los 286 mm año⁻¹, con una media anual de 52.7 mm año⁻¹ (-61.2%, con respecto al 2024). Al igual que el escenario anterior, se podría esperar una reducción de hasta 80 mm año⁻¹ en los alrededores de la Bahía, y una reducción de hasta 300 mm año⁻¹ al sur de las Sierras.

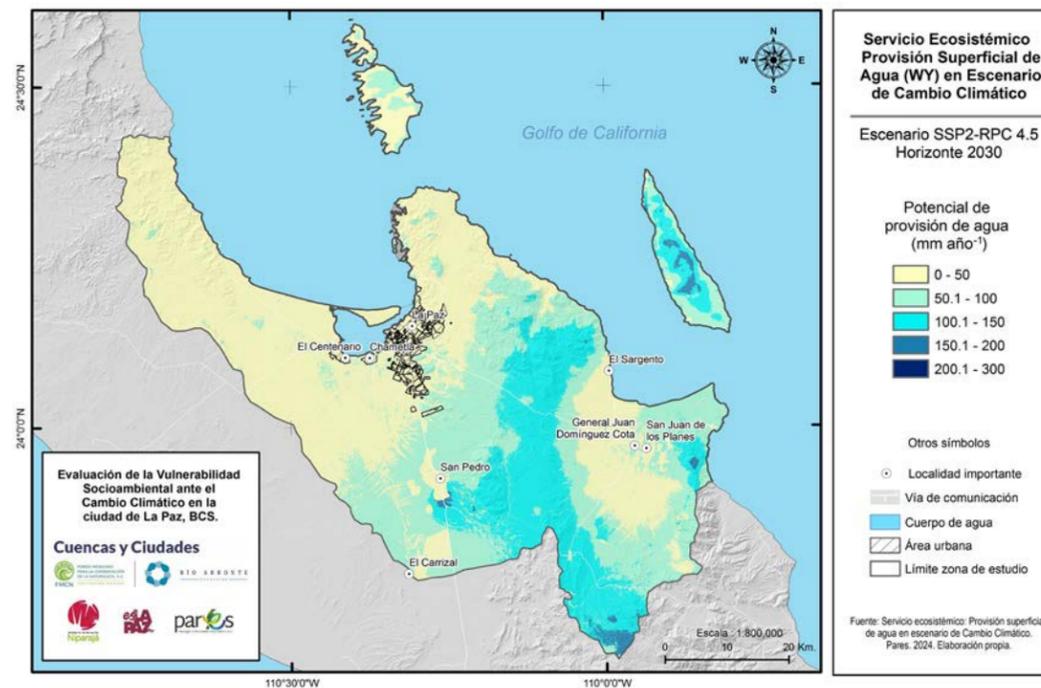


Figura 69. Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

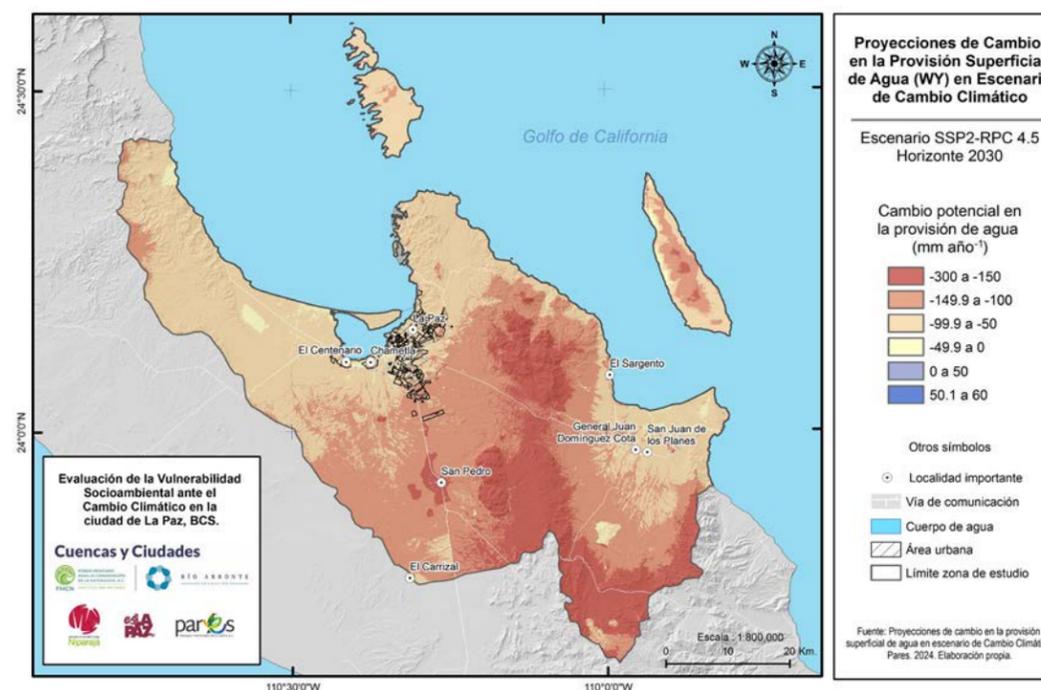


Figura 70. Cambios potenciales en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C. con datos del Atlas Climático digital de México, UNIATMOS, UNAM 1902-2011.

Dado el rápido crecimiento de las zonas urbanas, la expansión de los cultivos agrícolas, pastizales y los cambios de la selva baja a vegetación arbustiva o matorral encontrados, los cambios potenciales esperados en la provisión superficial del agua bajo el escenario de CUSCV y de CC, bajo los dos RCP's, indican una posible disminución promedio anual del 40% (81 mm año⁻¹; con rango de 0 a 365 mm año⁻¹), bajo el escenario RCP 4.5. en el año 2050 podría presentarse una reducción generalizada de 159 mm año⁻¹ a largo de la Sierra y con disminuciones de hasta 79 mm

año⁻¹ en los alrededores de la Bahía de La Paz, General Juan Domínguez y San Juan de los Planes. Bajo el RCP 8.5, se predice una disminución promedio anual del 42% (78 mm año⁻¹; con un cambio en el rango de 0 a 387 mm año⁻¹). Finalmente, se espera una reducción de 80 mm año⁻¹ a lo largo del área.

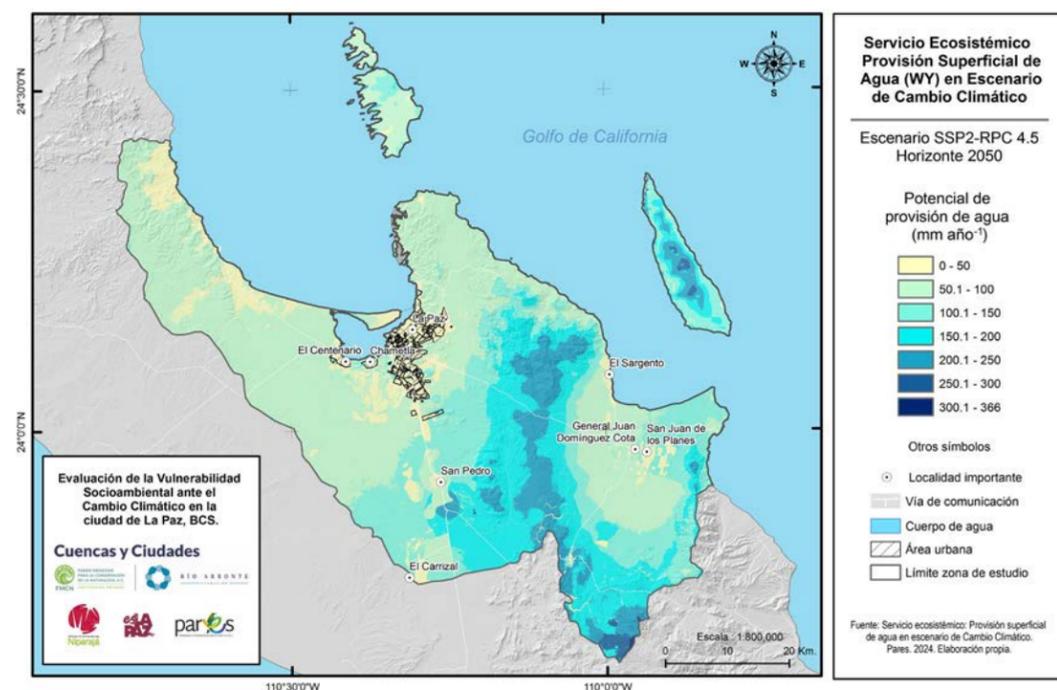


Figura 71. Provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5 (2050). Fuente: Pares A.C.

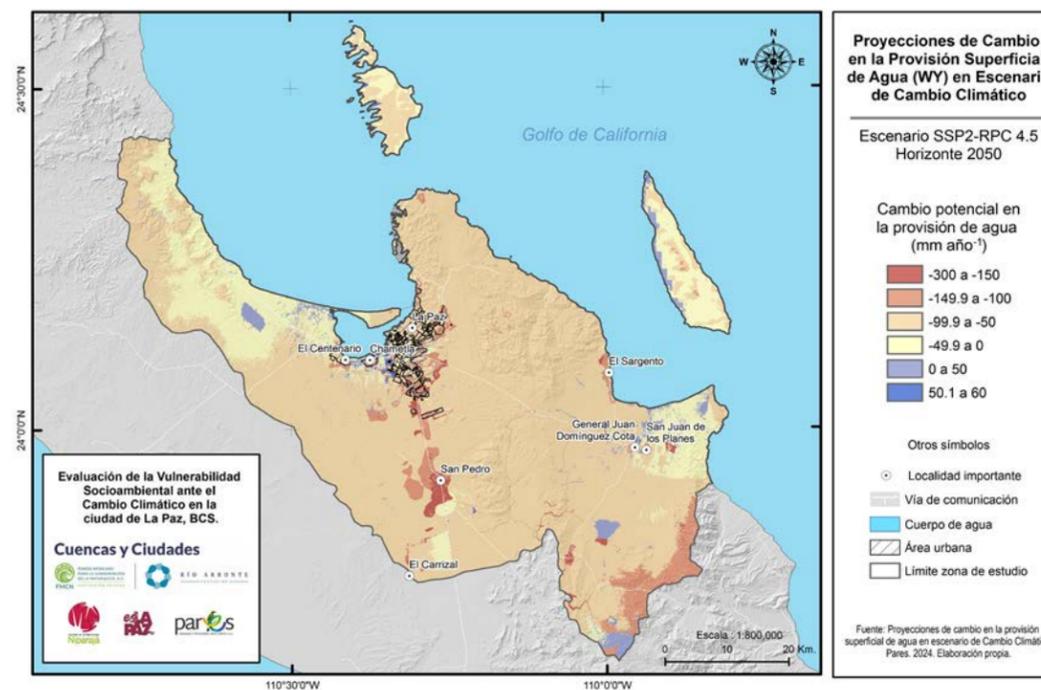


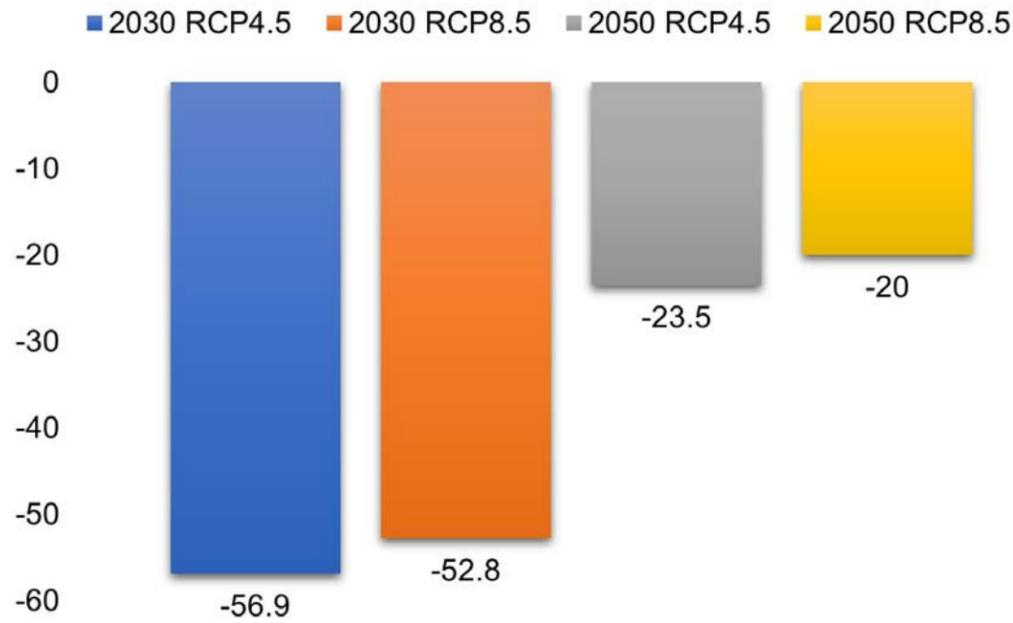
Figura 72. Cambios potenciales en la provisión superficial del agua en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

Estos resultados resaltan una posible reducción en el volumen total de producción de agua del 56.9% bajo el escenario RCP 4.5 (218 Millones de m³), y de 52.8% (238 Millones de m³) bajo el escenario RCP 8.5 para el 2030, con respecto al año 2024 (505.8 Millones de m³). Mientras que para el año 2050, se podrían esperar reducciones del 23.5% (387 Millones de m³) y del 20% (407 Millones de m³), bajo los RCP's 4.5 y 8.5. respectivamente. Las Sierras contribuyen con el mayor aporte de agua superficial y

las cuencas con mayores porcentajes de suelo urbano, agrícola y pecuario, serían aquellas que contribuirán en menor medida, debido a los posibles incrementos en la temperatura y en la evapotranspiración (Cuadro 60 y Gráfica 40).

Cuadro 60. Provisión superficial del agua de la zona de estudio, 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 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
218	238	387	407	-56.9	-52.8	-23.5	-20.0



Gráfica 40. Cambios potenciales en la provisión superficial del agua en escenarios al 2030 y 2050 con RCP 4.5 y 8.5 (%). Fuente: Pares, A.C.

Cambios en la retención de sedimentos

La sustitución de la cubierta vegetal sobre todo en pendientes pronunciadas, en las cercanías de los arroyos intermitentes y en las zonas con incrementos en la intensidad de lluvias, jugarían un papel importante en la pérdida potencial del suelo, donde la vegetación sirve como barrera frente al desplazamiento de partículas de suelo y contaminantes a los cauces de los arroyos.

De acuerdo con los escenarios analizados para el año 2030, en RCP 4.5, se podrían presentar cambios en la retención de suelos de entre 0 y las 11.15 ton año⁻¹ (Figura 73), con una media anual de 0.86 ton año⁻¹ y una reducción del 49.4% en la capacidad de retención de sedimentos (Figura 74). Se podría esperar una reducción de 4.49 ton año⁻¹ en los alrededores de la Bahía de La Paz, una reducción de 2.0 ton año⁻¹ en las partes altas de la Sierra y un incremento

de hasta 0.70 ton año⁻¹ en las faldas de las Sierras, debido a la sustitución de selva baja en la parte alta de las Sierras y a los incrementos de precipitación promedio anual que posiblemente incrementarían la pérdida de suelos, resaltando la importancia de la presencia de cobertura vegetal en las partes bajas. Por otro lado en el escenario RCP 8.5, se podría esperar una reducción de 47.3%, especialmente en ecosistemas próximos a las zonas urbanas en donde se podrían esperar reducciones de hasta 3.2 ton año⁻¹, y en las faldas de las sierras se podrían presentar incrementos del orden de 1.4 ton año⁻¹.

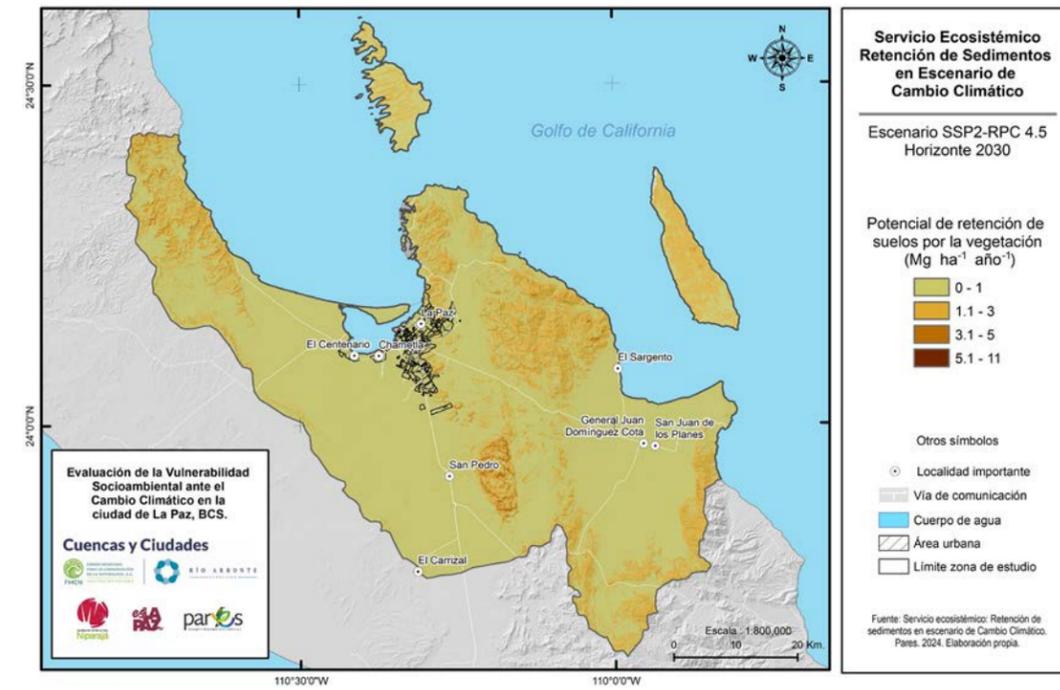


Figura 73. Retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

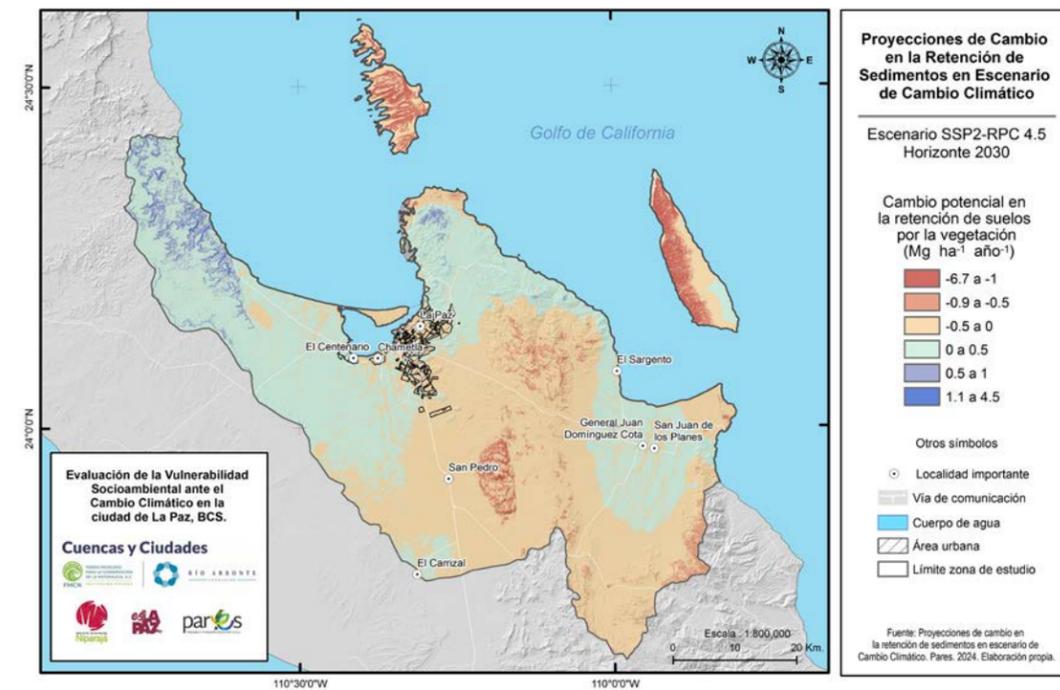


Figura 74. Cambios potenciales en la retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2030). Fuente: Pares A.C.

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 11.2 ton año⁻¹ y una disminución en la media anual del 42.4% (0.95 ton año⁻¹; **Figura 75**). En los alrededores de la zona urbana podrían presentarse posibles disminuciones de hasta 1.7-3.1 ton año⁻¹ e incrementos de hasta 3.0 ton año⁻¹ en la capacidad de retención del suelo, por parte de la cubierta

vegetal. Con respecto al escenario RCP 8.5, se puede prever una disminución en la media anual del 41.2% (0.97 ton año⁻¹), con una reducción de hasta 3.5 ton año⁻¹ en cercanías de la ciudad de La Paz (**Figura 76**).

Figura 75. Retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2050).
Fuente: Pares, A.C.

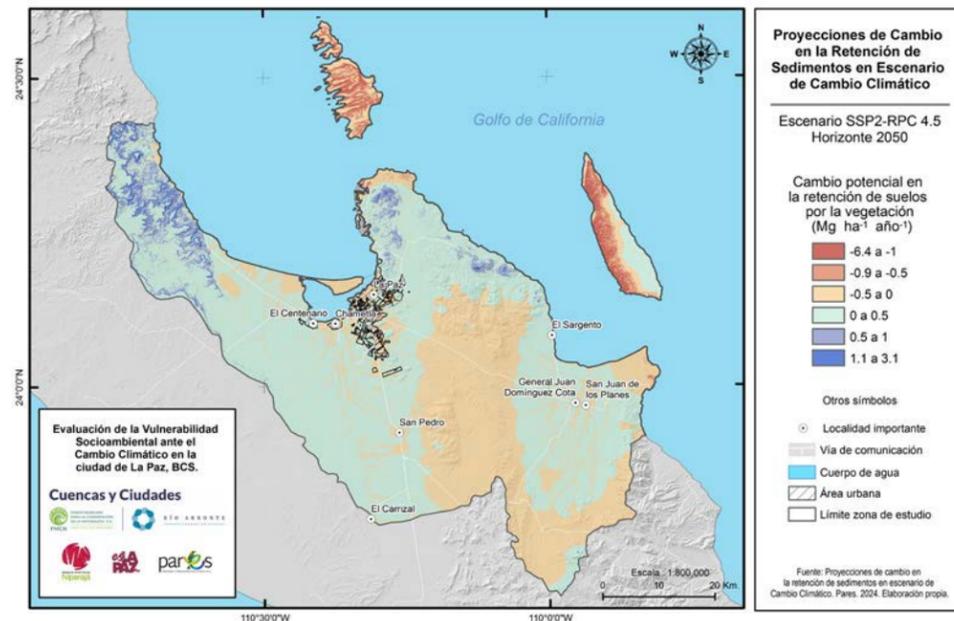
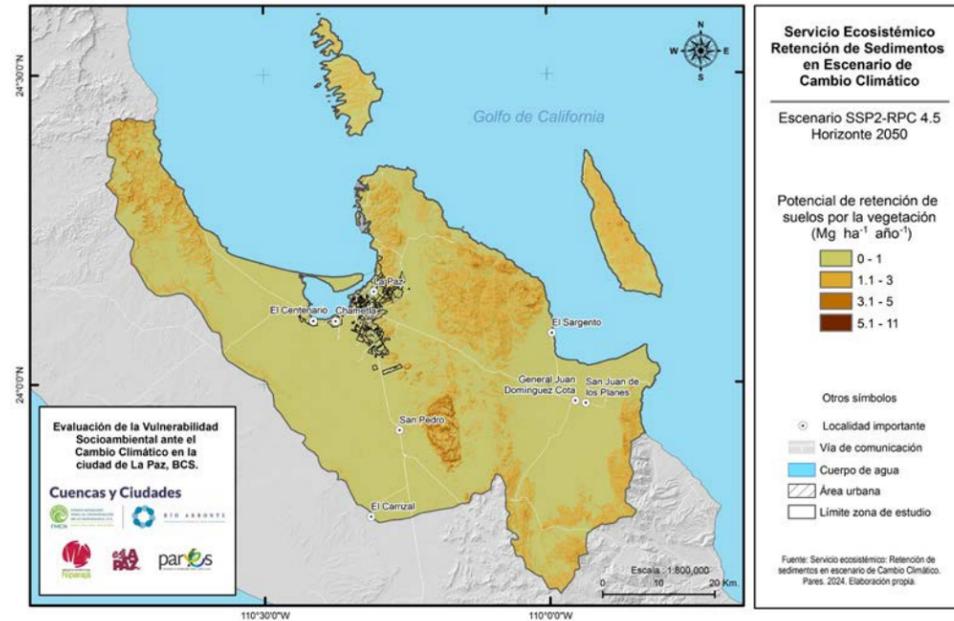


Figura 76. Cambios potenciales en la retención de sedimentos en escenario RCP 4.5 (2050).
Fuente: Pares A.C.

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, resultan en una posible reducción en el almacenamiento de carbono del 1.5% para el

año 2030 (0.9 Millones de Ton de C), con respecto al 2024. Estos cambios se pueden esperar en las sierras cubiertas de selva baja, con disminuciones de hasta 177 Mg ha⁻¹. Por otro lado, para el año 2050 se podría experimentar una reducción del 4.2%, (286.7 Mg ha⁻¹); principalmente en los alrededores de la ciudad de La Paz. (**Figuras 77, 78, 79 y 80**).

Figura 77. Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030).
Fuente: Pares, A.C.

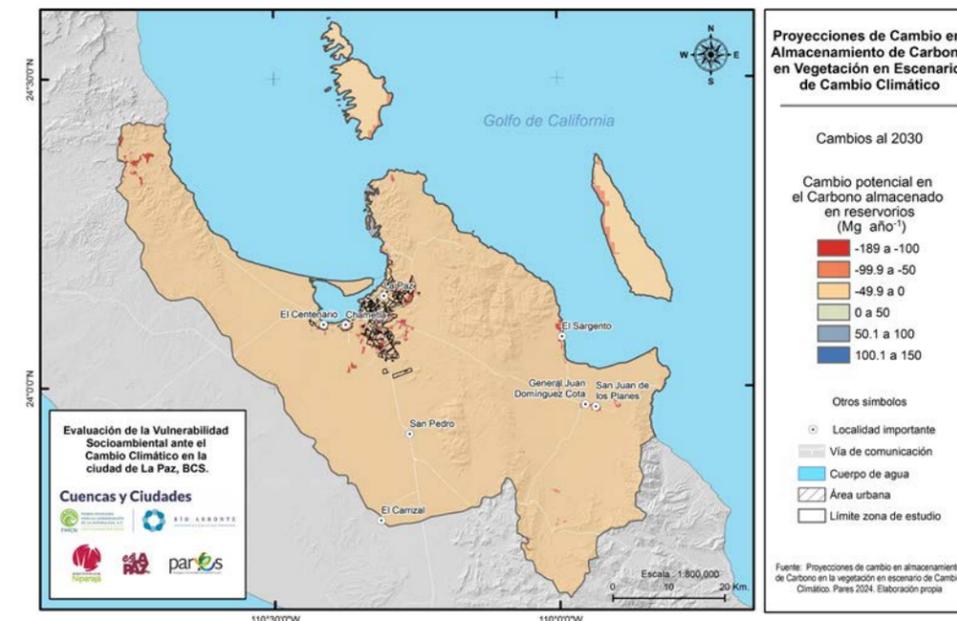
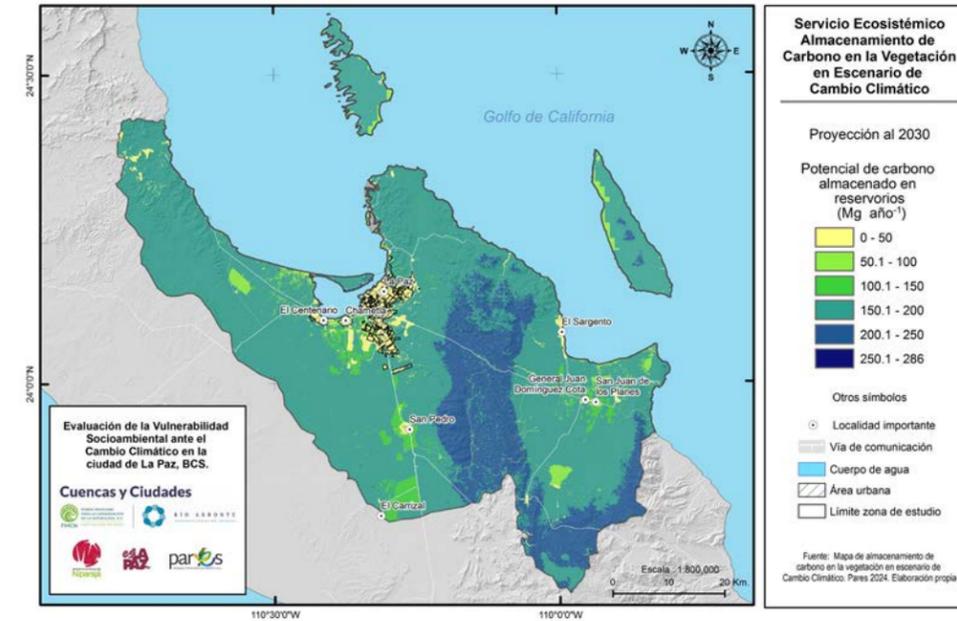


Figura 78. Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2030).
Fuente: Pares A.C.

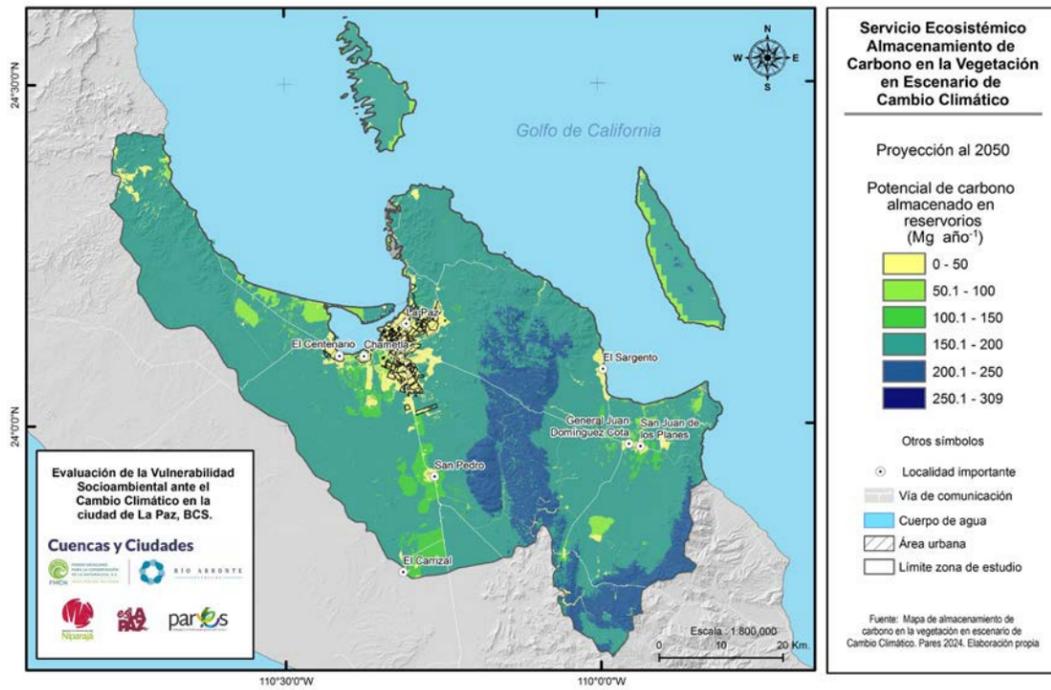


Figura 79. Almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C.

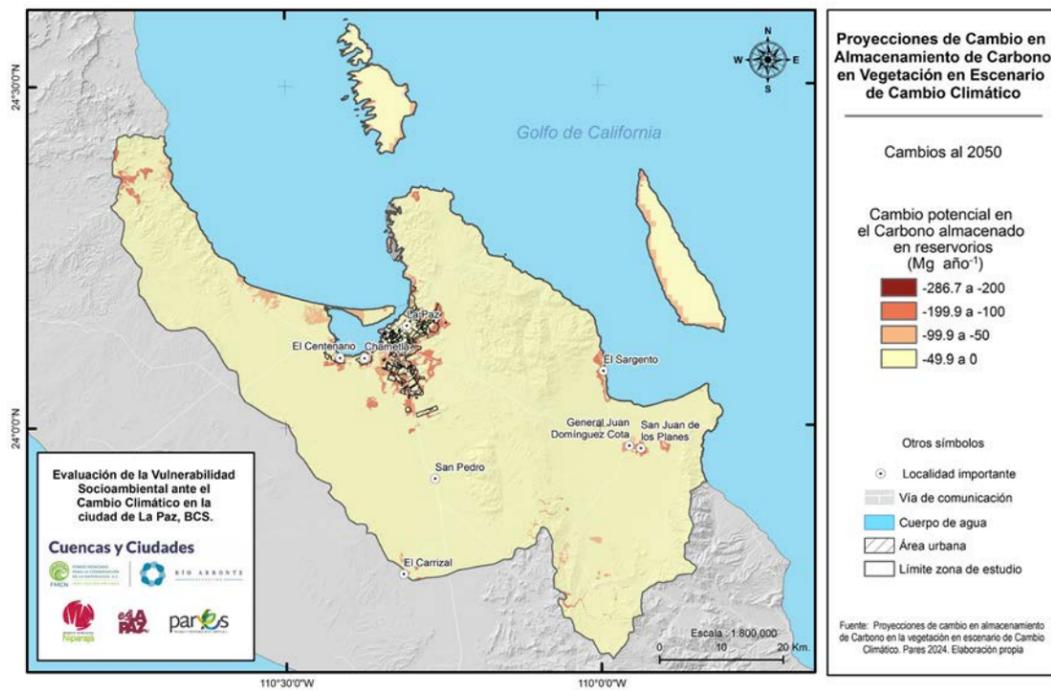


Figura 80. Cambio potencial en el almacenamiento de carbono en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares A.C. con datos de Sentinel, 2024.

Resultados del cambio en el balance hidrológico

La sustitución de la cobertura vegetal para el 2030 y los posibles cambios en el clima en el escenario RCP 4.5, indican un posible incremento en la lámina de escurrimiento anual o aporte al flujo rápido del 17.9% (23.7 mm año⁻¹), con respecto al 2024 (20.1 mm año⁻¹). Podrían presentarse reducciones generalizadas de 2 a 17 mm en la zona de estudio e incrementos puntuales hasta 120 mm año⁻¹ en los alrededores de las zonas urbanas (Figura 81 y 82). Por su parte en el escenario RCP 8.5, se pueden prever incrementos del 11.9% (22.5 mm año⁻¹), con disminuciones generalizadas de 5 mm año⁻¹ en la zona de estudio y

aumentos puntuales de hasta 169 mm año⁻¹ en las planicies susceptibles a la formación de corrientes intermitentes, sobre todo en los alrededores de las zonas urbanas. Mientras que en el año 2050, en el escenario RCP 4.5 se podría presentar un incremento generalizado del 22.8% (24.7 mm año⁻¹) e incrementos puntuales de hasta 170 mm año⁻¹ en los alrededores de las zonas urbanas y agrícolas (Figura 83 y 84). Finalmente, en el escenario RCP 8.5, se prevén potenciales incrementos de hasta 16.7% (23.4 mm año⁻¹), con puntuales de hasta 160 mm año⁻¹ en los alrededores de las zonas urbanas.

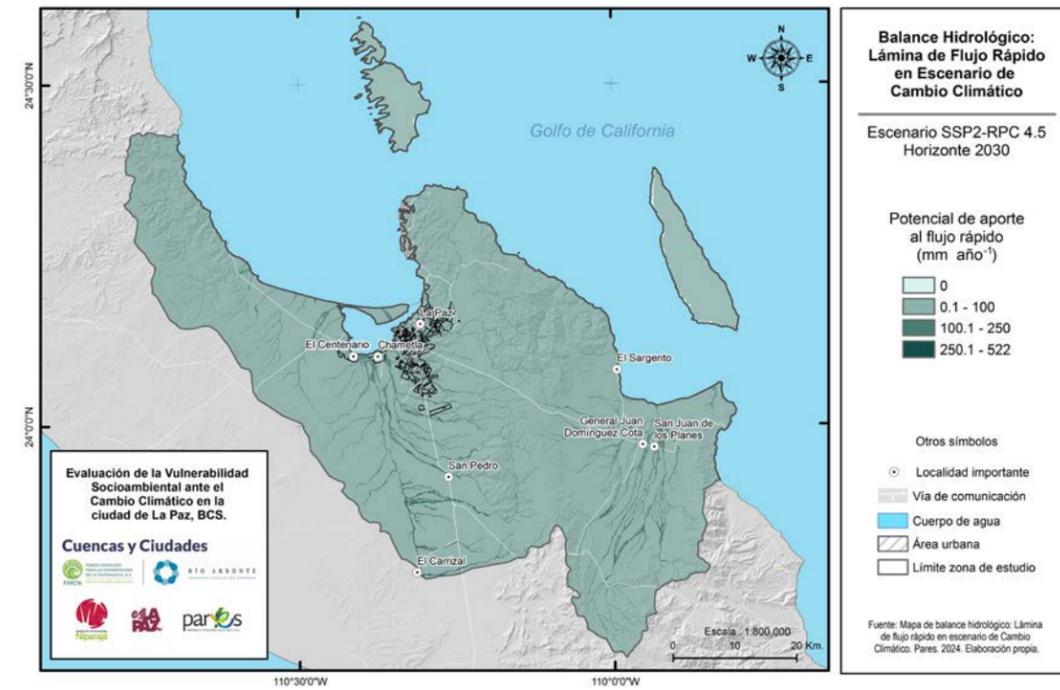


Figura 81. Potencial de aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares A.C.

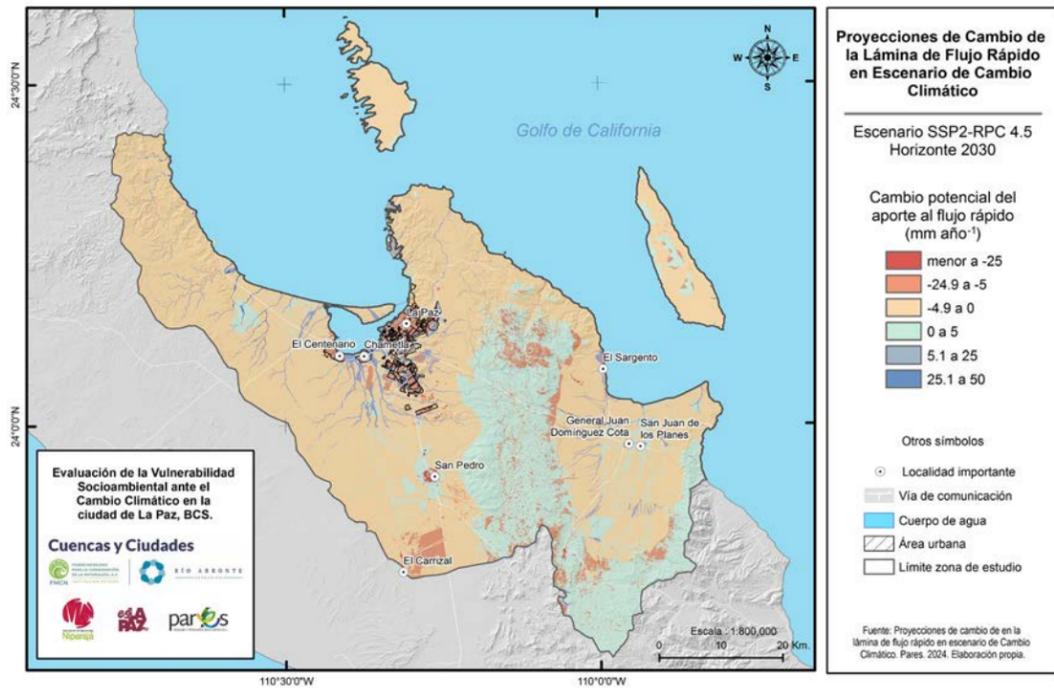


Figura 82. Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5. (2030).
Fuente: Pares, A.C.

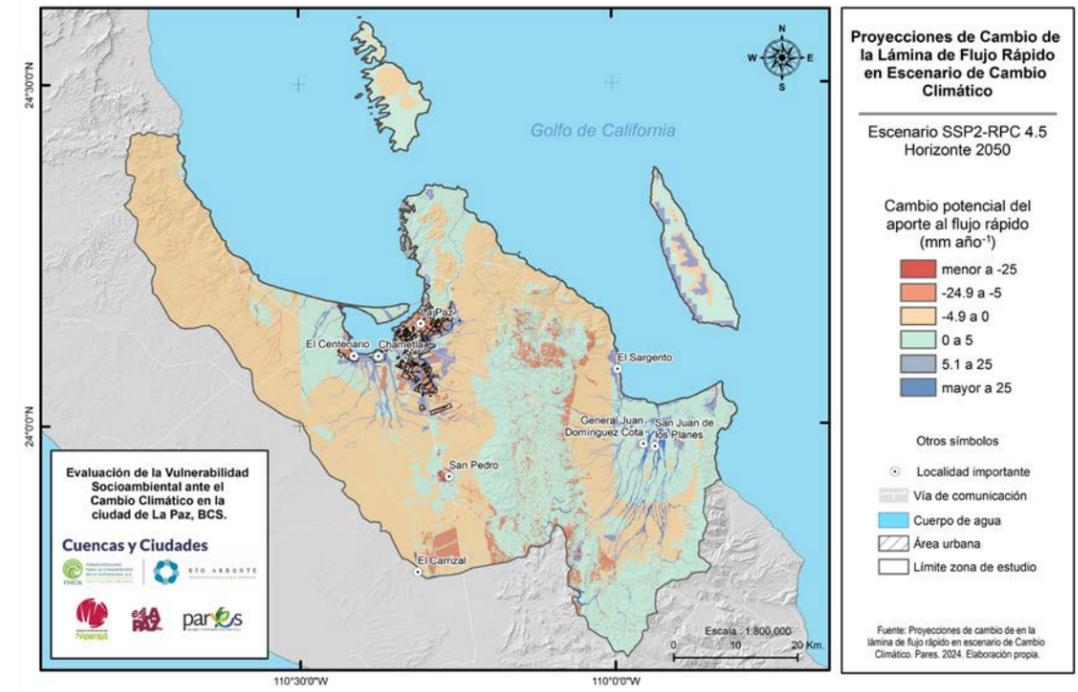


Figura 84. Cambios potenciales en el flujo rápido en escenario RCP 4.5 (2050).
Fuente: Pares, A.C.

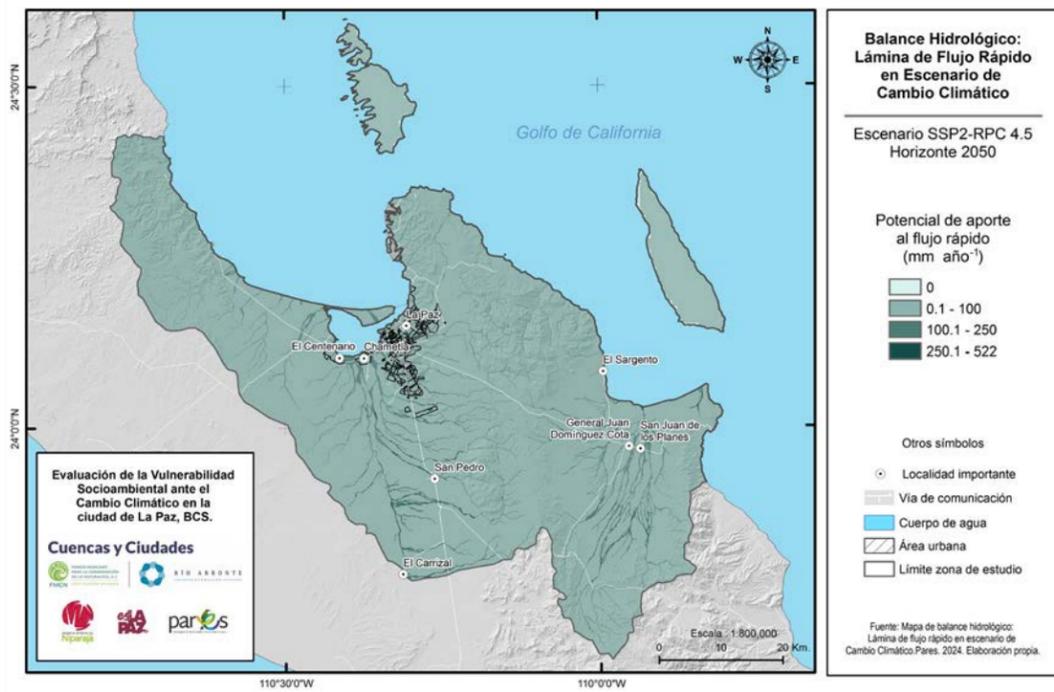


Figura 83. Potencial de aporte al flujo rápido en escenario RCP 4.5 (2050).
Fuente: Pares, A.C.

En lo que respecta a los cambios en el flujo base para el año 2030, en el RCP 4.5, los resultados indican que en las cuencas que rodean a la Bahía se podría presentar una disminución del 3.1% en el promedio anual (86.2 mm año⁻¹), en comparación con la línea base 2024 (88.5 mm año⁻¹), con disminuciones de hasta 112 mm año⁻¹ en los alrededores de las zonas urbanas y de 20 mm año⁻¹ en las zonas de la Sierra (Figura 85 y 86). Mientras que en el escenario RCP 8.5, el flujo base podría disminuir en promedio un 8.2% (81.3 mm año⁻¹), con disminuciones de hasta 80 mm año⁻¹ en los alrededores de las zonas urbanas y de 80 mm año⁻¹ en la Sierras. Para el año 2050, en escenario RCP 4.5 se podría esperar una disminución de 1.26% y 9.01% en el flujo base del 7% (246.4 mm año⁻¹) (Figura 86 y 87) y una reducción del 3.1%, en el escenario RCP 8.5.

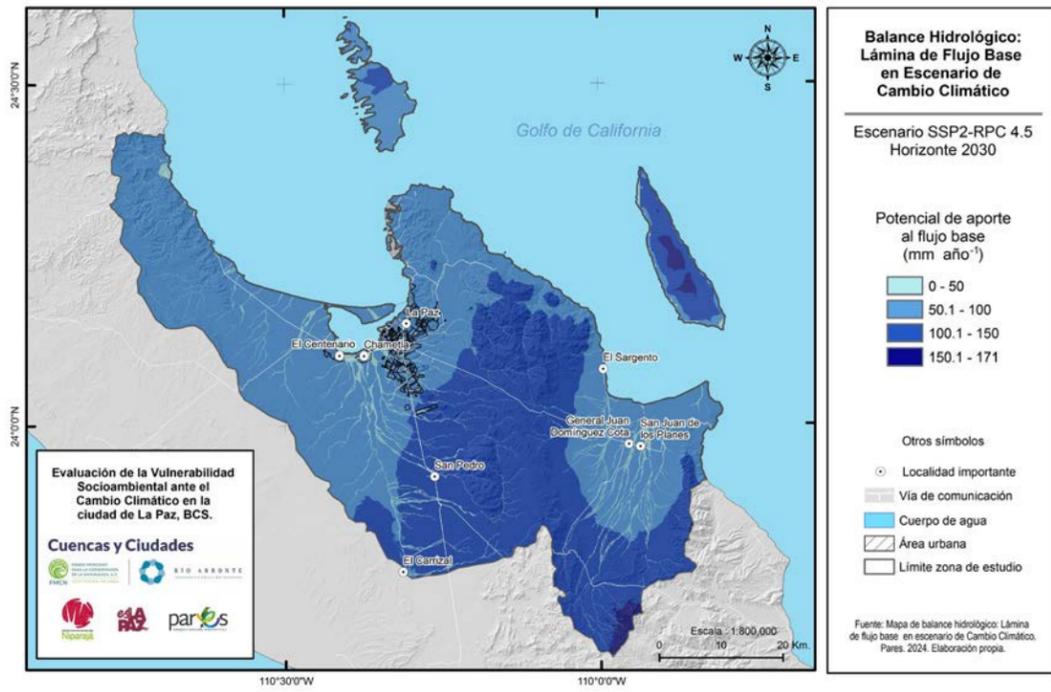


Figura 85. Aporte flujo base en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares, A.C.

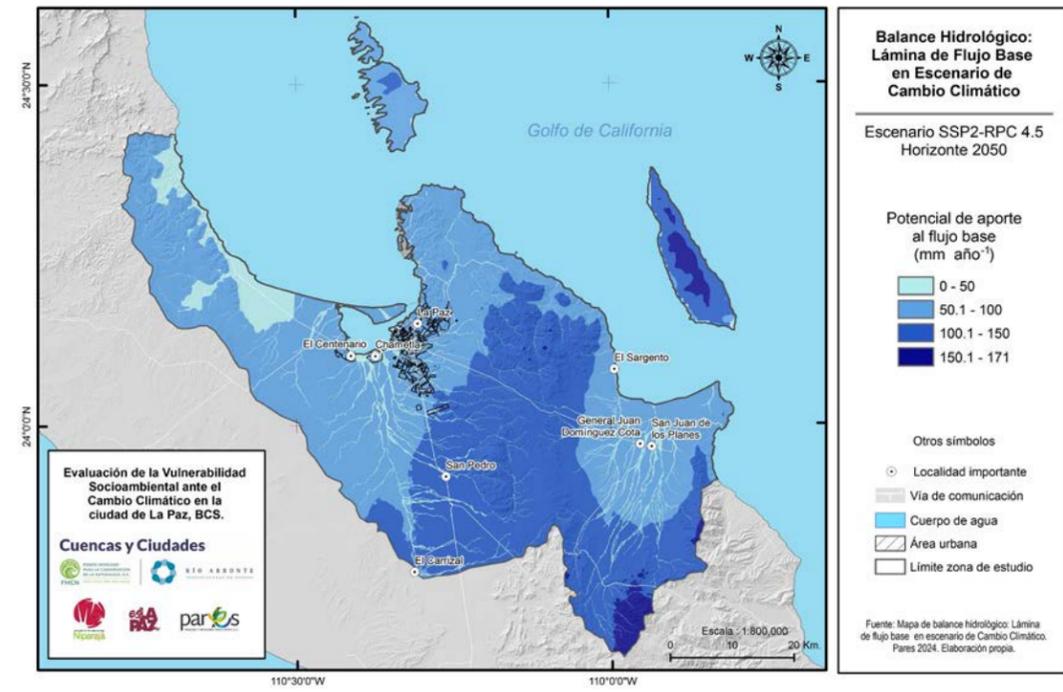


Figura 87. Aporte flujo base en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares, A.C.

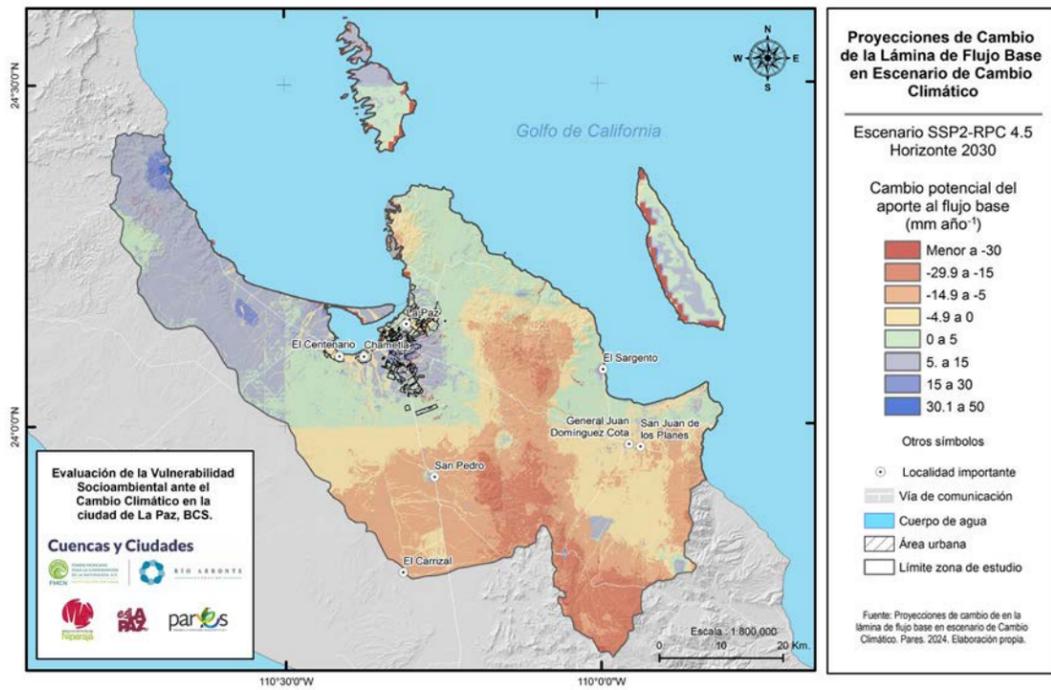


Figura 86. Cambio potencial en el flujo base en escenario RCP 4.5. (2030). Fuente: Pares, A.C.

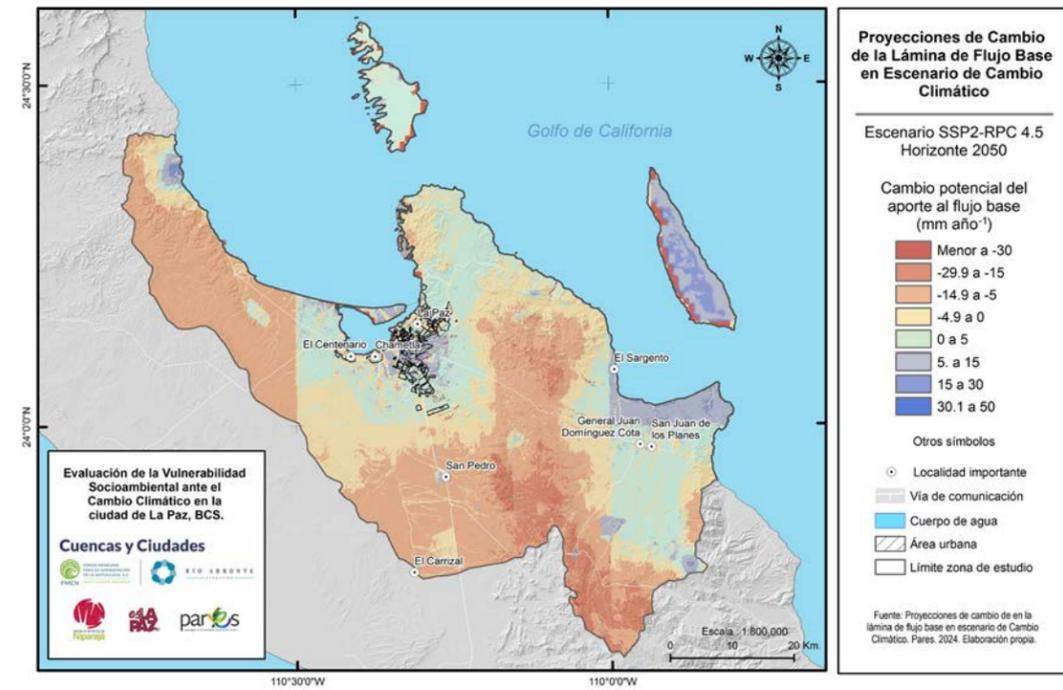


Figura 88. Cambio potencial en el flujo base en escenario RCP 4.5. (2050). Fuente: Pares, A.C.

Resultados del cambio en la priorización de los SE

Para el año 2024 el 4.1% de la superficie del área fue clasificada como de “muy baja” prioridad (15,080 ha), el 32.3% como de “baja” (118,255 ha), el 25.3% como de “media” (92,724), el 19.6% como “alta” (71,800 ha), y el 18.7% como “muy alta” prioridad (68,516 ha). En el análisis de los escenarios alternativos (**Cuadro 61**) se encontró que para el año 2030 en el escenario RCP 4.5, la superficie clasificada como de baja prioridad potencialmente se incrementará en 6.5% (+21,088 ha) principalmente en los alrededores de las zonas urbanas, coincidiendo espacialmente con las áreas de selva baja. Las áreas de alta y muy alta prioridad disminuirán en 4.3% y 2% respectivamente, principalmente en las zonas que rodean a las zonas urbanas

Prioridad (%)	2030		2050	
	RCP 4.5.	RCP 8.5	RCP 4.5.	RCP 8.5
Muy baja	4.64	4.68	16.6	14.8
Baja	6.51	9.71	6.43	9.84
Media	-4.78	-6.76	-13.4	-1.44
Alta	-4.35	-5.46	-4.36	-1.26
Muy alta	-2.01	-2.17	-5.28	-9.01

Para el año 2050 el crecimiento en la actividad humana y el cambio climático podrían significar un incremento de las áreas de muy baja y baja prioridad por sus servicios ecosistémicos de 16.6% - 6.43% y de 14.8% - 9.84%, bajo los escenarios RCP 4.5. (**Figura 90**) y 8.5, respectivamente, mientras que se podría presentar una disminución de las áreas con alta y muy alta capacidad de provisión de SE de -4.36% y 5.28% bajo el escenario RCP 4.5; mientras que en el escenario RCP 8.5, se podría esperar una disminución

(debido al crecimiento de los pastizales y las zonas agrícolas) (**Figura 89**). Por otro lado en el escenario RCP 8.5, la superficie clasificada como de muy baja y baja prioridad posiblemente se incrementará en 4.6% y 9.7%, respectivamente. Lo que significa una reducción de la capacidad de los ecosistemas para brindar múltiples servicios, principalmente aquellos relacionados a los servicios hidrológicos, debido al incremento de la temperatura y la reducción de la precipitación, acompañada de la transformación de la vegetación a otros usos de suelo.

Cuadro 61. Cambios en la priorización de SE bajo los escenarios de cambio en el uso del suelo y cambio climático (%). **Fuente:** Pares, A.C.

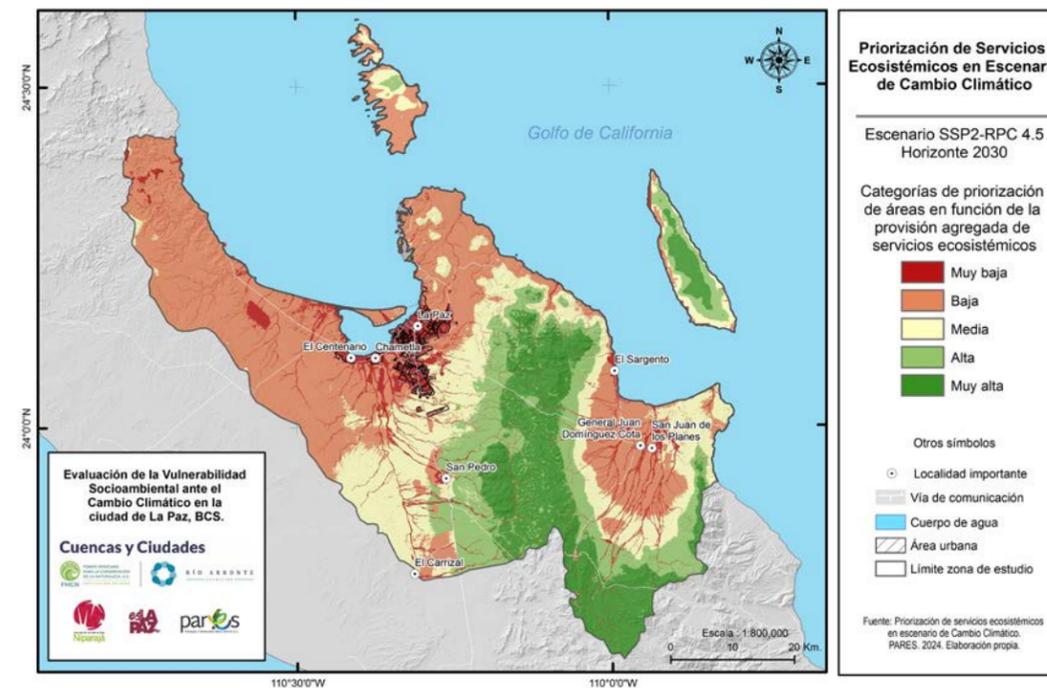


Figura 89. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5, a nivel de cuenca (2030). **Fuente:** Pares, A.C.

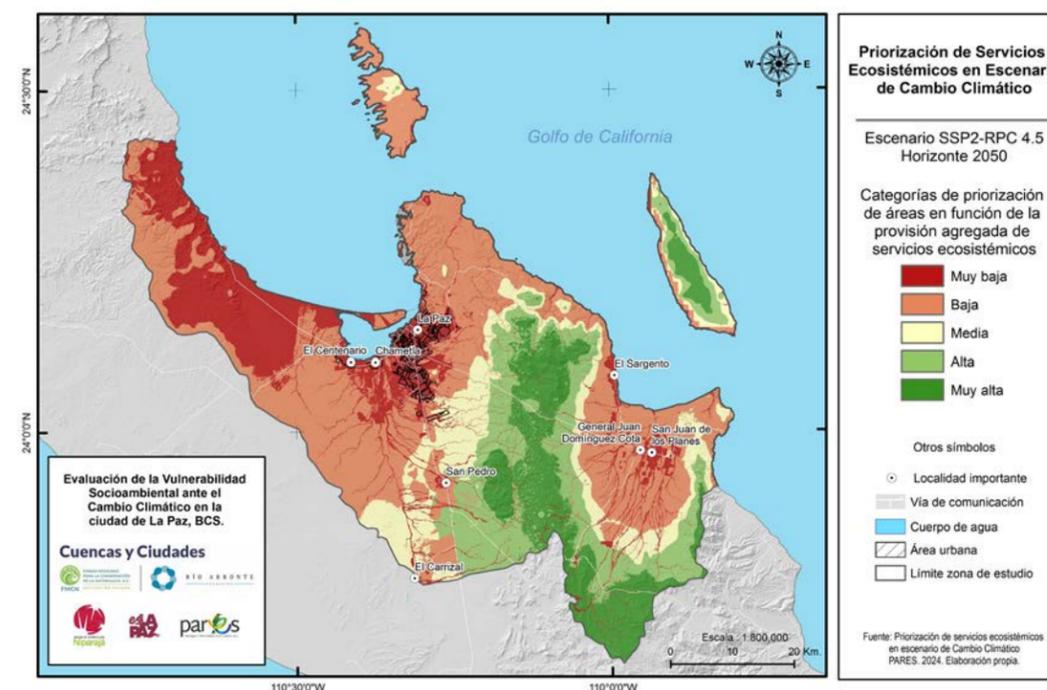


Figura 90. Priorización de servicios ecosistémicos en escenario RCP 4.5, a nivel de cuenca (2050). **Fuente:** Pares, A.C.

5.11.2. 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).

Cuadro 62. Crecimiento de población a 2030. Fuente: Pares, A.C.

Localidad	Población censal		Tasa de crecimiento		Población estimada	
	2010	2020	2010-2020	2030-2040	2040	2050
La Paz	215 178	250 141	1.52	0.563	290 784	325 363

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 la ciudad de La Paz, Baja California Sur, 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 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 La Paz como localidad, utilizando la población censal registrada en 2010 y 2020. La TCMA resultante fue de 1,52. Con base en esta tasa, se estimó la población para 2030, lo que arrojó una cifra de 290, 784 habitantes. Esto implica un incremento de cerca de 40, 693 habitantes con respecto a 2020.

No obstante, considerando que la ciudad de La Paz 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 período fue una TCMA de 0,563 (Cuadro 62).

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 superficies y ubicación de las áreas de crecimiento de la ciudad, se consideró la zona urbana 2024 y a esta se le sobrepusieron 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 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 La Paz, cuyo crecimiento urbano proyectado a 2030 se dará principalmente hacia el oriente y suroccidente de la zona urbana actual, lo que implica la intervención de zonas con pendientes pronunciadas, lo que con seguridad habrá de derivar en el incremento de los peligros de inundación, erosión, derrumbes y deslaves. Por su parte el crecimiento hacia el sur y suroccidente (Chametla y El Centenario) podría suponer la impermeabilización de zonas de confluencia de arroyos intermitentes de respuesta rápida -en la actualidad estos arroyos abastecen de agua a una parte de las zonas agrícolas cercanas a la ciudad-. Esta situación aumentaría el peligro de inundaciones en la zona urbana y el azolve de redes de alcantarillado actuales y por construir, dados los flujos rápidos que se podrían desencadenar producto de la compactación e impermeabilización del suelo. (Figura 91).

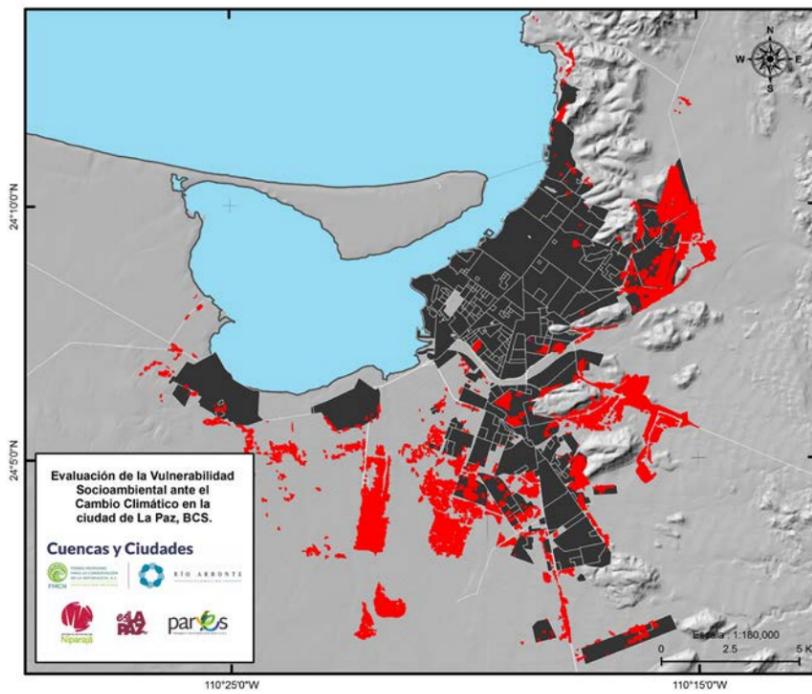


Figura 91. Proyección de zonas de crecimiento urbano de la ciudad de La Paz a 2030. Fuente: Pares, A.C.

En este análisis también se proyectó el crecimiento al año 2030 de las localidades rurales cercanas a la ciudad de La Paz. Los resultados indican que los patrones de crecimiento en todos los casos están asociados a vías importantes de comunicación (Figura 92). Las principales

localidades donde se aprecia este crecimiento son San Pedro, El Sargento y San Juan de los Planes. Este crecimiento es mucho menor que el de la ciudad de La Paz, probablemente limitado por la dificultad en el acceso al recurso hídrico.

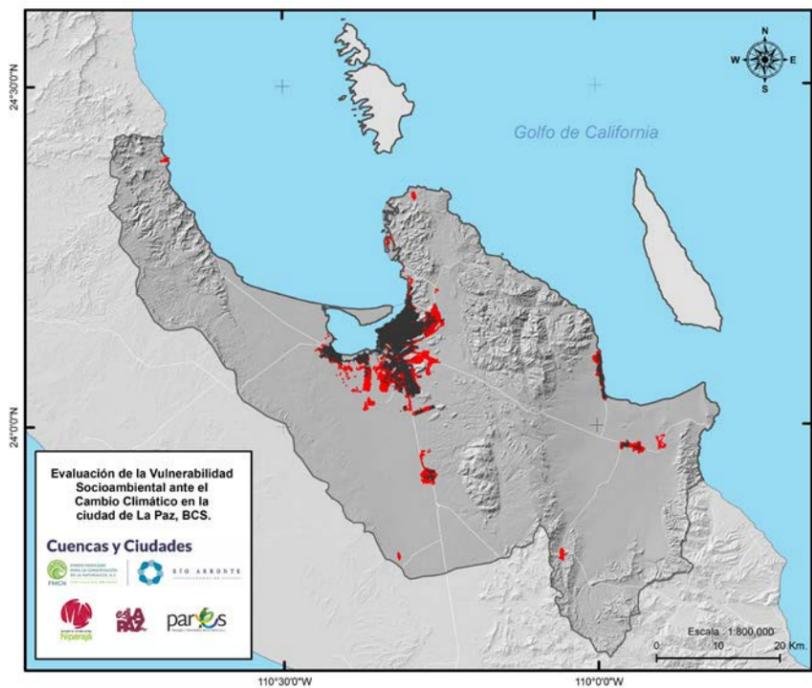


Figura 92. Proyección de zonas de crecimiento en localidades rurales al año 2030. Fuente: Pares, A.C.

A fin de obtener la vulnerabilidad futura de La Paz, 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 entre el censo 2020 y la proyección 2030 es de 40,693 habitantes, los cuales se distribuyeron en 2,427 ha de polígonos de crecimiento urbano proyectado, de acuerdo con las consideraciones incluidas en el Cuadro 63.

Es crucial destacar que este crecimiento poblacional, sumado al asentamiento en zonas con pendientes pronunciadas y con la presencia de algún otro peligro relacionado con el clima, podría incrementar la vulnerabilidad

de los habitantes de la ciudad de La Paz ante el cambio climático. La ocupación de áreas no aptas para la urbanización, como zonas inundables o con alta susceptibilidad a derrumbes y 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.

Cuadro 63. Distribución de la población en los polígonos de crecimiento urbano proyectados a 2030. Fuente: Pares, A.C.

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	1,710	60%	24,386	Alta
Zonas medianamente alejadas de entre 1 a 2.5 km del límite de la ciudad	309	25%	10,161	Media
Zonas muy alejadas mayores a 2.5 km y hasta 5km.	408	15%	6,096	Baja
Superficie total de crecimiento urbano	2,427	Diferencia de la población 2020-2030	40,643	

Con la finalidad de obtener el mapa de Vulnerabilidad Socioambiental futura proyectada al 2030 para La Paz, 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 La Paz. 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 (**Figuras 93 y 94**). Este mapa muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad en La Paz, destacando las zonas que requieren mayor atención y donde se deben priorizar las acciones de adaptación al cambio climático.

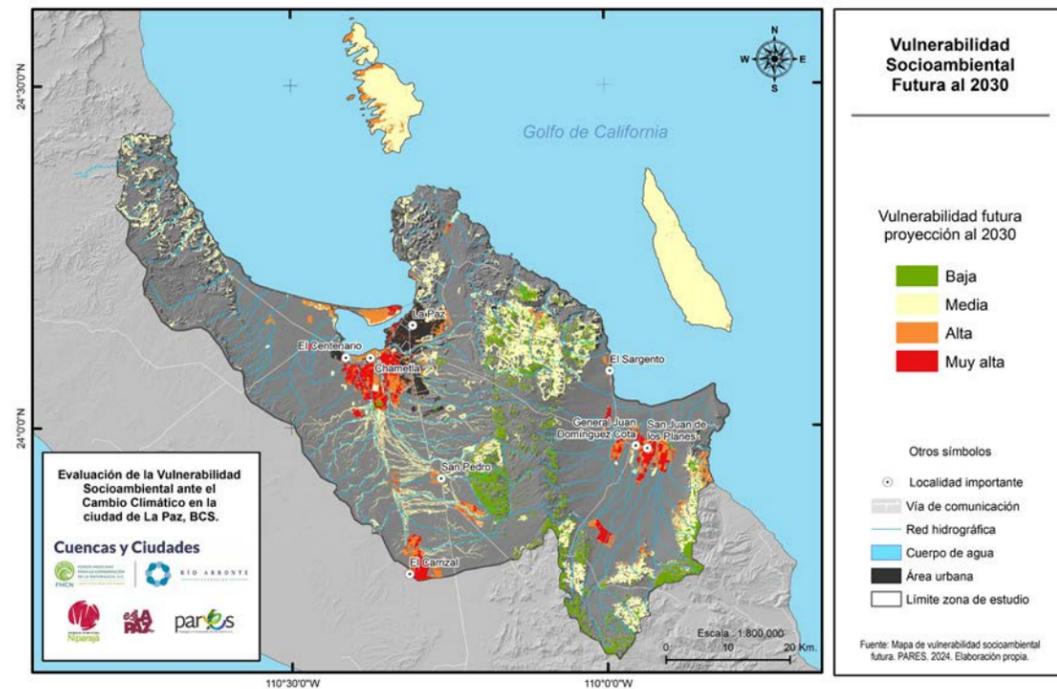


Figura 93. Vulnerabilidad socioambiental futura (proyección al 2030), zona de estudio. **Fuente:** Pares, A.C.

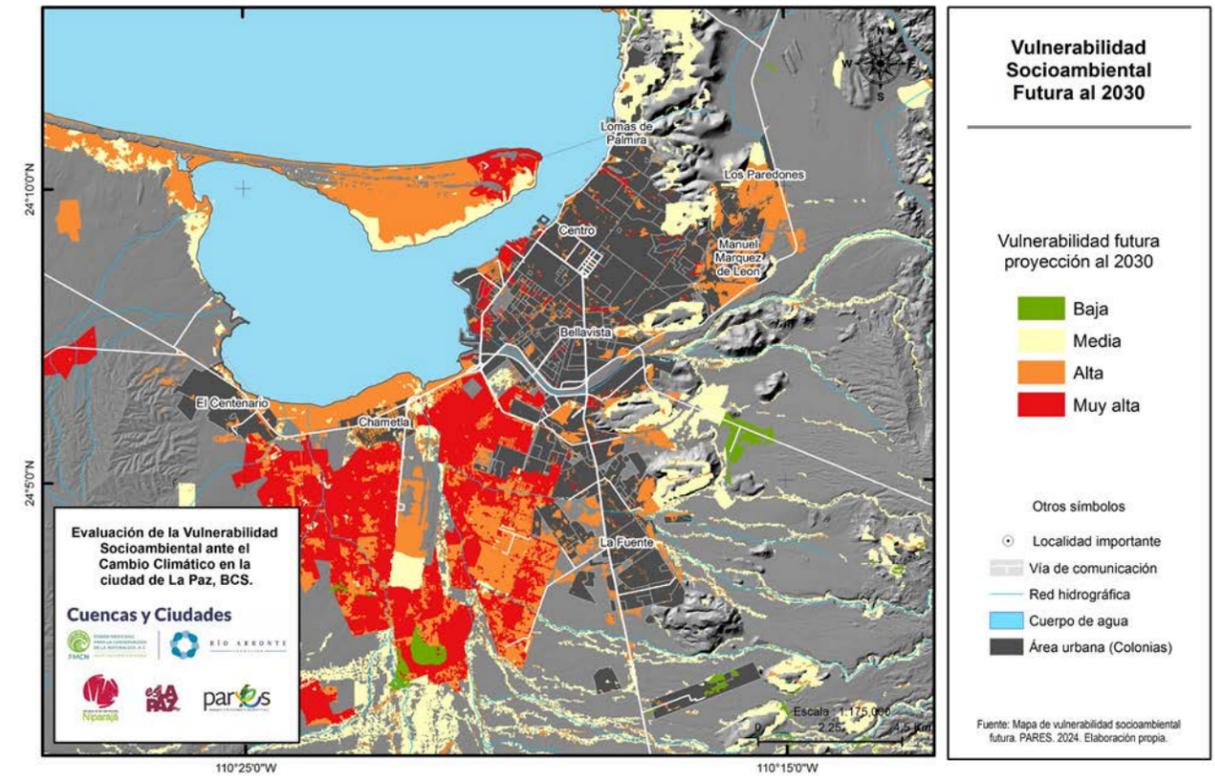


Figura 94. Vulnerabilidad socioambiental futura (proyección al 2030), entorno urbano. **Fuente:** Pares, A.C.

5.11.3. Vulnerabilidad sectorial futura (2030)

Sistema urbano-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 La Paz 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 de sequías y tormentas, con consecuencias devastadoras para vidas, medios de subsistencia e infraestructura. En La Paz se verán reflejados especialmente el incremento de inundaciones por arroyos de respuesta rápida y el incremento del flujo rápido que podría poner en situación crítica la infraestructura de la ciudad.
- **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 La Paz 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 que 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 La Paz, la zona costera es particularmente vulnerable, con riesgo de erosión e intrusión salina, lo que sumado a la mayor impermeabilización del suelo supondrá desafíos importantes a la gestión del acuífero que sustenta a la ciudad.
- **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 arroyos, podrían disminuir la disponibilidad de agua. El aumento de las temperaturas incrementará la demanda de agua en la ciudad y su entorno rural.

Desde hace más de una década, de acuerdo con Ivanova Boncheva, A. y A. Bermúdez, (2014), ya se reportaba que la mancha urbana de La Paz estaba creciendo en forma desordenada y dispersa, lo cual tendría efectos importantes en la sustentabilidad, debido principalmente a la fragmentación de los ecosistemas y al incremento de la infraestructura urbana necesaria para sustentar ese

crecimiento. Esta situación se ha comprobado por este análisis de vulnerabilidad, dado que se ha incrementado la cantidad de población en alguna categoría de vulnerabilidad y se espera que a 2030 la situación empeore.

Con relación a los impactos en la infraestructura crítica para la ciudad de La Paz, es preocupante la situación actual del sistema de abastecimiento de agua potable. Se ha identificado una pérdida significativa del caudal (47.8%) en la zona de pozos que surten a la ciudad, antes incluso de que el agua ingrese a la red de distribución urbana. Esta problemática, de no ser atendida, podría tener consecuencias graves para el abastecimiento de agua potable tanto para los habitantes locales como para el sector turístico, que depende en gran medida de este recurso (Sociedad de Historia Natural Niparáj, 2023).

Si bien los escenarios de cambio climático para la región no muestran una tendencia definida en cuanto a la variación de la precipitación, sí indican un incremento en las temperaturas y, por consiguiente, en la evaporación y evapotranspiración. Este fenómeno tendrá un impacto directo en la recarga del acuífero y agudizará el proceso que ya está sucediendo como la desertificación.

Adicionalmente, el crecimiento proyectado de la zona urbana de La Paz y su población al año 2030 conlleva un aumento en el volumen de extracción de agua del acuífero. Esta situación, en conjunto con los efectos del cambio climático, incrementa la vulnerabilidad de los habitantes de la zona urbana, así como la de los sistemas productivos que dependen del agua para su funcionamiento.

El turismo, un pilar fundamental de la economía de La Paz, se encuentra en una posición de alta vulnerabilidad debido a su ubicación costera y su dependencia de recursos naturales sensibles al cambio climático. La exposición a futuros impactos climáticos plantea desafíos significativos, entre los que destacan el aumento de las temperaturas promedio, lo que podría agravar la escasez de agua y afectar el suministro al sector hotelero, además de incrementar significativamente los costos por consumo de energía para mantener el confort térmico en sus instalaciones. Adicionalmente, la elevación del nivel medio del mar representa una amenaza para la superficie de las playas, un atractivo turístico clave para la región.

Sistema natural

Los resultados indican que los mayores cambios provocados por el crecimiento urbano proyectado al año 2030 se podrían presentar sobre terrenos que en la actualidad tienen vegetación de matorral tropical, es en este ecosistema donde puede experimentarse una pérdida de superficie de hasta 1,966.4 hectáreas. Este resultado no es sorprendente, desde el análisis de la vulnerabilidad actual (sección 5.10. de este documento) se identificaron 13, 237.75 hectáreas de matorral sarcocaula en algún grado de vulnerabilidad, predominando la vulnerabilidad Media con 11, 792.25 ha y la vulnerabilidad Alta con 566.18.

El matorral sarcocaula es un ecosistema único y valioso que se encuentra en la región de La Paz, Baja California Sur. Su pérdida tendría una serie de impactos negativos en el medio ambiente, la economía y la sociedad.

Impactos ambientales

- **Pérdida de biodiversidad:** El matorral sarcocaula alberga una gran diversidad de especies de plantas y animales, muchas de ellas endémicas de la región. Su destrucción implicaría la pérdida de hábitat para estas especies y podría llevar a su extinción local.
- **Desertificación:** El matorral sarcocaula ayuda a prevenir la desertificación al fijar el suelo y retener la humedad. Su pérdida aceleraría este proceso, lo que tendría consecuencias negativas para la agricultura y otras actividades económicas.
- **Erosión:** La vegetación del matorral sarcocaula protege el suelo de la erosión. Su eliminación dejaría el suelo expuesto a la acción del viento y del agua, lo que podría provocar la pérdida de suelo fértil y la sedimentación de cuerpos de agua.
- **Alteración del ciclo hidrológico:** El matorral sarcocaula juega un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico al interceptar la lluvia, reducir la escorrentía y favorecer la recarga de acuíferos. Su pérdida alteraría este ciclo, lo que podría agravar la escasez de agua en la región.

Impactos económicos

- **Pérdida de oportunidades turísticas:** El matorral sarcocaula es un atractivo turístico por su belleza paisajística y su rica biodiversidad. Su destrucción disminuiría el atractivo de la región para los turistas, lo que tendría un impacto negativo en la economía local.
- **Disminución de la productividad agrícola y ganadera:** La pérdida del matorral sarcocaula afectaría la disponibilidad de agua y la calidad del suelo, lo que disminuiría la productividad de la agricultura y la ganadería, actividades económicas importantes en la región.
- **Aumento de costos:** La desertificación y la erosión aumentarían los costos de producción en la agricultura y la ganadería, además de generar costos adicionales para la protección de la infraestructura y la provisión de agua potable.

Impactos sociales

- **Pérdida de patrimonio natural y cultural:** El matorral sarcocaula es parte del patrimonio natural y cultural de la región. Su pérdida implicaría la desaparición de un ecosistema único y valioso, así como de las tradiciones y conocimientos asociados a él.
- **Conflictos por el uso de la tierra y el agua:** La escasez de agua y la degradación del suelo podrían generar conflictos por el uso de la tierra y el agua, especialmente entre diferentes sectores económicos y grupos sociales.

Por otro lado se podrían presentar pérdidas de ecosistemas de manglar y dunas costeras en la zona del Mogote y la bahía de La Paz, situación que tendría una serie de impactos negativos interconectados que afectarían tanto al medio ambiente como a la sociedad y la economía locales.

Impactos ambientales:

- **Pérdida de biodiversidad:** Los manglares y las dunas costeras albergan una gran diversidad de especies de plantas y animales, muchas de ellas únicas y adaptadas a estos ecosistemas. Su destrucción implicaría la pérdida de hábitat para

estas especies, lo que podría llevar a su extinción local o incluso global.

- **Reducción de la protección costera:** Los manglares actúan como barreras naturales contra la erosión costera y las inundaciones, ya que sus raíces atrapan sedimentos y disipan la energía de las olas. Las dunas costeras también cumplen una función protectora al actuar como amortiguadores ante tormentas y marejadas. La pérdida de estos ecosistemas dejaría a la costa más vulnerable a los impactos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar y los eventos meteorológicos extremos.
- **Alteración de la calidad del agua:** Los manglares actúan como filtros naturales que depuran el agua y retienen sedimentos y contaminantes. Su destrucción podría afectar la calidad del agua en la bahía, lo que tendría consecuencias negativas para la salud humana y para los ecosistemas marinos, como los arrecifes de coral.
- **Disminución de la productividad pesquera:** Los manglares son zonas de cría y alimentación para muchas especies de peces e invertebrados de importancia comercial. Su pérdida afectaría la productividad pesquera de la bahía y su entorno marino, lo que tendría un impacto negativo en la economía de las comunidades que dependen de la pesca.

Impactos económicos:

- **Pérdida de atractivo turístico:** Los manglares y las dunas costeras son elementos clave del atractivo turístico de la bahía de La Paz. Su destrucción disminuiría el valor paisajístico de la región y afectaría actividades como el ecoturismo, el buceo y la observación de aves, lo que tendría un impacto negativo en la economía local.
- **Aumento de costos por desastres naturales:** La pérdida de la protección natural que brindan los manglares y las dunas costeras aumentaría la vulnerabilidad de la costa ante tormentas e inundaciones. Esto podría generar mayores costos para la reconstrucción de infraestructura y la atención de emergencias.
- **Impactos en la pesca:** La disminución de la productividad pesquera afectaría los ingresos de las

comunidades que dependen de esta actividad y podría generar conflictos por los recursos pesqueros.

Impactos sociales:

- **Pérdida de medios de vida:** Las comunidades que dependen de la pesca y el turismo para su subsistencia se verían directamente afectadas por la pérdida de los ecosistemas de manglar y dunas costeras. Esto podría generar desempleo, pobreza y migración.
- **Riesgos para la salud:** La contaminación del agua y la mayor exposición a eventos climáticos extremos podrían tener impactos negativos en la salud de las personas que viven en la costa.
- **Pérdida de patrimonio natural y cultural:** Los manglares y las dunas costeras son parte del patrimonio natural y cultural de la región. Su pérdida implicaría la desaparición de ecosistemas únicos y valiosos, así como de las tradiciones y conocimientos asociados a ellos.

Sector agropecuario

El sector agropecuario de La Paz podría experimentar cambios significativos debido a la pérdida de 526.17 hectáreas de suelo destinado a cultivos. El análisis de vulnerabilidad sectorial actual reveló que la agricultura de riego anual y semipermanente, que abarca una superficie de 6,622.06 hectáreas con muy alta vulnerabilidad, se concentra principalmente en el sur de Chametla y El Centenario, localidades conurbadas con la ciudad de La Paz y donde se observa también la mayor vulnerabilidad futura. Esta misma situación se presenta en las localidades de General Juan Domínguez Cota y San Juan de los Planes, ubicadas al suroriente de la ciudad y dedicadas a la agricultura de riego.

La pérdida de esta superficie de cultivo representa un impacto considerable en la economía local, ya que la agricultura es una actividad productiva importante para la región. La reducción en la superficie cultivable podría afectar la producción de alimentos, la generación de empleo y los ingresos de las familias que dependen de esta actividad.

De acuerdo con las secciones 5.9.6 y 5.11.1. de este mismo estudio, las áreas de recarga principales de la zona de estudio se localizan en la porción sureste (Sierras de El Novillo y Las Trincheras) que además es la zona de recarga potencial del acuífero La Paz y, por lo tanto, en donde se sugiere centrar los esfuerzos de conservación de suelo, cobertura vegetal y políticas públicas que acompañen su conservación.

Por su parte, posibles incrementos de temperatura y disminución de la precipitación a 2030, se traducirá en un inmediato incremento de la demanda de agua para los cultivos, ya que los niveles de evapotranspiración se ven alterados, además del incremento en la sodicidad del suelo, cabe mencionar que este último efecto ya se está presentando. Del mismo modo, un incremento en la demanda de agua implica un costo energético importante. En cuanto a la productividad, en un escenario de incremento de temperatura podrían presentarse reducciones, por ejemplo en el maíz (14%) y sorgo (9%). Mientras que en periodos de lluvia anormal se podrían esperar afectaciones en las cosechas, para maíz de 23%, sorgo 15% (Ivanova Boncheva, A. y A. Bermúdez. 2014).

Portafolio de Soluciones basadas en Naturaleza

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 los 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, arroyos y los lagos, proporcionan un drenaje natural para reducir las inundaciones”.

Por su parte, las Soluciones basadas en 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 como las SbN

protegen a las comunidades vulnerables de los fenómenos meteorológicos extremos, brindando resultados ventajosos para todos, 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:

- a) amortiguar a las comunidades de los impactos directos del cambio climático o reducir el riesgo de que se produzcan.
- b) garantizar que los servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades persistan y satisfagan sus necesidades a pesar de los impactos del cambio climático
- c) apoyar los medios de vida existentes y la generación de ingresos a pesar de las pérdidas financieras relacionadas con el clima.
- d) 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 Naturaleza (SbN) se basa en diversas experiencias del grupo consultor, así como en las propuestas e intereses planteados por los actores 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 Naturaleza, 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:

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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 el cambio climático y con enfoque de cuenca.
- d) 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.

- e) 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.

- f) 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 aprovechan 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.

w) Garantizar la representación en consejos, comités, juntas y otros organismos de participación.

x) 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	Inestabilidad de laderas, derrumbes, deslaves y erosión asociados a eventos hidrometeorológicos extremos.	
Soluciones	Estabilización de laderas con Bioingeniería y enfoque Miyawaki.	
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> Reducir la erosión del suelo: mediante los sistemas radicales de las plantas que pueden proveer una clase de red que mantiene el suelo junto (Sanchez-castillo, 2023). 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>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Recarga de agua Si se considera la siembra de especies frutales, puede proporcionar alimentos orgánicos. <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Belleza escénica Recreación y ecoturismo <p>Sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Formación de suelo Ciclo de nutrientes Fotosíntesis
Costos (USD)	Por unidad de área (m ²) 201.2 USD	(Angón, S., 2024)
Indicaciones (cuando usarlo)	En laderas identificadas como sujetas a peligro de inestabilidad (derrumbes, deslaves, erosión). Se utiliza para estabilizar grandes superficies sujetas a la acción erosiva del viento y agua.	Se puede utilizar en pendientes abruptas debido a que por su forma de implementación el talud se secciona en terrazas.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	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 Número de veces que los ecosistemas restaurados reducen la inundación por desborde de ríos (N°). Resistencia a la penetración de las capas superficiales (Kg/cm ²)	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. Costos evitados debidos a la implementación de la medida (USD).

Peligro	Erosión, derrumbes y deslizamientos	Inestabilidad de laderas en bordes de ríos
Soluciones	Sistemas agroforestales combinados con restauración ecológica (ONU-PNUMA CityAdapt, 2023)	Revegetación y estabilización de laderas de ríos Ramírez-Soto, A. F., et. al. (2021)
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> Conservación de remanentes de bosques Diversificación de las actividades productivas asociadas al campo Proveer medios de vida más resilientes a las familias Incrementar la conectividad entre los ecosistemas rurales, periurbanos y las áreas verdes o parques urbanos Producción y depuración del agua. Mejoramiento de la calidad del aire. Generación y reciclaje de nutrientes en el suelo. Prevención de erosión y deslaves. Regulación de la temperatura y el microclima Refugio para la biodiversidad y belleza escénica. Ramírez-Soto, A., et. al. (2022). Estabilizar y proteger viviendas o infraestructura, mediante los sistemas radicales que ayudan a evitar la erosión y deslave en la margen del cauce. Embellecer y servir como zonas recreacionales. La planificación y gestión adecuada de los espacios riparios favorece ampliamente el paisaje y la belleza escénica. Restaurar el hábitat ripario promoviendo la restauración del germoplasma nativo y la sucesión natural de especies. 	<p>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> Regulación de inundación Regulación de la erosión Regulación del microclima Incremento en la evapotranspiración. Regulación de la calidad del aire mediante la vegetación como partículas PM10 y PM2.5. Polinización <p>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Agua potable (infiltración) Alimentos <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Belleza escénica Provee espacios para la educación ambiental <p>Soporte</p> <ul style="list-style-type: none"> Formación de suelo Ciclo de nutrientes Fotosíntesis
Costos (USD)	USD \$20, 000 por hectárea bajo manejo Por unidad de área (m ²)	44.5 USD (Angón, S., 2024)
Indicaciones (cuando usarlo)	En zonas con actividad agropecuaria sometidas a presión por el crecimiento urbano-turístico. En laderas sujetas a procesos de inestabilidad y erosión. En predios agrícolas que requieren diversificación productiva para ser rentables.	En terrenos con presencia de bosques que requieren ser conservados y diversificados con alternativas productivas. En sitios vulnerables que requieran estabilizar laderas cercanas a viviendas o infraestructura, mediante la restauración y desarrollo de los sistemas radicales que evitan la erosión y deslaves en la margen del cauce.
Requisitos previos	Conocer el grado de vulnerabilidad del sitio a intervenir. Estrategia de involucramiento de los beneficiarios con acuerdos de participación. 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, análisis de fertilidad del suelo. 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.	Diseño ejecutivo de la intervención Identificación de las laderas a intervenir en función de: Caracterización físico-geográfica del área. Grado de vulnerabilidad del sitio a intervenir. Establecer una línea base de la composición biológica, su estado tipos de suelo y evaluar el nivel de deterioro del ecosistema ripario.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	Cantidad de suelo retenido por efecto del manejo agroforestal combinado con mejores prácticas de restauración ecológica (Ton/ha/año). Mejora en los medios de vida de las contrapartes beneficiarias (USD) Costos evitados por erosión, derrumbe o deslizamiento de ladera en el sitio de implementación de la medida (USD).	Porcentaje de prendimiento de las especies sembradas (%). Cantidad de sedimentos retenidos (Kg/m ²) Costos evitados por deslizamiento de ladera o derrumbes en el sitio de implementación de la medida (USD).

Peligro	Inundación por desborde de ríos urbanos y erosión de cauces.	
Soluciones	Parques lineales basados en naturaleza: empalizada viva de madera Revegetación y estabilización de laderas.	Ciclovía permeable (Angón, S. 2024)
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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 desbordamientos 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 <p>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> Regulación de la erosión y el azolve del cuerpo de agua. Regulación del microclima. 	<ul style="list-style-type: none"> 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) <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Belleza escénica Espacios para la educación ambiental <p>Soporte</p> <ul style="list-style-type: none"> Formación de suelo Ciclo de nutrientes Fotosíntesis
Costos (USD)	Por unidad de área (m ²) Empalizada viva de madera: 149.27 USD Revegetación y estabilización de ladera: 63.7 USD	Ciclovía Permeable 89.04 USD (Angón, S. 2024)
Indicaciones (cuando usarlo)	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.
Requisitos previos	<p>Empalizada viva de madera Caracterización físico-geográfica para conocer las características del talud y el suelo, para evaluar el nivel de deterioro y erosión.</p> <p>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</p>	<p>diseño de la intervención utilizando microtopografía y diámetros máximos de copa para seguridad cuando los árboles tengan su máximo desarrollo.</p> <p>Ciclovía Permeable Proyecto ejecutivo, incluye levantamiento topográfico, cálculos y planos de ingeniería.</p>
Ejemplo de indicadores para monitoreo	<p>Porcentaje de rebrote de la empalizada viva en el margen del cauce (%)</p> <p>Porcentaje de compactación que se mejora debido al sistema radicular de las especies utilizadas para la revegetación comparado con superficies no intervenidas (%).</p>	<p>Cantidad de agua que puede desalojar un metro cuadrado de concreto permeable (mm/hora).</p> <p>Mejora en la plusvalía de las propiedades próximas al sitio de intervención una vez la medida se ha establecida (%).</p>

Peligro	Inundación en zonas urbanas Isla de calor	
Soluciones	Sistemas urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS): Jardines de microcuenca urbana para el control de inundaciones	(Angón, S. 2024)
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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 reuso 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. 	<p>Regulación y soporte</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Belleza escénica Provee espacios para la educación ambiental <p>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Agua de calidad para consumo en riesgo
Costos (USD)	USD 200 / m ² CityAdapt 2023.	
Indicaciones (cuando usarlo)	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.
Requisitos previos	<p>Jardines de microcuenca</p> <p>Identificación del sitio: elegir una superficie con pendiente (entre 0 y 2 grados), suelo con alta capacidad de infiltración.</p> <p>Levantamiento con georradar para evitar daños a la infraestructura subterránea.</p>	<p>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.</p> <p>Paleta vegetal adecuada que se sembrarán con método Miyawaki.</p>
Ejemplo de indicadores para monitoreo	<p>Volumen de agua infiltrada (m³)</p> <p>Potencial de captación de agua del jardín infiltrante (m³)</p>	<p>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).</p> <p>Disminución de la temperatura en el interior del jardín infiltrante (°C).</p>

Peligro	Estrés hídrico por cambios en los patrones de lluvia.	Inundación Sequía
Soluciones	Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) Los SCALL pueden integrarse con otras soluciones para una mejor gestión del recurso hídrico en la ciudad:	Jardines infiltrantes. Parques lineales. Concretos permeables
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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. 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. 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. <p>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Abastecimiento de agua. 	<p>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> Control de inundaciones. Mejora la calidad del agua. Regulación del ciclo hidrológico. <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Educación ambiental. Bienestar social. <p>Sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Ciclo del agua. Recarga de acuíferos.
Costos (USD)	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.	Precio unitario: 1519.5 USD (Angón, S., 2024)
Indicaciones (cuando usarlo)	Colonias urbanas con problemas de abastecimiento de agua. Se utiliza en ámbitos urbanos, en casas habitación y edificios públicos (escuelas, oficinas de gobierno, estacionamientos techados, etc.)	Requiere de mantenimiento, sistema de filtros y otros componentes.
Requisitos previos	Financiamiento accesible para la población. Para su instalación se requiere: contar con el material necesario, el recurso humano capacitado y las condiciones ambientales para la instalación.	
Ejemplo de indicadores para monitoreo	Cantidad de agua recolectada por el sistema (m ³) Número de personas que mejoran su higiene por efecto de la implementación del SCALL (Personas).	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)

Peligro	Islas de calor urbanas	
Soluciones	Bosques de bolsillo urbanos Sistema Miyawaki	(Angón, S. 2024)
	* Se deberá priorizar la vegetación nativa adecuada al clima local	
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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. <p>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. 	<p>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> 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. <p>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Recreación y esparcimiento. Educación ambiental. Belleza escénica. Bienestar social. Especies de importancia cultural. Sitios de importancia cultural. <p>Sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Ciclo de nutrientes. Hábitat para la diversidad. Polinización. Formación y estabilidad del suelo. Ciclo del agua.
Costos (USD)	81.2 USD por m ²	(Angón, S., 2024)
Indicaciones (cuando usarlo)	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.
Requisitos previos	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.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	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).

Peligro	Marea de tormenta Inundación por elevación del mar	Erosión costera
Soluciones	a. Regeneración natural de manglares	b. Restauración de manglares
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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). 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) 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>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> 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>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Provisión alimento para distintas especies y comunidades. <p>Sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> 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>Culturales</p> <ul style="list-style-type: none"> Salud y belleza escénica.
Costos (USD)	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.	Precio unitario por hectárea Beeston et al. (2023). \$1,360.54 USD
Indicaciones (cuando usarlo)	Tipo A Nivel de degradación limitado.	Tipo B Pérdida completa de los bosques de mangle preexistentes o degradación severa (mas allá de la auto-reparación).
Requisitos previos	Identificación de causas de la perturbación y grado de exposición ante inundación por marea de tormenta o elevación del mar. Acciones de dragado de acceso y los centros de dispersión natural de sedimentos. Determinación de variables hidrológicas, batimetría e hidro período.	Variables de la biogeoquímica del manglar para determinar el consumo y disponibilidad de nutrientes. Análisis de variables fisicoquímicas. Análisis de variables del suelo. Condiciones ecológicas adecuadas. Disponibilidad de terreno, plántulas, conocimientos técnicos para la evaluación y la implementación.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	Propiedades fisicoquímicas Salinidad, Temperatura, pH Redox, sulfuros De acuerdo con EPA Methods for <i>Chemical Analysis of water and Wastes</i> y ASTM D Test Methods Riqueza altura, diámetro densidad del área basal (m / ind ha ⁻¹ / DAP)	Mejora en los medios de vida de las personas que participan en la implementación de la medida (USD). Costos de inundación por marea de tormenta evitados por efectos de los manglares restaurados (USD).

Peligro	Marea de tormenta	Inundación costera
Soluciones	Conservación-Restauración de dunas costeras	The Nature Conservancy. 2021.
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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>De Protección</p> <ul style="list-style-type: none"> Atenuación de olas y marejadas ciclónicas, absorbe los vientos, atrapa la arena, reduce la erosión, funciona como amortiguador para las estructuras hacia tierra. 	<p>Económicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Protección para las zonas de playa – turismo. <p>Medioambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> Hábitat de vida silvestre, diversidad de vegetación, protección de la zona natural de tierra.
Costos (USD)	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
Indicaciones (cuando usarlo)	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.
Requisitos previos	Identificación del sitio en función del grado de vulnerabilidad de las dunas a intervenir.	Apoyo técnico especializado Acceso a las especies vegetales requeridas.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	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).

Peligro	Inundación costera	
Soluciones	Conservación de pantanos, humedales costeros y marismas Restauración de pantanos, humedales costeros y marismas	<i>The Nature Conservancy</i> . 2021.
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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>De protección</p> <ul style="list-style-type: none"> Atenuación de olas, retención de aguas de inundación, retención de la velocidad del viento, retención de sedimentos. <p>Económicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Espacio recreativo, viveros de peces, crustáceos y moluscos, turismo. <p>Medioambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> Captura de carbono, hábitat de vida silvestre, criaderos de peces, crustáceos y moluscos, reciclaje de nutrientes.
Costos (USD)	-	
Indicaciones (cuando usarlo)	Marismas o pantanos existentes degradados, intactos o parcialmente degradados.	
Requisitos previos	Apoyo técnico: equipos multidisciplinarios de ingenieros, ecólogos de humedales, biólogos.	Acceso a los equipos y a las especies vegetales.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	Propiedades fisicoquímicas Salinidad, Temperatura, pH Redox, sulfuros De acuerdo con EPA Methods for <i>Chemical Analysis of water and Wastes</i> y ASTM D Test Methods	Mejora en los medios de vida de las personas que participan en la implementación de la medida (USD). Costos de inundación por marea de tormenta evitados por efectos de los manglares restaurados (USD).
	Riqueza altura, diámetro densidad del área basal (m / ind ha ⁻¹ / DAP)	

Peligro	Estrés hídrico en zonas de actividad agrícola	
Soluciones	Agricultura regenerativa	PNUD. 2015
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> 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. 	<ul style="list-style-type: none"> 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.
Costos (USD)	El costo mínimo es de \$1,400 USD /ha, considerando actividades para preparación de terreno, siembra,	control de plagas y malezas, y cosecha
Indicaciones (cuando usarlo)	En terrenos agrícolas sometidos a escasez de agua, pérdida de fertilidad del suelo por sobreexplotación y erosión.	
Requisitos previos	Acuerdos previos con los propietarios o ejidatarios. Apoyo técnico especializado	Acceso a las especies adaptadas a las condiciones
Ejemplo de indicadores para monitoreo	Disminución en la evapotranspiración por efectos de la implementación del acolchado con materia orgánica y el establecimiento de cultivos de cobertura (mm/día).	Costos evitados por disminución en las labores agrícolas respecto a campos de cultivo con manejo extensivo (USD).
	Incremento en el rendimiento de los cultivos en superficies bajo manejo de agricultura regenerativa (Ton/ha / ciclo de cultivo).	

Peligro	Contaminación de cuerpos de agua y arroyos	
Soluciones	Humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas y periurbanas	(Angón, S. 2024)
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> Remover contaminantes asociados a vertimientos municipales e industriales, si estos son adecuadamente construidos y operados; son especialmente eficaces removiendo contaminantes como sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo e hidrocarburos. Dar refugio a fauna silvestre: A pesar de que su principal función es remover contaminantes, los humedales artificiales también pueden ser refugio de fauna silvestre y atraer varios animales. Mejorar la calidad del agua: Estudios han demostrado que los humedales artificiales poseen un mayor valor en términos de control de inundaciones y aguas pluviales, mejora de la calidad del agua y restauración de la biodiversidad. 	<p>Los humedales ofrecen servicios ecosistémicos principalmente de:</p> <p>Regulación</p> <ul style="list-style-type: none"> Aporte de contaminantes a los ciclos de nitrógeno y fosforo en el agua. Purificación del agua y tratamiento de residuos Pueden ayudar a regular los flujos de agua en eventos de lluvia. Apoyan en la regulación de enfermedades <p>Aprovisionamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Provisión de plantas y flores con valor ornamental y económico. <p>Sostenimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Ciclo de nutrientes
Costos (USD)	Costo promedio por un humedal de flujo subsuperficial de 10m ² (celda de 10 m ² y profundidad de 1.2 m), incluye tanque de pretratamiento de 1300 litros	USD\$ 4, 377.57
Indicaciones (cuando usarlo)	<p>Cuando se requiera tratar aguas residuales de viviendas que por sus condiciones y ubicación no puedan conectarse a la red de alcantarillado urbano.</p> <p>Como alternativa al tratamiento de agua residual en pequeñas empresas siempre que no se viertan metales pesados.</p>	<p>Como alternativa al tratamiento de agua residual de granjas.</p> <p><i>*El proyecto debe incluir por lo menos: el diseño de las celdas de tratamiento, el tiempo de retención, el tipo de sustrato y la paleta vegetal.</i></p>
Requisitos previos	<p>Análisis de calidad del agua.</p> <p>Aforo de la cantidad de agua a tratar.</p>	Factibilidad para su instalación por parte de la autoridad
Ejemplo de indicadores para monitoreo	<p>% de remoción de Nitratos, Fosfatos y reducción en el DBO y coliformes</p> <p>m³ de agua residual tratada mediante el humedal artificial.</p> <p>Percepción de los vecinos respecto al olor después de la implementación del humedal artificial</p>	<p>Número de enfermedades gastrointestinales reportadas desde la implementación del humedal artificial</p> <p>Número de familias que mejoran sus medios de vida debido al mantenimiento del humedal artificial y a la cosecha de flores y plantas con valor ornamental y económico.</p>

Peligro	Erosión hídrica y eólica	
Soluciones	Construcción de tinas ciegas, zanjas, curvas de nivel y zanjas / bordo de infiltración	PNUD. 2015
Principales beneficios y Servicios Ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> Ayuda a reducir la velocidad de los escurrimientos. Promueve la infiltración de agua a la recarga de acuíferos superficiales. Aporta humedad a los ecosistemas. 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. 	<ul style="list-style-type: none"> Constituyen sitios de hidratación para la fauna. Favorece el desarrollo de suelo. Mejorar el rendimiento agrícola de tierras pobres. Si se añaden fertilizantes orgánicos se pueden obtener rendimientos de hasta 1 tonelada de sorgo / hectárea. Previenen la erosión eólica e hídrica. Apoyan la infiltración de agua al acuífero y su aprovechamiento en la agricultura.
Costos (USD)	El costo mínimo de elaboración es de 250 USD/m ³	El costo promedio es de 79 USD/ha.
Indicaciones (cuando usarlo)	<p>En sitios erosionados, principalmente de uso agropecuario.</p> <p>Son idóneas para lugares con precipitaciones menores a 600mm (como en el caso de La Paz).</p>	Ideal para sitios altamente erosionados.
Requisitos previos	Se requiere capacitación para la construcción de técnicas de retención de sólidos que permiten conservar la humedad en el suelo, y la recarga de acuíferos, principalmente superficiales.	Se requiere capacitación de uso de herramientas de mano y técnica para su adecuada ubicación en sentido perpendicular a la pendiente y escurrimientos.
Ejemplo de indicadores para monitoreo	<p>Volumen de agua infiltrada (m³)</p> <p>Incremento en la riqueza y abundancia de especies de flora y fauna por efecto de la implementación de medidas de conservación y restauración de suelo (# / tipo)</p> <p>Percepción de salud de los ecosistemas por efecto de la implementación de la medida (adimensional).</p>	<p>Rendimiento por hectárea de terreno bajo mejores prácticas para la reducción de la erosión. (USD/ha).</p> <p>Infiltración (mm/día).</p> <p>Riqueza y abundancia de especies de flora y fauna al interior de las tinas utilizadas para infiltrar agua y retener suelos (número/especie).</p>

6.1. Ejemplo de diseño de una SbN adaptada al contexto de la ciudad de La Paz Baja California Sur.

Restauración de manglares

De acuerdo con los resultados de este análisis, la ciudad de La Paz Baja California Sur, cuenta con una amplia oferta turística a lo largo del año, sin embargo, debido a la presión de turismo, al crecimiento urbano desordenado hacia zonas de alto valor ecológico, los manglares han sido afectados seriamente, en especial los ubicados al sur de El Mogote y al este de la localidad El Comitán. Estos ecosistemas son refugio, percha y proveedores de alimentos para distintas formas biológicas.

Además, los manglares proporcionan una serie de beneficios para el hombre: son barreras naturales de protección que retienen la erosión causada por vientos y mareas, ayudando así a mantener la línea de costa y a sostener la arena sobre las playas. En aquellos sitios en donde los manglares se han mantenido conservados, el impacto de fenómenos naturales como huracanes y oleaje de tormenta ha sido menor al de aquellos sitios en donde se destruyeron o no existen estas barreras naturales (Spalding & Leal, 2021). La restauración de los man-

glares se considera como una solución para incrementar la prestación de servicios de los ecosistemas, así como para prevenir la pérdida de la biodiversidad.

Objetivo de la restauración y conservación de Manglares

- 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).
- 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).
- 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).

Cuadro 64. Portafolio de Soluciones basadas en Naturaleza.

Impacto climático	Impacto no climático
Inundaciones	Impactos económicos derivados de la protección ante eventos hidrometeorológicos extremos
Control de erosión y transporte de sedimentos	Impacto positivo en los medios de vida resilientes para las comunidades locales.

Servicios ecosistémicos

La restauración y conservación de manglares puede proveer múltiples servicios ecosistémicos:

Regulación:

- Protección contra fenómenos hidrometeorológicos extremos (Dahdough-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.

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, S; Sippo, J; Tonneijk, F; Van-Bijseterveldt, C; Van-Eijk, 2023; Walters, *et al.*, 2008).

Culturales:

- Salud y belleza escénica

Beneficios y cobeneficios

La restauración de manglares puede proveer múltiples beneficios:

Ambientales:

- Control de la erosión y e inundaciones
- Refugio de fauna

Sociales:

- Pueden apoyar la asociación y colaboración entre vecinos beneficiarios.
- Pueden apoyar la reducción de enfermedades asociadas a la contaminación del agua.

Económicos:

- Proveer medios de vida más resilientes mediante el aprovechamiento sustentable producto de un ecosistema sano
- Reducción del impacto de los eventos hidrometeorológicos extremos

Culturales

- Apoyar la recuperación de la industria pesquera tradicional de la ciudad

Criterios técnicos.

Existen distintos enfoques para la restauración ecológica de manglares (**Cuadro 65**), para este protocolo se optó por el enfoque inclusivo que aporta la mayor cantidad de beneficios y cobeneficios tanto para el ecosistema, como también para las comunidades locales.

Cuadro 65. Enfoques de restauración de manglares. Fuente: (Beeston, M; Cameron, C; Haager, V; Howard, J; Lovelock, S; Sippo, J; Tonneijk, F; Van-Bijseterveldt, C; Van-Eijk, 2023)

Enfoque	Limitantes	Beneficios
Enfoque Tradicional	Se centra en acciones de reforestación masiva. No se tiene claridad en el monitoreo y evaluación de los resultados e impactos, ni se apoya en estrategias de mantenimiento a largo plazo.	Beneficios limitados usualmente enfocados solo en los ecosistemas
Enfoque inclusivo	Involucramiento de las partes interesadas, estrategias de monitoreo, programa de mantenimiento a largo plazo. Las necesidades y preocupaciones de las personas son atendidas	Amplio espectro de beneficios ambientales y sociales. Cumple con los lineamientos del Convenio de Cartagena y se reconoce como una SbN que permite hacer frente a los efectos del cambio climático.

Plazo para obtener resultados – integración con otras medidas.

La restauración ecológica de manglares usualmente se divide en tres etapas principales:

- 1) Caracterización: Tiene duración de alrededor de 3 meses;
- 2) Restauración: Tiene una duración promedio de 18 meses;

- 3) Monitoreo y evaluación: Como mínimo debe ser de un año -deseablemente 3 años- para garantizar que el manglar ha recuperado sus funciones y los propágulos se han establecido adecuadamente.

La restauración puede acompañarse de otras acciones enfocadas a conservar los ecosistemas como por ejemplo políticas públicas para la protección y evitar el cambio de uso de suelo, entre otras.

Lugar y escala de aplicación.

De acuerdo con el Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C. (CBMC), el análisis de amenaza de manglares realizado en los manglares del Mogote y la localidad El Comitán en La Paz Baja California Sur (**Figura 95**), tienen altos índices de amenaza de pérdida, especialmente los de la punta sur de El Mogote y los ubicados en la localidad El Comitán, entre otros. Esto se confirma cuando analizamos la vulnerabilidad ante el cambio climático de este sistema natural (**Figura 96**), donde podemos apreciar que los manglares ubicados en la punta sur del Mogote y los de la localidad El Comitán, presentan vulnerabilidades altas y se espera que en el futuro la presión del uso de suelo urbano, la obstrucción de los flujos de agua y la contaminación vuelvan aún más vulnerables estos ecosistemas. También puede observarse en la **Figura 97**, que estos ecosistemas se encuentran en la trayectoria de inundación por marea de tormenta.

Derivado de lo anterior, se propone la restauración de los polígonos indicados en la **Figura 98**, para mantener los servicios ecosistémicos que prestan principalmente como amortiguadores de los efectos negativos de la inundación por marea de tormenta.

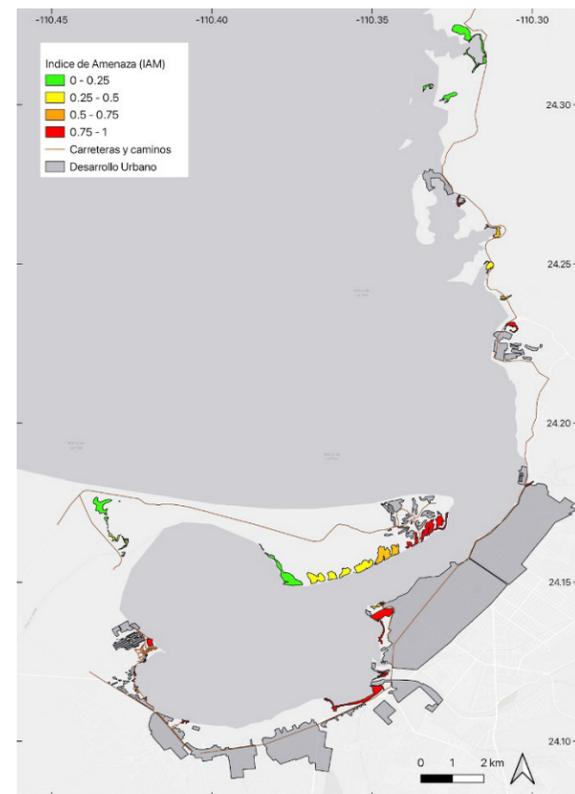


Figura 95. Índice de amenaza de manglares El Mogote-El Comitán. Fuente: CBMC (2024).



Figura 96. Vulnerabilidad ante el cambio climático. Fuente, Pares, A.C. 2024.



Figura 97. Peligro de inundación por marea de tormenta. Fuente, Pares, A.C. 2024.

Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje
1	Pol 1R	42.19
2	Pol 2R	11.30
3	Pol 3R	28.22
4	Pol 4R	15.49
5	Pol 5R	7.20
6	Pol 6R	7.59
7	Pol 7R	16.50
8	Pol 8R	33.19
9	Pol 9R	6.71
10	Pol 10R	2.25
Total		170.64

Cuadro 66. Polígonos propuestos para restauración (superficie Ha). Fuente: Pares, A.C.



Figura 98. Ubicación de los polígonos propuestos para restauración. Fuente: Pares, A.C.

De acuerdo con Beeston *et al.* (2023), las mejores prácticas para la restauración de manglares se dividen en:

Diagnóstico y caracterización

Se identifican las causas de la perturbación y se aportan los elementos para el diseño del proyecto, lo cual incluye microtopografía y determinación de cuencas hidrológicas

para definir las acciones de dragado de accesos y los centros de dispersión natural de sedimentos. Se determinan las variables hidrológicas como la dinámica hidrológica, batimetría e hidropereodo por medio de sensores de precisión (**Figura 99**).



Figura 99. Instalación de sensores de precisión. Créditos: ATEC SCP.

Se analizan variables de la biogeoquímica del manglar (contenido de materia orgánica y composición química del suelo) para determinar el consumo y disponibilidad de nutrientes hacia las plantas; y variables fisicoquímicas (temperatura, salinidad, pH, Potencial Redox) en sitio, concentración de sulfuro de acuerdo con EPA Methods for Chemical Analysis of water and Wastes y ASTM D Test Methods. Además, se determinan las variables del suelo: Densidad aparente, Materia orgánica, carbono orgánico, carbono orgánico en raíces y la estructura de la vegetación y atributos estructurales (riqueza, altura, diámetro y densidad del individuo).

Acciones de restauración

- **Dragado de canales:** es una de las principales acciones en la restauración ecológica, facilita el flujo de agua hacia y desde los sitios de restauración durante las mareas para captar el excedente de inundación y favorecer el hidropereodo (**Figura 100**).



Figura 100. Desazolve de canales primarios. **Créditos:** Beatriz Del Valle, 2024.

- **Canales primarios:** son los que unen el sitio de restauración con el cuerpo de agua más cercano. Pueden usarse canales naturales o diseñarse a través del análisis de cuencas y microtopografía.
- **Canales secundarios:** Estos canales son derivaciones del canal principal y tienen la función de distribuir el flujo del canal principal a sitios de interés dentro del área de restauración.

- **Restauración sedimentológica:** consiste en centros de elevación del microrrelieve, usando sedimento extraído de los canales para nivelar terrazas elevadas (**Figura 101**).



Figura 101. Restauración sedimentológica. **Créditos:** Beatriz Del Valle, 2024

- **Regeneración natural asistida:** Consiste en la recolección de propágulos y semillas de las especies de mangle a restaurar para reforestar a través de dispersión por bole y siembra directa. Incluye la recolección, selección, control de calidad, tiempo de germinación, transporte, dispersión y siembra. Para el manejo de los propágulos se sugiere contar con la participación de organizaciones locales y contrapartes beneficiarias y cumplir con la normativa aplicable para el manejo de especies protegidas en México.
- **Mantenimiento:** Consta de dar mantenimiento a los canales de marea habilitados, retirando material fino que se acumula en el fondo y en caso necesario, estabilizar los bordes. También es necesaria una segunda fase de recolección de propágulos de las especies seleccionadas botoncillo, blanco, rojo y negro, todas ellas presentes en el humedal El Mogote - La Paz) para reforestar a través de dispersión por bole y siembra directa, a fin de sustituir aquellas plantas que no fueron exitosas en la primera etapa.

Participación comunitaria

El componente de participación social debe estar presente en las distintas etapas de la restauración (Planeación, Diseño, Ejecución y Monitoreo), generando un vínculo con la comunidad que se traduzca en garantizar la sostenibilidad de la SbN a largo plazo (**Figura 102**).



Figura 102. Participación comunitaria. **Créditos:** Beatriz Del Valle, 2024

Modelo económico.

A continuación, se ofrece un análisis detallado de cada una de las actividades involucradas en la restauración ecológica de un ecosistema de manglar. Este análisis sigue las mejores prácticas para la restauración ecológica, según lo establecido por Beeston et al. (2023) **Cuadro 67**.

Monitoreo y vigilancia

El monitoreo es la repetición sistemática de mediciones de indicadores y variables para su seguimiento en el tiempo. En el caso de la restauración de manglares, el monitoreo incluye el análisis de variables biogeoquímicas (salinidad, temperatura, pH, redox y sulfuros) y propiedades físicas (densidad, materia orgánica y carbono subterráneo y estructura forestal) son claves para evaluar la SbN. Los resultados que se indican en este marco de monitoreo son de carácter indicativo, cada solución que decida desarrollarse tomando como ejemplo este análisis deberá seleccionar metas, resultados e indicadores que consideren más idóneos **Cuadro 68**.

Concepto	Actividad	Unidad	PU (USD)	Cantidad	Subtotal
Diagnóstico y caracterización					
1	Microtopografía y determinación de cuencas hidrológicas (modelación de flujos preferenciales)	ha	\$117.91	170.64	\$20,120.16
2	Variables hidrológicas	sensor	\$2,102.86	5	\$10,514.30
3	Variables de la biogeoquímica del manglar (salinidad, temperatura, pH, Redox y sulfuros)	estación de monitoreo	\$264.55	10	\$2,645.50
4	Variables de suelo	núcleo	\$226.76	10	\$2,267.60
5	Estructura de la vegetación	sitio de muestreo	\$453.51	10	\$4,535.10
Acciones de restauración					
6	Restauración hidrológica	ml	\$23.50	500	\$11,750.00
7	Restauración sedimentológica	ha	\$1,496.60	170.64	\$255,379.82
8	Regeneración natural asistida	ha	\$1,20.41	170.64	\$174,122.76
9	Mantenimiento	ha	\$408.16	170.64	\$69,648.42
Participación comunitaria					
10	Talleres de capacitación y fortalecimiento de capacidades	taller/curso	\$1,360.54	2	\$2,721.08
Total					\$533,704.75

Cuadro 67. Costos de la restauración de manglares con enfoque inclusivo y mejores prácticas internacionales. **Fuente:** Pares A. C.

No. Eje temático	1. Variables biogeoquímicas	
Resultado	Mejora del 10% en las variables hidro geoquímicas del ecosistema durante el tiempo de la restauración	
Indicador de gestión	<ul style="list-style-type: none"> Salinidad Temperatura pH 	<ul style="list-style-type: none"> Redox Sulfuros
Indicador de impacto	-	
Unidad de medición	g/l °C Adimensional	mV de o ² mg/l EPA Methods for Chemical Analysis of water and Wastes y ASTM D Test Methods
Método	EPA Methods for Chemical Analysis of water and Wastes y ASTM D Test Methods	
Cuándo monitorear	Cada 4 meses durante el periodo de implementación	
Responsable	Responsable: Ayuntamiento de La Paz Participantes: Organizaciones en el territorio, Universidades socias.	
No. Eje temático	2. Variables de suelo	
Resultado	Mejora del 10% en las variables de suelo posterior a la implementación	
Indicador de gestión	<ul style="list-style-type: none"> Densidad Materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> Carbono subterráneo
Indicador de impacto	-	
Unidad de medición	-	
Método	ASTM D Test Methods	
Cuándo monitorear	Línea base al inicio y comparación al final del proyecto	
Responsable	Responsable: Ayuntamiento de La Paz Participantes: Organizaciones en el territorio, Universidades socias.	
No. Eje temático	3. Estructura forestal	
Resultado	Mejora del 20% en la estructura del ecosistema restaurado	
Indicador de gestión	-	
Indicador de impacto	<ul style="list-style-type: none"> Riqueza Altura Diámetro, densidad 	<ul style="list-style-type: none"> Área basal Frecuencia Índice de valor de importancia
Unidad de medición	m Ind ha ⁻¹	DAP Adimensional
Método	De acuerdo con los lineamientos de medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono (Kauffman et al., 2013)	

No. Eje temático	3. Estructura forestal	
Cuándo monitorear	Línea base al inicio y comparación al final del proyecto	
Responsable	Responsable: Ayuntamiento de La Paz Participantes: Organizaciones en el territorio, Universidades socias.	
No. Eje temático	4. Social	
Resultado	Las personas que participan en la implementación de la SbN mejoran sus ingresos en 30%	
Indicador de gestión	Incremento de los ingresos por concepto de trabajos de restauración de manglares.	
Indicador de impacto	-	
Unidad de medición	USD	
Método	Comparativa de ingresos sin participar en actividades de restauración, vs ingresos derivados de la participación en actividades de restauración de manglares.	
Cuándo monitorear	Línea base al inicio y Una vez cada 6 meses	
Responsable	Responsable: Ayuntamiento de La Paz Participantes: Organizaciones en el territorio, Universidades socias.	
No. Eje temático	5. Económico	
Resultado	Los sitios de manglar restaurado ofrecen una barrera de protección ante eventos hidrometeorológicos extremos	
Indicador de gestión	-	
Indicador de impacto	Costos de inundación evitados debido a la restauración de manglares	
Unidad de medición	USD	
Método	Balance de pérdidas en comunidades con manglares degradados vs comunidades con manglares restaurados	
Cuándo monitorear	-	
Responsable	Responsable: Ayuntamiento de La Paz Participantes: Organizaciones en el territorio, Universidades socias.	

Cuadro 68. Marco de monitoreo propuesto para la intervención.
Fuente: Pares A. C.

Siglas y acrónimos

- **AbE** - Adaptación basada en Ecosistemas
- **AGEB** - Área Geoestadística Básica
- **ANP** - Área Natural Protegida
- **AR6 (en inglés) - Sixth Assessment Report - IPCC**
- **B** - Flujo base
- **CC** - Cambio climático
- **CeBICA** - Centro de Control y Bienestar Animal de Mazatlán.
- **CENAPRED** - Centro Nacional de Prevención de Desastres
- **CFE** - Comisión Federal de Electricidad
- **CMIP (en inglés)** - Trayectorias de Concentración de Emisiones Representativas
- **CMNUCC** - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático
- **COMUDE** - Consejos Municipales de Desarrollo Urbano y Rural
- **CONABIO** - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- **CONAGUA** - Comisión Nacional del Agua
- **CONAPO - Consejo Nacional de Población**
- **CONSELVA** - Conselva, Costas y Comunidades A.C.
- **Cordex** (en inglés) - *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*
- **CRU** (en inglés) - *Climate Research Unit*
- **CS - Carbon storage (almacenamiento de carbono)**
- **CUSCV** - Cambio de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal
- **DEM** - Modelo Digital de Elevación (por sus siglas en inglés)
- **ENOS** - “EL Niño”-Oscilación del sur
- **ESM** (en inglés) - *Earth System Model*
- **GEI** - Gases de Efecto Invernadero
- **GFDL** (en inglés) - *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*
- **HighRes** (en inglés) - Modelos Globales de Alta Resolución
- **IBG** - Indicador de brechas de género
- **IMPLAN** - Instituto Municipal de Planeación.
- **INAFED** - Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal
- **INE** - Instituto Nacional Electoral
- **INEGI** - Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- **INMUJERES** - Instituto Nacional de las Mujeres
- **InVEST** - *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*
- **IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change
- **ISSE** - Índice de Sensibilidad Socioeconómica
- **ISSEBG** - Índice de Sensibilidad Socioeconómica con brechas de género
- **JUMAPAM** - Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
- **L** - Recarga local
- **LCM** - *Land Change Modeler*
- **MCR** - Modelos Climáticos Regionales
- **MCG** - Modelos Climáticos Globales msnm - metros sobre el nivel del mar
- **MPI-ESM** (en inglés) - *Max Planck Institute for Meteorology*
- **NCAR** (en inglés) - *National Center for Atmospheric Research*
- **NC** - Número de curva
- **NCEP** (en inglés) - Centros Nacionales de Predicción Ambiental
- **NOAA** (en inglés) - Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
- **OSC** - Organizaciones de la Sociedad Civil
- **OMM** - Organización Meteorológica Mundial
- **PAWC** - Contenido volumétrico del agua en el suelo
- **PET** - Evapotranspiración potencial
- **PIB** - Producto Interno Bruto
- **PNUD** - Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
- **Pr** - Precipitación
- **QF** - Flujo rápido mensual
- **RCA** (en inglés) - *Rosby Centre Regional Climate Model (RCA4)*
- **RCP** (en inglés) - Proyecciones de Concentración Representativa
- **SbN** - Soluciones basadas en Naturaleza
- **SDR** - Sediment Delivery Ratio (retención de sedimentos)
- **SE** - Servicios Ecosistémicos
- **SEDATU** - Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
- **SEDENA** - Secretaría de la Defensa Nacional
- **SECTUR** - Secretaría de Turismo
- **SEMARNAT** - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- **SETUE** - Secretaría de Turismo y Economía
- **SMHI** - Centro de Investigaciones Atmosféricas de Suecia
- **SMN** - Servicio Meteorológico Nacional
- **SSP** (en inglés) - Escenarios Socioeconómicos Compartidos
- **STD** - Desviación estándar
- **SWAT** - *Soil and Water Assessment Tool*
- **SWY** - *Seasonal Water Yield*
- **Tmax** - temperatura máxima
- **Tmin** - temperatura mínima
- **Tt** - Tormenta Tropical
- **UE** - Unidades Económicas
- **UP** - Unidades de Producción
- **USCV** - Usos de Suelo y Cobertura Vegetal
- **VACB** - Valor Agregado Censal Bruto
- **VPH** - Viviendas particulares habitadas
- **WRF** (en inglés) - *Weather Research and Forecasting*
- **WY** - *Water Yield* (producción superficial de agua)

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

fenómenos incluyen huracanes, tornados, olas de calor, sequías e inundaciones, entre otros.

- **Género:** El género es una construcción social que se refiere a las relaciones entre los sexos, basadas en sus funciones relativas. Abarca los atributos económicos, políticos y socioculturales, las limitaciones y las oportunidades asociadas con el hecho de ser hombre o mujer. Como construcción social, el género varía de una cultura a otra, y es dinámico y propenso a cambios a lo largo del tiempo. Debido a la variación de género entre culturas y a lo largo del tiempo, no deben hacerse suposiciones sobre los roles de género, sino que deben investigarse. Debe tenerse en cuenta que “género” no es intercambiable con “mujeres” o “sexo”.
- **Gestión de riesgos de desastre:** Procesos para diseñar, aplicar y evaluar estrategias, políticas y medidas destinadas a mejorar la comprensión de los riesgos de desastre, fomentar la reducción y la transferencia de riesgos de desastre, y promover la mejora continua en las prácticas de preparación, respuesta y recuperación para casos de desastre, con el objetivo explícito de aumentar la seguridad humana, el bienestar, la calidad de vida y el desarrollo sostenible.
- **Gobernanza:** Concepto amplio e inclusivo de toda la gama de medios existentes para acordar, gestionar, aplicar y supervisar políticas y medidas. Mientras que el término gobierno se refiere estrictamente al Estado nación, el concepto más amplio de gobernanza reconoce la contribución de los distintos niveles de gobierno (mundial, internacional, regional, subnacional y local), así como la función del sector privado, los actores no gubernamentales y la sociedad civil para abordar los numerosos tipos de cuestiones a que se enfrenta la comunidad mundial.
- **Grupo etario:** Es un grupo de personas que comparten edad o momento vital, y que resultan de interés estadístico o académico.
- **Humedal:** Áreas que permanecen en condiciones de inundación o con suelo saturado con agua durante períodos considerables de tiempo.
- **Infiltración:** Movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia su interior. La cantidad de agua que se filtra no es igual al total de la precipitación, ya que hay pérdidas por la intercepción de la cubierta vegetal, la retención en las depresiones del terreno, la evaporación y la escorrentía superficial
- **Infraestructura verde:** Red de espacios y elementos que mejoran la resiliencia ante impactos como el

Cambio climático, contribuyen a la conservación de la biodiversidad y benefician a las poblaciones humanas mediante el mantenimiento y mejora de los servicios de los ecosistemas.

- **Infraestructura verde-azul:** Redes interconectadas planificadas de áreas naturales y seminaturales, que incluyen cuerpos de agua y espacios abiertos verdes, que proveen de diferentes servicios ecosistémicos. Incluye espacios y otros componentes verdes (parques naturales, corredores ecológicos, parques urbanos ...) y azules (arroyos, lagunas, embalses) en áreas terrestres y marinas.
- **Intrusión salina:** es el proceso por el cual los acuíferos costeros están conectados con el agua de mar. Esto supone que el agua salada (procedente del mar) fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce. Este proceso se debe a la mayor densidad del agua del mar (debido a que contiene más solutos) que el agua dulce.
- **Inundaciones:** Aumento y desbordamiento de los niveles normales de agua en los cuerpos o corrientes de agua, permaneciendo por tiempo prolongado; pueden ser de origen fluvial o pluvial; generan daños a las viviendas, a la infraestructura, a los cultivos y problemas de salubridad
- **Marejada ciclónica:** Un aumento anormal del nivel del mar que acompaña a un huracán u otra tormenta intensa, cuya altura es la diferencia entre el nivel observado de la superficie del mar y el nivel que se habría producido en ausencia del ciclón. La marejada ciclónica se estima normalmente restando la marea alta normal o astronómica de la marea de tormenta observada.
- **Medios de subsistencia:** Los recursos utilizados y las actividades realizadas para vivir. Generalmente se determinan por los derechos y activos a los que tienen acceso las personas. Dichos activos se pueden clasificar como humanos, sociales, naturales, físicos o financieros.
- **Mitigación:** El término mitigación se utiliza de dos maneras diferentes. 1) En el contexto del cambio climático se refiere a las intervenciones humanas destinadas a reducir las emisiones o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero. 2) En el contexto de gestión del riesgo de desastres, se refiere a la disminución o limitación de los impactos adversos de los riesgos y los desastres relacionados. Por ejemplo, la construcción de defensas contra las inundaciones, la plantación de árboles para estabilizar las laderas y la aplicación de estrictos códigos de uso del suelo y de construcción de edificios.

- **Peligro:** Posibilidad de que se produzcan consecuencias adversas por las cuales algo de valor está en riesgo y en las cuales un desenlace o la magnitud del desenlace son inciertos.

- **Reducción de Riesgo de desastres basado en Ecosistemas (Eco RRD):** Enfoque que busca resaltar los beneficios de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la reducción del riesgo, al tiempo que pretende demostrar cómo las acciones que se desarrollen alrededor de los ecosistemas pueden ser beneficiosas en ambos sentidos.

- **Resiliencia urbana:** Habilidad de cualquier sistema urbano de mantener continuidad después de impactos o de catástrofes mientras contribuye positivamente a la adaptación y la transformación.

- **Riesgo climático:** Potencial de impactos desfavorables sobre personas, sistemas naturales y sectores económicos producto de la ocurrencia de condiciones climáticas adversas.

- **Sensibilidad:** Cualidad o estado de un sistema de ser receptivo a un estímulo externo. En el contexto de la gestión del riesgo de desastres y del cambio climático, la sensibilidad se refiere a la susceptibilidad de un sistema de verse afectado por una amenaza o un factor de estrés.

- **Sequías:** Periodos prolongados de tiempo sin presencia de lluvia que pueden generar problemáticas relacionadas con el abastecimiento de agua y los cultivos.

- **Servicios ecosistémicos:** Son aquellos servicios que la naturaleza o los procesos ecológicos proveen a los seres vivos y al planeta.

- **Silvicultura urbana:** Manejo de la vegetación leñosa de los ambientes urbanos y periurbanos para la producción de bienes y servicios.

- **Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN):** Conjunto de acciones o políticas que aprovechan el poder de la naturaleza para abordar algunos de nuestros desafíos sociales más urgentes, como la amenaza de la disponibilidad del agua, el creciente riesgo de desastres naturales o el Cambio climático.

- **Sustentabilidad:** Habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas.

- **Tasa de crecimiento media anual:** Proporciona una medida del crecimiento global de una entidad durante un periodo de tiempo determinado. Se calcula dividiendo el valor final por el valor inicial, restando 1, dividiendo por el número de años y multiplicando por 100.

- **Unidad de producción:** Conjunto de recursos materiales, incluyendo el factor humano, organizados con el fin de generar uno o más bienes o servicios.

- **Uso del suelo:** Los diferentes sistemas manejados por el hombre y que constituyen propiamente una cubierta de usos del suelo. Incluye la agricultura, la ganadería, la silvicultura, la acuicultura, los asentamientos humanos y las zonas urbanas.

- **Valor Agregado Censal Bruto (VACB):** Es el valor que resulta de restar a la producción bruta total, el importe de los insumos totales.

- **Vegetación primaria:** Es aquella que no presenta alteración significativa o la que no manifiesta mucha degradación.

- **Vegetación secundaria:** Aparece después de que un tipo de vegetación se elimina o altera por diversos factores humanos o naturales; es una comunidad vegetal significativamente diferente a la original y con estructura y composición florística heterogénea (INEGI, 2015)

- **Vulnerabilidad:** Propensión o predisposición para afectar. La vulnerabilidad a los mismos riesgos puede variar en función del género, la riqueza, la movilidad y otros factores. La vulnerabilidad abarca una serie de conceptos y elementos, como la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para hacer frente y adaptarse

- **Vulnerabilidad al cambio climático:** Nivel al que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático —o si no es capaz de soportarlos—, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad se relaciona con el carácter, la magnitud y la velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

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.
- Andrade, J. L., Meinzer, F. C., Goldstein, G. & Schnitzer, S. A. 2005. Water uptake and transport in lianas and co-occurring trees of a seasonally dry tropical forest. *Trees*, 19(3): 282-289.
- Angón, S. 2024. Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para la gestión del Agua en Ciudades. La experiencia de CityAdapt - Pares en ciudades. México.
- 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.
- Apodaca-Ruiz, S. P. (2022). Análisis de la gestión del agua urbana en La Paz, B.C.S. Y propuesta de estrategias alternativas para un manejo sostenible. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- 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: https://www.researchgate.net/publication/291146698_Tutorial_para_el_mapeo_de_funciones_ecosistemicas_y_servicios_ecosistemicos_Protocolo_ECOSER
- Bazant, J. (2001). Lineamientos para el ordenamiento territorial de las periferias urbanas de la ciudad de México. *Papeles de Población*, 7(27), 223-239. <http://www.redalyc.org/pdf/112/11202709.pdf>
- Beeston, M; Cameron, C; Haager, V; Howard, J; Lovelock, C; Sippo, J; Tonneijk, F; Van-Bijsterveldt, C; Van-Eijk, P. (2023). Pautas de mejores prácticas para la restauración de manglares.
- Bhagabati, N. K., Ricketts, T., Sulistyawan, T. B. S., Conte, M., Ennaanay, D., Hadian, O. *et al.* 2014. Ecosystem services reinforce Sumatran tiger conservation in land use plans. *Biological Conservation*, 169: 147-156.
- Bien Informado. Periódico en línea. Los Cabos y La Paz son dos de las ciudades más visitadas en México. 07032024. <https://yobieninformado.com/los-cabos-y-la-paz-son-dos-de-las-ciudades-mas-visitadas-en-mexico/>
- Blanco, I., Fleury, S., & Subirats, J. (2012). Periferias urbanas y Transformación Social. *Gestión y Política Pública*, 2012, 3-40.
- Bruijnzeel, L. A., Burkard, R., Carvajal, A., Frumau, K. F. A., Köhler, L., Mulligan, M. *et al.* 2006. Hydrological impacts of converting tropical montane cloud forest to pasture, with initial reference to northern Costa Rica. DFID Project Report.
- Canadell, J., Jackson, R. B., Ehleringer, J. B., Mooney, H. A., Sala, O. E. & Schulze, E. D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108(4): 583-595.
- 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.
- CENAPRED. 2006. Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social.
- Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C. (CBMC). (2024). Herramienta

- científica para prever pérdidas de manglar. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2024/11/mexico-herramienta-cientifica-preve-perdidas-de-manglar-e-impulsa-defensa-comunitaria/>.
- 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
 - Chan, H.T., y Baba, S. (2009). Manual on guidelines for Rehabilitation of Coastal Forests damaged by Natural Hazards in the Asia-Pacific Region. International Society for Mangrove Ecosystems (ISME) e International Tropical Timber Organization (ITTO). https://www.preventionweb.net/files/13225_ISMEManualoncoastalforestrehabilita.pdf
 - CityAdapt. (2023). 20 soluciones basadas en Naturaleza implementadas con enfoque de cuenca en zonas urbanas y periurbanas (Proyecto CityAdapt 2018-2023). 83 p. Disponible en : <https://cityadapt.com/publicacion/20-medidas-de-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-implementadas-con-enfoque-de-cuenca-en-zonas-urbanas-y-peri-urbanas/>
 - CityAdapt. (2023). Establecimiento de corredores riparios para la apropiación de espacios verdes: ANP Molino de San Roque.
 - 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>
 - CnarioLapaz. (s.f). <https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioLapaz.pdf>
 - Comisión Estatal del Agua (CEA). (2022a). Programa Hídrico Estatal 2021-2027. Comisión Estatal del Agua. Gobierno de Baja California Sur, México (31 de julio de 2022) Disponible en: <https://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/planeacion/programas-estatales/Programa%20Estatal%20Hidrico.pdf>
 - Comisión Estatal del Agua (CEA). (2022b). Programa Plan Hídrico Rural 2021-2027. Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Baja California Sur (BOGE), No. 45, tomo XLIX, https://cea.bcs.gob.mx/wp-content/uploads/Normas/PHE_2021-2027.pdf
 - Comité interestatal permanente par al a lucha de la sequía en el Sahel (CILS). (2024). Portafolio de medidas para evitar la desertificación.
 - CONAGUA (2024). Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero La Paz, Estado de Baja California Sur. Disponible en: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0324.pdf
 - CONANP. (2020). Resúmen ejecutivo del Programa de Adaptación al cambio climático del complejo de las ANP Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla-Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.
 - 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>
 - Consejo Nacional de Población CONAPO. 2024. Reconstrucción y proyecciones de la población de los municipios de México 1990-2040.
 - Contener. 2023. Contener La Paz: Agenda para implementar una red de infraestructura verde-azul. Fundación Alumbra, 2023, pp.157.
 - 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>
 - Cruz, A. (2007). Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz, B.C.S. Mediante estudios geofísicos y Geohidrológicos.
 - Cruz-Falcón, A, Vázquez-González, R, Ramírez-Hernández, J, Nava-Sánchez, EH, Troyo-Diéguez, E, Rivera-Rosas, J, & Vega-Mayagoitia, JE. (2011). Precipitación y recarga en la cuenca de La Paz, BCS, México. Universidad y ciencia, 27(3), 251-263.
 - Cruz Falcón, A., Ramírez-Hernández, J., Vázquez-González, R., Nava-Sánchez, E. H., Troyo Diéguez, E., Fraga-Palomino, H. C. (2013). Estimación de la recarga y balance hidrológico del acuífero de La Paz, BCS, México. Universidad y ciencia, 29(1), 87-100. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=arttex&pid=S0186-29792013000100009>
 - Dahdouh-Guebas, F; Jayatissa, L; Di Nitto, D. (2005). How effective Were Mangroves as a Defence against the Recent Tsunami. Current Biology, 15(12), 433-447.
 - 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 stream-flow 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.
 - Donatti, C. I., Harvey, C. A., Martinez-Rodriguez, M. R., Vignola, R., & Rodriguez, C. M. (2018). Vulnerability of smallholder farmers to climate change in Central America and Mexico: current knowledge and research gaps. Climate And Development, 11(3), 264-286. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1442796>
 - Droogers, P., & Allen, R. G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrigation and drainage systems, 16, 33-45.
 - Echeverría-Ávila, S., Pérez-Ceballos, R., Zaldivar-Jiménez, A., Canales-Delgadillo, J., Brito-Pérez, R., Merino-Ibarra, M., & Vovides, A. (2019). Natural regeneration of degraded mangrove sites in response to hydrological restoration. Madera y Bosques, 25(1), 1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511754>
 - Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2000. Disponible en: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
 - Ezcurra, P., Lombardo, K., & Pairis, A. (2021). Climate Change and the Baja California Peninsula: A Baja Working Group Report. Climate Science Alliance.
 - Fernández J (2010); Modelos climáticos Regionales; Grupo de Meteorología Aplicada UCINM.
 - Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. NSERL report, 10, 1196-47097.
 - Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., Figueroa, D., & Jiménez, A. D. [2021]. Is rural food security primarily associated with smallholder agriculture or with commercial agriculture?: An approach to the case of Mexico using structural equation modeling. Agricultural Systems, 190: 103091.
 - Galeana-Pizaña, J. M., López-Caloca, A., López-Quiroz, P., Silván-Cárdenas, J. L., & Couturier, S. [2014]. Modeling the spatial distribution of above-ground carbon in Mexican coniferous forests using remote sensing and a geostatistical approach. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 30: 179-189.
 - García, E. (1974). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones geográficas, (5), 7-20.
 - 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
 - Halder, S., Das, S., & Basu, S. (2022). Estimation of seasonal water yield using InVEST model: a case study from West Bengal, India. Arabian Journal of Geosciences, 15(14), 1293.
 - Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., & Mueller, C. (2015). A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. Science Of The Total Environment, 524-525, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.027>
 - Hamel, P., Valencia, J., Schmitt, R., Shrestha, M., Piman, T., Sharp, R. P., Guswa, A. J. et al. 2020. Modeling seasonal water yield for landscape management: Applications in Peru and Myanmar. Journal of Environmental Management, 270: 110792.
 - 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>
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture*, 1(2), 96-99.
 - 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.
 - Hernández, A. (2021). Recarga del acuífero de La Paz ante efectos del cambio climático. México: The Nature Conservancy-Sociedad de Historia Natural Niparájá.
 - Holwerda, F., Bruijnzeel, L. A., Barradas, V. L., & Cervantes, J. 2013. The water and energy exchange of a shaded coffee plantation in the lower montane cloud forest zone of central Veracruz, Mexico. *Agricultural and forest meteorology*, 173: 1-13.
 - Holwerda, F., Bruijnzeel, L. A., Muñoz-Villers, L. E., Equihua, M., & Asbjornsen, H. 2010. Rainfall and cloud water interception in mature and secondary lower montane cloud forests of central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology*, 384(1): 84-96.
 - 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.
 - INMUJERES (2020). Criterios para el uso de información estadística. http://estadistica.inmujeres.gob.mx/formas/Criterio_completo_diciembre.pdf
 - INMUJERES. (2016). Brecha salarial de género en México. http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/101271.pdf
 - INECC (2018). Glosario. Catálogo de términos utilizados en el tema de cambio climático. <https://www.gob.mx/inecc/glosario>
 - INECC-SEMARNAT (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>
 - 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>
 - Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) La Paz. 2018. Actualización del Programa de desarrollo Urbano de Centro de Población de La Paz, B.C.S
 - Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) La Paz. 2021. Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024.
 - Instituto Municipal de Planeación La Paz (IMPLAN). Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024. Bienestar con perspectiva de género e inclusión. H. Ayuntamiento del municipio de La Paz. BCS. <https://www.lapaz.gob.mx/images/marco-normativo/PMD%202021-2024.pdf>
 - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC. 2021. Transversalización de la adaptación al cambio climático en los instrumentos de política pública sectoriales a nivel federal. México.
 - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. López-Díaz, F., Nava-Assad Y., Rojas-Barajas M., González-Terrazas D. Guía de Escenarios de Cambio Climático para tomadores de decisiones. Pp 65. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/conten_intro/Guia_de_Escenarios_CC_mar2022.pdf
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (1990). XI Censo General de población y vivienda
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2000). XII Censo General de población y vivienda
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2004). Censos económicos
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2010). Censo de población y vivienda
 - INEGI-CONAGUA. (2017). Conjunto Nacional de Cuencas hidrológicas. Escala 1:250000. <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/>
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI(2019). Censos económicos
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2020). Censo de población y vivienda
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2021). Turismo. Censos económicos 2019. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463901839.pdf
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2021). Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50,000.
 - INEGI. (2021) Continuo nacional del conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, Serie VII. Escala 1:50000.
 - INEGI. (2021). Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución LiDAR, con resolución de 5m. Terreno. <https://www.inegi.gob.mx/app/mapas/>
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática INEGI (2022). Censo agropecuario.
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEGI) (2024). Publicaciones y mapas digitales, climatología.
 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (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.
 - Ivanova, A. (2011). El Agua y el cambio climático. La desalación como medida de adaptación. In *Uso y Gestión del agua en las zonas semiáridas y áridas: el caso de la región de Murcia, España y Baja California Sur*, México.
 - Ivanova Boncheva, A, y A. Bermúdez Contreras. 2014. El plan de acción climática para la ciudad de La Paz, BCS: instrumento para políticas públicas en una ciudad costera. *Sociedad y Ambiente*, año 2, vol. 1, núm. 4, marzo-junio de 2014, ISSN: 2007-6576, pp. 39-63
 - Izquierdo-Tort, S., Corbera, E., Cruz, A. B., Naime, J., Vázquez-Cisneros, P. A., Lillo, J. C., Castro-Tovar, E., Rosas, F. O., Rubio, N., Knoop, L. T., & Dupras, J. (2021). Local responses to design changes in payments for ecosystem services in Chiapas, Mexico. *Ecosystem Services*, 50, 101305. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101305>
 - Jan, C., Pattey, E., Liu, J., Cai, H., Shang, J., & Dong, T. (2017). Retrieving leaf and canopy water content of winter wheat using vegetation water indices. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1), 112-126.
 - Jennerjahn, T. C., & Ittekkot, V. (2002). Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 89(1), 23-30. <https://doi.org/10.1007/s00114-001-0283-x>
 - Kauffman, J., Donato, D., & Adame, M. F. (2013). Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Protocolo Para La Medición, Monitoreo y Reporte de La Estructura, Biomasa y Reservas de Carbono de Los Manglares, 48. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP117Kauffman.pdf
 - 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>

- Leh, M. D., Matlock, M. D., Cummings, E. C., & Nalley, L. L. (2013). Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 165, 6-18. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.12.001>
- López-Ramírez, S. M., Mayer, A., Sáenz, L., Muñoz-Villers, 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>
- Losada, I. J., Menéndez, P., Espejo, A., Torres, S., Díaz-Simal, P., Abad, S., Beck, M. W., Narayan, S., Trespalacios, D., Pfiegner, K., Mucke, P., y Kirch, L. (2018). The Global Value of Mangroves for Risk Reduction. Technical Report. <https://doi.org/10.7291/V9DV1H2S>
- 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>.
- Martínez-Gutiérrez, Genaro, and Larry Mayer. "Huracanes en Baja California, México, y sus implicaciones en la sedimentación en el Golfo de California." *GEO*, vol. 24, no.1, 2004, pp. 57-64.
- 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/>
- Masuhara, N., Taniguchi, M., & Burnett, K. (2015). Water, energy, and food security in the Asia Pacific region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 9-19.
- 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
- 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, Manning M, 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.
- Mickovski, S; Hallet, P; Bransby, M; Davies, M; Sonnenberg, R; Bengough, A. (2009). Mechanical Reinforcement of soil by Willow Roots: Impacts of Root Properties and root Failure Mechanism. *Soil Science Society of American Journal*, 73(4), 1276-1285. <https://doi.org/https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0172>
- Ministerio de agricultura alimentación y Medio Ambiente de España. (2014). *Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. Guía resumida del Quinto informe de Evaluación del IPCC Grupo de Trabajo II.
- Miyawaki, A. (1999). Creative Ecology: Restoration of Native Forests by Native Trees. *Plant Biotechnology*, 16(1), 15-25. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.16.15>
- Mokondoko, P., Manson, R. H., Ricketts, T. H., and Geissert, D. 2018. Spatial analysis of ecosystem service relationships to improve targeting of payments for hydrological services. *PloS one*, 13(2): e0192560. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192560>.
- 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).
- Monteroso 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>
- Muñoz-Villers, L., F. Holwerda, M. Gomez-Cardenas, M. Equihua, H. Asbjornsen, L.A. Bruijnzeel, B.E. et al. 2012. Water balances of old growth and regenerating montane cloud forests in Central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* 462 463:53 66.
- 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).
- OMM. 2018. Guía de prácticas climatológicas (OMM-Nº 100) (wmo.int) Ed.2018. Recuperado de: https://library.wmo.int/viewer/28514?media-name=100-2018_es_#page=6&viewer=picture&bookmark&n=0&q=
- ONU Habitat - Earthscan. 2011. Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas. Resumen Ejecutivo. Nairobi, Kenia.
- ONU MUJERES-PNUD. (2023). Los caminos hacia la igualdad: índices gemelos sobre empoderamiento de las mujeres e igualdad de género www.the_paths_to_equal_es_0.pdf (unwomen.org)
- ONU-Hábitat. (2020). Tendencias de desarrollo urbano en México. <https://onu-habitat.org/index.php/tendencias-del-desarrollo-urbano-en-mexico>
- ONU Programa para el Medio Ambiente: CityAdapt. 2019. Estudio de vulnerabilidad ante el cambio climático en Xalapa y Tlalnelhuayocan, Veracruz. ONU Programa para el Medio Ambiente, México. 156 pp.
- Ortega Gaucin, D., Cruz Bartolón, J. D. L., & Castellano Bahena, H. (2018). Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.
- Patriche, C. V., Roșca, 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.
- Penman, H.L. y Monteith J.L. 1965. Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp.B Biol.*, 19: 205-234.
- 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>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X., Baggett, A., Kommareddy, I., & Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers In Remote Sensing*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>.
- PNUD. 2015. Resumen Ejecutivo Portafolio de soluciones basadas en la naturaleza para la seguridad hídrica del complejo de cuencas "sonora y otras". Una propuesta territorializada.
- PNUD. 2025. Resumen Ejecutivo. Portafolio de Soluciones Basadas en naturaleza para la seguridad hídrica del complejo de cuencas "Corrientes de Topolobampo" una propuesta territorializada. México.
- PNUD. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo*.
- PNUD. 2024. Las ciudades tienen un rol clave en la lucha contra el cambio climático: he aquí el porqué. Disponible en: <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/las-ciudades-tienen-un-rol-clave-en-la-lucha-contr-el-cambio-climatico-he-aqui-el#:~:text=Inicio-,Las%20ciudades%20tienen%20un%20rol%20clave%20en%20la%20lucha%20contra,clim%C3%A1tico:%20he%20aqu%C3%AD%20el%20porqu%C3%A9&text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20afecta%20a,e%20inseguridad%20alimentaria%20e%20h%C3%ADdrica>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023) Soluciones basadas en la naturaleza para ciudades resilientes al cambio climático - Perspectivas y experiencias de América Latina. Panamá.

- PNUMA. (s/f) (a) Making EbA an effective part of balanced adaptation strategies: Introducing the UNEP EbA briefing notes. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28174/EBA1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PNUMA (s/f) (b) Navigating the adaptation challenge. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28175/EbA2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pronatura Noroeste. (2010). Diagnóstico de la Cuenca de La Paz. Reporte Final del Convenio Niparáj – Pronatura Noroeste “Dialogos del Agua”.
- Ramírez-Soto, A. F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I. M., Gutiérrez-Soza, G., Contreras-Huerta, I., Macías-Ruiz, K., Aguilar-Bernal, A. S., & Hernández-Soto, M. (2021). Guía técnica para la restauración riparia. 124. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/04/CityAdapt-2021-Guia-tecnica-para-la-restauracion-riparia.pdf>
- Ramírez-Soto, A., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I., Gutiérrez-Sosa, G., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S., & García-Coll, I. (2022). Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería.
- Renard, K. G., & Ferreira, V. A. (1993). RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of environmental quality*, 22(3), 458-466.
- Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1-4), 287-306.
- Rivas, A. I. M., Díaz, J. D. G., & Gayosso, L. M. L. (2014). Delimitación de zonas de influencia de precipitación para México.
- Rivas-Tabares, D., de Miguel, Á., Willaarts, B., & Tarquis, 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>
- Sanchez-Castillo, L. (2023). Bioingeniería para la conservación de suelos. March 2022.
- 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.
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil science society of America Journal*, 70(5), 1569-1578.
- Schenk, H. J., & Jackson, R. B. (2002). The global biogeography of roots. *Ecological monographs*, 72(3), 311-328.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2015. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores clave de desempeño Ambiental y de Crecimiento verde. Edición 2015. Semarnat. México.
- Secretaría de Turismo 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
- Shaw, R., Colley, M. and Connell, R. (2007) *Climate Change Adaptation by Design*. London: TCPA.
- Sharps, K., Masante, D., Thomas, A., Jackson, B., Redhead, J., May, L., & Jones, L. 2017. Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment. *Science of the total environment*, 584: 118-130.
- 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.
- Šmelko, Š., y Merganič, J. [2008]. “Some methodological aspects of the National Forest Inventory and Monitoring in Slovakia”. *Journal of Forest Science*, 54(10): 476-483.
- 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 Colegio de México.
- Sociedad de Historia Natural Niparáj (2024). Plan de Acción para el Manejo Integral de la Cuenca y el Acuífero de La Paz. BCS, 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*.
- Spalding, M. D., & Leal, M. (2021). El estado de los manglares del mundo 2021. 41.
- Steinparzer, M., Schaubmayr, J., Godbold, D. L., & Rewald, B. (2023). Particulate matter accumulation by tree foliage is driven by leaf habit types, urbanization- and pollution levels. *Environmental Pollution*, 335(May), 122289. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122289>
- 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.). <https://www.smhi.se/en/theme/climate-centre>
- Tallis, H., & Polasky, S. 2011. Assessing multiple ecosystem services: an integrated tool for the real world. *Natural capital. Theory and practice of mapping ecosystem services*. Oxford University Press, Oxford: 34-52.
- The Nature Conservancy. 2021. Guía Azul para la resiliencia costera. Proteger las comunidades costeras mediante soluciones basadas en la naturaleza. Un manual para los profesionales de reducción del riesgo de desastres. The Nature Conservancy. Arlington, VA.
- Terrado, M., Acuña, V., Ennaanay, D., Tallis, H., & Sabater, S. [2014]. “Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin”. *Ecological Indicators*, 37: 199-209.
- The Nature Conservancy. 2021. Guía Azul para la resiliencia costera. Proteger las comunidades costeras mediante soluciones basadas en la naturaleza. Un manual para los profesionales de reducción del riesgo de desastres. The Nature Conservancy. Arlington, VA.
- UICN, 2016 Resolución 069. Definición de Soluciones basadas en Naturaleza. Disponible en: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_ES.pdf
- 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). https://paot.org.mx/centro/cei-doc/archivos/pdf/Guia_Indices_CC-2010.pdf
- 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.
- Vigerstol, K. L., & Aukema, J. E. 2011. A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. *Journal of environmental management*, 92(10): 2403-2409.
- Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220-236. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>
- 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)

- Wolansky, E; Boorman, L.A; Chicharo, L. (2004). Ecohydrology ad a New Tool for Sustainable Management of stuaries and Coastal Waters. *Wetlands Ecology and Management*, 12(4), 235–276
- Zhang, L., Dawes, W. R., & Walker, G. R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37(3): 701-708.
- Zhang, L., Nan, Z., Xu, Y., & Li, S. (2016). Hydrological Impacts of Land Use Change and Climate Variability in the Headwater Region of the Heihe River Basin, Northwest China. *PloS One*, 11(6), e0158394. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158394>.
- Zhao, F., Wu, Y., Qiu, L., Sun, Y., Sun, L., Li, Q., Niu, J., & Wang, G. (2018). Parameter Uncertainty Analysis of the SWAT Model in a Mountain-Loess Transitional Watershed on the Chinese Loess Plateau. *Water*, 10(6), 690. <https://doi.org/10.3390/w10060690>
- 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.
- Tecover, 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
- Tecover, 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 - Tecover, 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 Tlalnelhuayocan, Veracruz. ONU Programa para el medio ambiente, México, 156 pp. Publicado



FMCN

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

INSTITUCIÓN PRIVADA

WWW.FMCN.ORG