

VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIOAMBIENTALES

de las actividades de restauración forestal, conservación de suelo y agua y prevención contra incendios como medidas de Adaptación basada en Ecosistemas, para el **Parque Estatal Sierra de Guadalupe y la localidad de Santa Isabel Chalma**

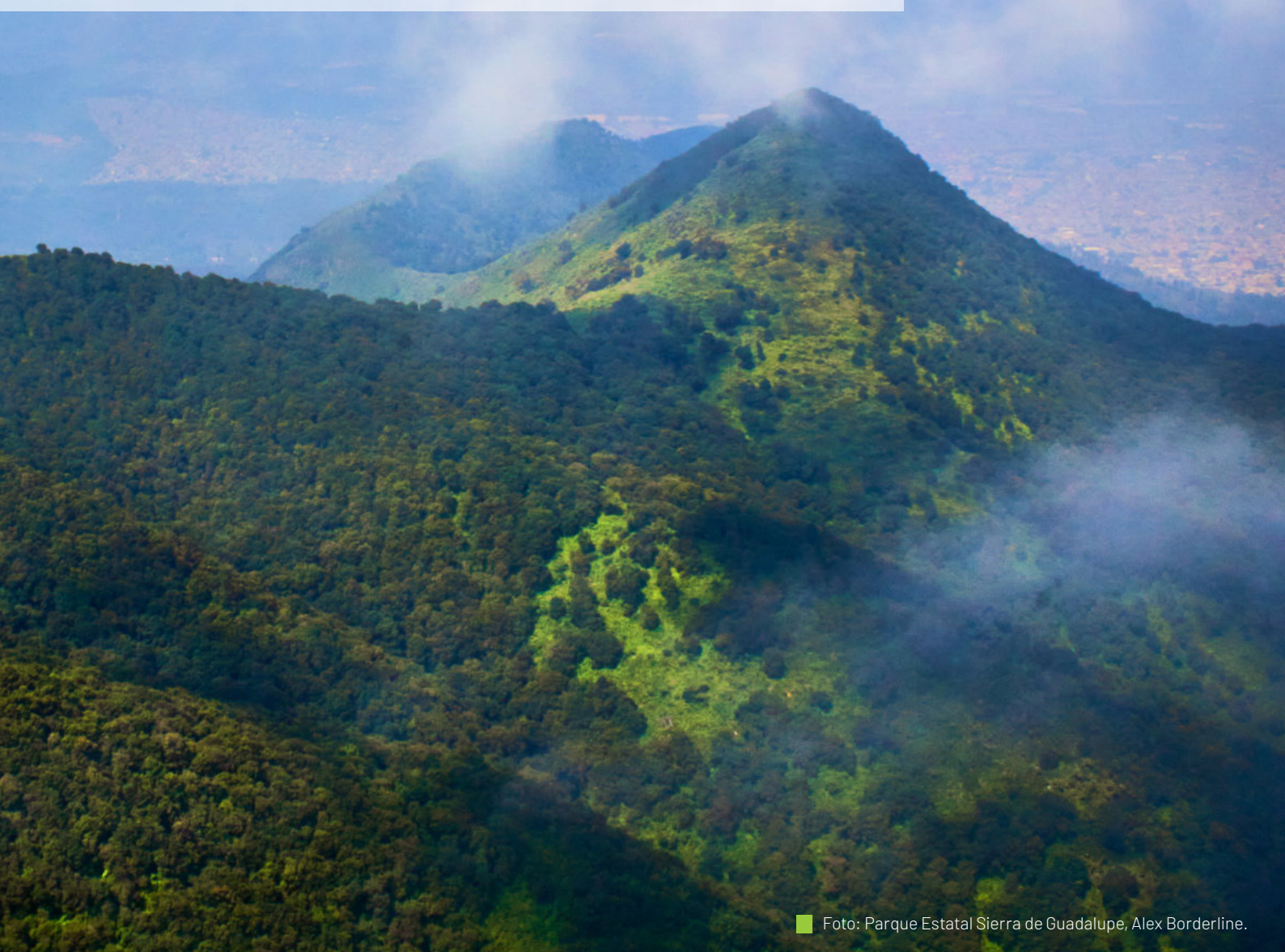
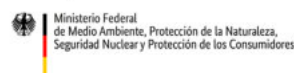


Foto: Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Alex Borderline.



Fomentado por:



en virtud de una decisión del Bundestag alemán

Créditos

OroVerde-Die Tropenwaldstiftung (Fundación del Bosque Tropical)

Ineke Naendrup

Mauricio Santamaría

Pronatura México A.C.

Ilse Aideé Palma Piña

Carlos Saúl Bustamante Hernández

Elizabeth Sarhay Murillo Meneses

Moisés Oswaldo Flores Armillas

Ithaca Environmental

Arnoldo Matus Kramer

Abril Cid

Emilio Rodríguez Izquierdo

Coordinación General de Conservación Ecológica del Estado de México

Jorge Pedro Flores Marker

Jaime Ramírez Rivas

Juan Gerardo Valverde Nieto

J. Guadalupe Rangel Aranda

Bienes Comunes de Santa Isabel Chalma

Javier Flores Páez

Equipo Consultor

Gabriela López Haro

Irma Sonia Franco Martínez

Héctor Sandoval Vargas

Cristian Cortés Rodríguez

Diseño Editorial

María Eugenia Olvera Varillas

Mapas

Christian Lomelín Molina

Encuestas

Carolina Romero López

Andrea Lizeth Contreras Jiménez



Foto: Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.

Contenido

I. ANTECEDENTES	5
II. INTRODUCCIÓN	6
III. METODOLOGÍA	7
IV. PARQUE ESTATAL SIERRA DE GUADALUPE	8
IV.1 Localización	8
IV.2 Caracterización ambiental, social y económica	8
IV.3 Problemática	11
IV.4 Resultados de la valoración de servicios ecosistémicos	12
IV.5 Resultados del Modelo de Evaluación Socioeconómica de la implementación de medidas de AbE en el PESG	15
IV.6 Beneficios no capturados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica	17
IV.6.1 Conectividad	17
IV.6.2 Suelo	17
IV.6.3 Hábitat de especies silvestres inscritas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en los Apéndices CITES	17
IV.6.4 Valores culturales	17
V. SANTA ISABEL CHALMA	19
V.1 Localización	19
V.2 Caracterización ambiental, social y económica	19
V.3 Problemática	22
V.4 Resultados de la valoración de servicios ecosistémicos	23
V.5 Resultados del Modelo de Evaluación Socioeconómica de la implementación de medidas de AbE en SICh	26
V.6 Beneficios no capturados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica	28
V.6.1 Conectividad	28
V.6.2 Suelo	28
V.6.3 Hábitat de especies silvestres inscritas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en los Apéndices CITES	29
V.6.4 Valores culturales	29
VI. CONCLUSIONES	30



I. ANTECEDENTES

Hacia el año 2016 los socios Pronatura México A. C. en México; Defensores de la Naturaleza en Guatemala; Centro Naturaleza en República Dominicana y la Unidad Presupuestada de Servicios Ambientales en Cuba, sometieron una propuesta, liderada por OroVerde, al Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU), a través del programa Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI, por sus siglas en alemán), para desarrollar un modelo integrativo y multisectorial con medidas de Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE) y mecanismos financieros innovadores para la conservación de cuencas y con ello, reducir la vulnerabilidad de los habitantes de dichos países ante los eventos climáticos extremos debidos al cambio climático, minimizando el impacto social y económico de los mismos.

Esta iniciativa consideró las condiciones de degradación ambiental imperantes en zonas específicas de los cuatro países, que las hacen altamente vulnerables a los impactos del cambio climático, aumentando la recurrencia e intensidad de los desastres naturales, que a su vez provocan considerables impactos sociales y económicos y, reconoce la importancia de su conservación para reducir la vulnerabilidad de las cuencas hidrológicas.

Es en este contexto que se implementa el **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”** en los cuatro países, basado en el enfoque de manejo integral de cuencas prioritarias, que pone en práctica iniciativas de AbE en áreas que integran funciones y servicios ecosistémicos de gran valor, para incentivar su conservación y restauración de la mano de las comunidades, con el objetivo de promover tanto su adaptación ante el cambio climático, como la resiliencia de áreas de bosque y de zonas de producción agrícola, pecuaria y forestal, fundamentado en mejores prácticas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

A través del Proyecto se llevan a cabo acciones, enfocadas en contribuir de forma significativa a la restauración y conservación de los bosques y su biodiversidad, promoviendo su adaptación al cambio climático, tales como:¹

- i. Planes de uso sustentable del suelo
- ii. Mecanismos financieros innovadores
- iii. Conservación de servicios ecosistémicos de bosques
- iv. Normas y políticas públicas nacionales

¹ <https://iki-alliance.mx/portafolio/cuencas-verdes/>

II. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar. Sin embargo, desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

La vulnerabilidad climática es el grado de susceptibilidad o falta de capacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos (olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales) y se da en función de tres elementos: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Como una respuesta para reducir la vulnerabilidad climática de los ecosistemas y las poblaciones humanas, el enfoque de AbE propone soluciones basadas en la naturaleza (SbN) atendiendo a su capacidad adaptativa. Incluye el manejo sustentable, la conservación y la restauración de los ecosistemas, para proteger y garantizar los servicios ecosistémicos que ayudan a las comunidades humanas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Articula enfoques tradicionales de conservación de la biodiversidad y los ecosistemas, con el desarrollo socioeconómico sustentable como parte de una estrategia general para ayudar a las personas a adaptarse a los *shocks* y riesgos asociados al cambio.²

Como parte de las actividades del **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”**, Pronatura México A.C. implementa acciones en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe (PESG) y en la localidad de Santa Isabel Chalma (SICH), ambos sitios ubicados en la Cuenca del Valle de México. En estas áreas se implementan medidas de AbE en el marco de Programas de Adaptación, de acuerdo con las condiciones locales y vulnerabilidad climática de cada sitio. Principalmente se llevan a cabo acciones

sostenibles en agroforestería, manejo de los bosques, agua, gobernanza (fortalecimiento de las estructuras organizativas) y rescate de prácticas tradicionales que contribuyen a restaurar las funciones ecológicas que brindan los ecosistemas forestales, con beneficios sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad, tales como el control de la erosión que contribuye a la reducción de riesgos por deslaves e inundaciones; la conservación del hábitat; el almacenamiento de carbono; la recarga hídrica y la provisión de alimentos en favor de la seguridad alimentaria de la poblaciones, entre otros.

El objetivo del análisis es valorar en términos monetarios, los beneficios sociales, ambientales y económicos derivados de la implementación de medidas de AbE de restauración forestal, conservación de suelo y agua y de prevención contra incendios en el PESG y la localidad de SICH, y, realizar una evaluación social de ambos proyectos, con apoyo de la herramienta Costo-Beneficio, con el fin de determinar si son rentables en términos sociales y económicos.



Foto: Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.

² https://www.adaptationcommunity.net/download/ecosystem-based-adaptation/technical-paper/EFBA_EbA_Qualification_and_Quality_Criteria_ES.pdf

III. METODOLOGÍA

Para valorar en términos monetarios los beneficios de las medidas de AbE de restauración forestal, conservación de suelo y agua y, de prevención contra incendios, se partió de la identificación de la problemática asociada a la vulnerabilidad frente al cambio climático en los sitios de intervención y la contribución de dichas medidas, a la provisión de servicios ecosistémicos.

Una vez entendida la relación entre implementación de medidas de AbE, reducción de vulnerabilidad y provisión de servicios ecosistémicos, se introdujo el marco conceptual para las categorías de servicios ecosistémicos (provisión, regulación, soporte y servicios culturales) propuesta por el *Millennium Ecosystem Assessment*,³ para seleccionar los servicios ecosistémicos sobre los que las medidas de AbE inciden de forma directa y, se asociaron al tipo de valor correspondiente (valor de uso y valor de no uso) para poder calcular el Valor Económico Total (VET) en ambos sitios.⁴ Posteriormente se aplicó el método de valoración de servicios ecosistémicos más apropiado dada la información disponible (precios de

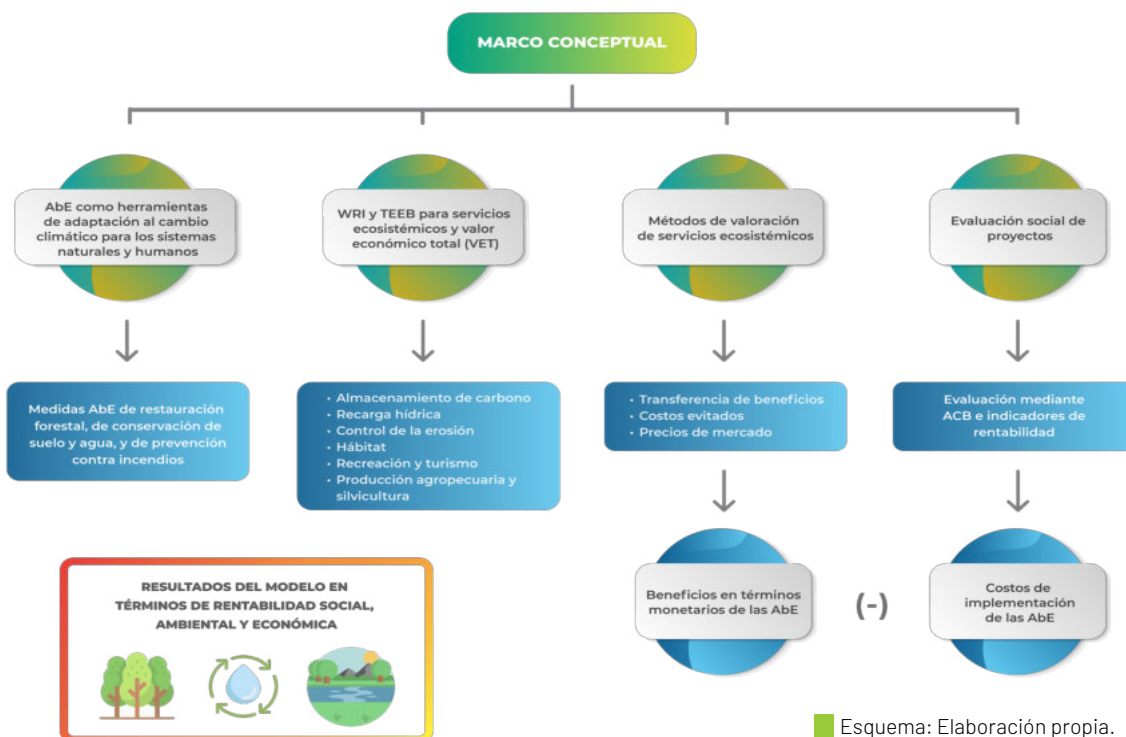
mercado, costos evitados, valoración contingente, costo de viaje y transferencia de beneficios) y se calculó el valor monetario para cada uno, para obtener el VET de los sitios de implementación al año 2022.

A partir del VET al 2022 se calculó la contribución de las medidas de AbE o efecto neto, a la provisión de los servicios ecosistémicos seleccionados, en un horizonte de evaluación de 25 años para obtener los beneficios en el periodo, se calculó el costo recurrente anual con base en la información de los costos de implementación de las medidas de AbE en el periodo 2019-2022 y se alimentó el Análisis Costo-Beneficio (ACB) para obtener la rentabilidad social del proyecto bajo la metodología general de la Evaluación Social de Proyectos. Finalmente se calculó la rentabilidad social ante diferentes escenarios (sensibilidad probabilística) mediante una simulación Montecarlo y se describieron los beneficios no cuantificables o beneficios no capturados en el Modelo, a cuyo mantenimiento también contribuyen las medidas de AbE.

³ WRI, 2005, Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington, DC. World Resources Institute, USA.

⁴ Propuesto por la Iniciativa Global The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB).

Esquema conceptual para la valoración de beneficios de la implementación de medidas AbE en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe y la localidad de Santa Isabel Chalma, en México

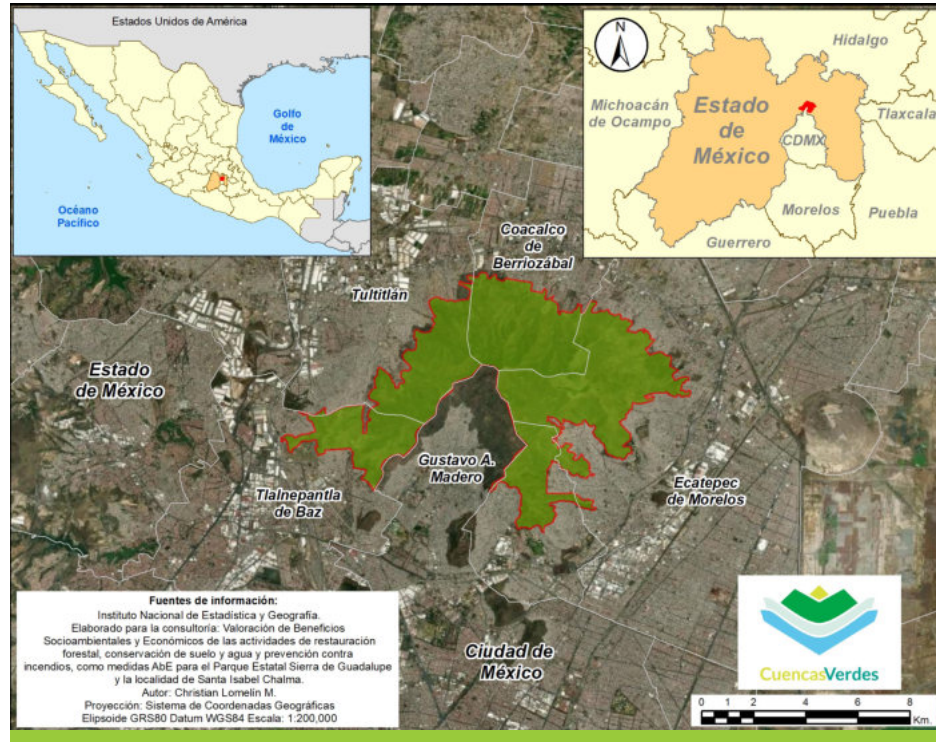


IV. PARQUE ESTATAL SIERRA DE GUADALUPE

IV.1 Localización

El PESG se localiza en la parte Norte de la Zona Metropolitana del Valle de México, en los municipios de Ecatepec, Tlalnepantla de Baz, Coacalco de Berriozábal y Tultitlán, en las coordenadas extremas 19° 31' 31.09" y 19° 37' 27.52" L.N. y 99° 03' 04 .08" y 99° 11' 13.94"L.W.; en altitudes de 2,350 msnm y 3,010 msnm.

IV.2 Caracterización ambiental, social y económica



Mapa: Elaboración propia.

El PESG fue decretado el 10 de agosto de 1976 con una superficie de 5,293.4049 ha. Se ubica en la Sierra de Guadalupe, cordillera volcánica que forma parte del Eje Volcánico Transversal, estructura en zigzag formada a finales del Terciario con una longitud de casi 900 km que se extiende en una franja de 130 km de ancho; con rocas ígneas (andesitas y tobas), sedimentarias (areniscas) y una brecha volcánica.

En el área natural protegida se observan paisajes de montaña, lomeríos, cañadas, barrancas y valles resultado de fenómenos y procesos físicos y biológicos que han originado un paisaje característico conformado por el relieve, clima, suelos, vegetación, flora y fauna.

El clima del PESG es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual mayor a los 18°C, el mes más cálido es mayo con más de 25°C, la temporada fría se presenta entre noviembre y febrero, el mes más frío es enero con temperatura mínima de 5°C.

La temporada de lluvia abarca de junio a septiembre, la precipitación promedio anual es de 650 mm, siendo julio el mes más lluvioso, la temporada de estiaje abarca de octubre a mayo, el mes con menos lluvia es diciembre. En el área protegida se registran fenómenos hidrometeorológicos como granizadas, niebla, frentes fríos y huracanes que constituyen un aporte de humedad al área, además de ráfagas de viento y tormentas eléctricas.

Se localiza en la Región Hidrológica del Pánuco (RH-26), en la cuenca del río Moctezuma, principal afluente del río Pánuco, en la subcuenca Lagos Texcoco y Zumpango de tipo endorreico. En el área no existen corrientes de agua permanentes, solo algunos "ojos de agua" o manantiales, sitios en los que sale a la superficie o "brota" el agua subterránea y, arroyos intermitentes que se forman a través de las cañadas y bajadas de la sierra durante la época de lluvias, su presencia y volumen está en función de la cantidad y frecuencia de la precipitación que se

registra en el área a través del año. Los suelos presentes en el área natural protegida son de tipo: feozem, regosol, fluvisol y leptosol, de vocación forestal.

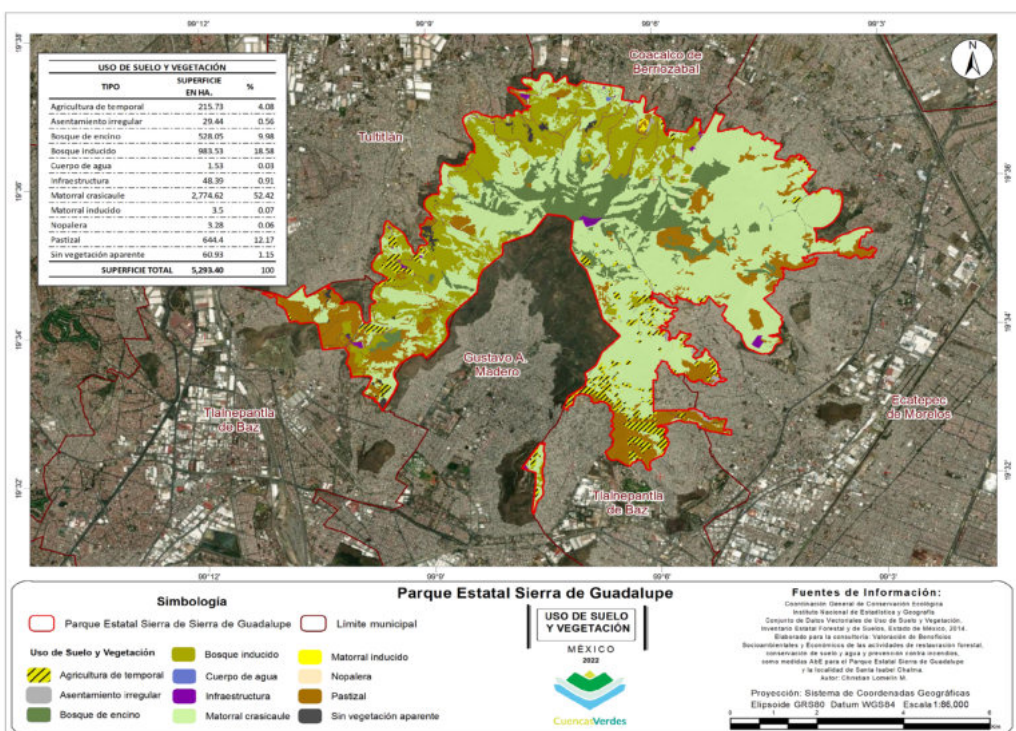
Las condiciones climáticas determinadas por la altitud juegan un papel fundamental en la distribución de las asociaciones vegetales y el paisaje. En el Parque Estatal se distribuyen bosque de encino, matorral xerófilo (crasicaule y nopalera) y pastizal naturales e inducidos, que son el hábitat de numerosas especies de flora y fauna cuya distribución original abarcó extensas áreas en el Eje Volcánico Transversal, hoy en día, esta área protegida es un relicto del sistema natural original que forma una isla de vegetación rodeada por una de las zonas urbanas más grandes y pobladas de México.

Se han registrado 322 especies de flora, perennes y anuales que incluyen helechos, briofitas, gimnospermas y angiospermas, algunas listadas en las categorías de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010,⁵ tal es el caso de *Mammillaria rhodantha* ssp. aureiceps (biznaga de cabezas áureas) especie Amenazada endémica de la Sierra de Guadalupe y *Cupressus lusitanica* (cedro blanco) Sujeta a protección especial. Las familias mejor representadas son las asteráceas (71 spp.), leguminosas (24 spp.), lamiáceas (19

spp.), cactáceas (17 spp.), asparagáceas (12 spp.), pináceas (9 spp.), crasuláceas (8 spp.) y fagáceas (8 spp.).

Se observan grandes árboles de encinos (*Quercus* spp.), pinos (*Pinus* spp.), tepozanes (*Buddleja* spp.), capulines (*Prunus* spp.) y madroño (*Arbutus* sp.); arbustos como palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), palo loco (*Pittocaulon praecox*), curucete (*Roldana angulifolia*), escobilla (*Baccharis conferta*), zoapaxtle (*Montanoa tomentosa*), chapulixtle (*Dodonaea viscosa*), siempreviva (*Sedum* spp.); en el estrato herbáceo abundan las asteráceas, gramíneas, helechos y hongos, por citar algunas, muchas de estas anuales, solo aparecen durante la temporada de lluvia.

La diversidad faunística del PESH está representada por 241 especies de vertebrados terrestres residentes y migratorias. Entre los mamíferos (35 spp.) están gato montés (*Lynx rufus*), coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis marsupialis*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), tuza (*Cratogeomys merriami*), ratas (*Sigmodon*, *Rattus*), ratones (*Peromyscus*, *Reithrodontomys*, *Heteromys*) y murciélagos (*Choeronycteris*, *Leptonycteris*); las aves (177 spp.) son el grupo más numeroso representadas por aguilillas y gavilanes (*Accipiter*, *Buteo*, *Parabuteo*), halcones (*Falco* spp.), tecolotes y búhos (*Bubo*, *Tyto*), zopilote (*Coragyps atratus*) y colibríes (*Archilochus*, *Colibri*, *Cyanthus*, *Lampornis*); los reptiles (19 spp.) con camaleón de montaña (*Phrynosoma orbiculare*), lagarto alicante de las montañas (*Barisia imbricata*), lagartijas (*Sceloporus* spp.), culebras (*Thamnophis*, *Conopsis*), víbora de cascabel (*Crotalus* spp.); y entre los anfibios (10 spp.) con ranas (*Eleutherodactylus*, *Lithobates*), sapos (*Anaxyrus*,



Mapa: Elaboración propia.

⁵ NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Spea) y salamandra tigre del altiplano (*Ambystoma velasci*). Los insectos con 108 especies son el grupo de invertebrados más abundante, destacan la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) y las luciérnagas *Photinus lucilae* y *Photinus marquezii*, las dos últimas, especies nuevas para la ciencia descritas de la Sierra de Guadalupe en 2020.

Entre las especies endémicas y en riesgo se encuentran: *Lithobates tlaloci* (rana del Tlálóc) endémica, en la categoría En peligro de extinción, *Choeronycteris mexicana* (murciélago trompudo), *Pituophis deppei* (cincuate), en la categoría Amenazada y, *Falco peregrinus*, (halcón peregrino), *Barisia imbricata* (lagarto alicante de las montañas) y *Danaus plexippus* (mariposa monarca) en la categoría Sujeta a protección especial.

Con relación a las características sociales y económicas, cabe señalar que el PESG se encuentra en un entorno urbano en constante crecimiento. De acuerdo con la información del Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en total los cuatro municipios en los que se localiza el parque tienen una población de 3,127,339 habitantes, de los cuales 293,444 corresponden a Coacalco de Berriozábal, 1,645,352 a Ecatepec de Morelos, 672,202 a Tlalnepantla de Baz y 516,341 a Tultitlán.

La proporción de mujeres y hombres en tres de los municipios es ligeramente superior para el caso de las mujeres; siendo 51.91% mujeres y 48.09% hombres en Coacalco de Berriozábal, 51.92% mujeres y 48.08% hombres en Ecatepec de Morelos, y 52.53% mujeres y 47.47% hombres en Tultitlán. Mientras que para el municipio de Tlalnepantla es mayor la proporción de hombres con 56.84% y 43.16% de mujeres.

En cuanto al nivel educativo, las mujeres presentan mayores porcentajes de analfabetismo y falta de escolaridad en los cuatro municipios respecto al total de la población. En el caso de primaria completa son también las mujeres las que presentan una mayor proporción. Para el caso de la educación posbásica, las proporciones son muy similares tanto para mujeres como para hombres. En cuanto al grado de escolaridad promedio de los cuatro municipios, el nivel es muy similar y se encuentra entre los 10.2 y 11.5 grados de escolaridad.

En lo que corresponde a la Población Económicamente Activa (PEA), en los cuatro municipios los hombres tienen una mayor participación en este indicador con un 57.59% mientras que la participación promedio de las mujeres es de 42.41%. Por su parte, la actividad económica de los municipios colindantes con el PESG, representa el 25.89% del total de la actividad económica del Estado de México. El municipio que más aporta a dicho porcentaje es el de Tlalnepantla de Baz con 12.08%, seguido de Ecatepec de Morelos con 8.89%, después Tultitlán con 3.84% y finalmente Coacalco de Berriozábal con 1.17%.

El sector terciario es el más importante sector económico para todos los municipios, siendo Coacalco de Berriozábal en el que la proporción es más significativa con 96.29%, seguido de Tlalnepantla de Baz con 82.68%, después Tultitlán con 80.64%, y finalmente Ecatepec de Morelos con 53.61%. El sector primario es casi inexistente en los cuatro municipios siendo el municipio de Tultitlán en donde se presenta la proporción más alta con 0.019%, seguido de Ecatepec de Morelos con 0.005%, después Coacalco de Berriozábal con 0.003%, y finalmente Tlalnepantla de Baz con 0.001%.

Dentro del sector terciario, el comercio es la actividad más importante para Tlalnepantla de Baz y Tultitlán y la segunda más importante para Coacalco de Berriozábal y Ecatepec de Morelos. A este le sigue la industria manufacturera, como la actividad más importante para Ecatepec de Morelos, la segunda más importante para Tultitlán, y la tercera para el caso de Tlalnepantla de Baz. Otra actividad importante son los servicios inmobiliarios y alquiler de bienes muebles e intangibles, esta es la principal actividad en el municipio de Coacalco de Berriozábal, la segunda en Tlalnepantla de Baz y la cuarta en Tultitlán.

Con relación a las características de las viviendas, el 90% de las que se localizan en los cuatro municipios se encuentran habitadas, el 89.07% cuenta con piso de un material distinto a la tierra, el 90.05% cuenta con servicio de electricidad y el 92.16% cuenta con servicio de agua entubada. En cuanto a los servicios sanitarios, en promedio el 99.52% disponen de excusado y sólo 0.12% cuentan con letrina. El acceso a servicios de drenaje es de 99.46% en promedio para los cuatro municipios.



Foto: Ecotonos entre bosque de encino y matorral en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Gabriela López Haro.

IV.3 Problemática

El PESG junto con las Zonas Sujetas a Conservación Ecológica Sierra de Guadalupe y La Armella administradas por el Gobierno de la Ciudad de México, conforma una isla con vegetación natural rodeada por asentamientos humanos y zonas industriales en un área urbana caracterizada por una población en constante crecimiento, que determinan la presión de uso actual y potencial del área protegida y sus recursos naturales y, por los visitantes, lo que tiene un impacto directo sobre el estado de conservación de la misma. Los ecosistemas y la población de sus áreas circundantes, presentan una elevada vulnerabilidad por la incidencia de amenazas climáticas y no climáticas, que afectan a capacidad de adaptación de los organismos ante el cambio climático.

Las principales amenazas climáticas en el PESG son la sequía, período excepcional de escasez de agua para los ecosistemas y la población humana, originada por fenómenos hidrometeorológicos (El Niño, La Niña) y antropogénicos (cambio del uso de suelo, deforestación, pérdida de biodiversidad, etc.), que contribuye a la ocurrencia de incendios en el área. Otro factor de riesgo lo constituyen las lluvias torrenciales, precipitaciones cuyo volumen e intensidad es mayor a 60 mm/hora lo que representan el principal factor de riesgo para inundaciones y deslaves.

Entre las amenazas no climáticas se encuentran el cambio de uso del suelo por la pérdida o fragmentación de la cubierta vegetal, la erosión hídrica y eólica, el crecimiento de la población, la urbanización y el establecimiento de asentamientos humanos irregulares dentro de área

protegida. Las actividades productivas como la agricultura de temporal (maíz, frijol, nopal) y la ganadería (bovinos, ovinos, equinos) para el autoconsumo, desarrolladas en pequeñas superficies por los habitantes de las comunidades asentadas dentro del Parque, además de las actividades turísticas (caminata, ciclismo, escalada en roca, días de campo), también representan presiones para la conservación.

Otras amenazas son los incendios forestales provocados por limpieza del terreno, fogatas, cigarrillos mal apagados y vandalismo dentro del polígono del Parque Estatal, además de las especies exóticas que incluyen plantas introducidas como eucalipto rojo, pirul y bugambilia, así como vacas, borregos, perros y gatos domésticos que deambulan libremente en los terrenos del parque. Cabe señalar la presencia de perros ferales que habitan en el área protegida y se desplazan en busca de alimento y refugio, representan un grave peligro para la fauna nativa y las personas que transitan o visitan el área, ante el riesgo latente de agresiones directas y por la transmisión de enfermedades. Por otra parte, las plagas forestales tales como el muérdago (*Phoradendron velutinum*), heno motita (*Tillandsia recurvata*), insectos descortezadores, barrenadores y avispas que afectan principalmente a los encinos, cedro blanco, huizache, palo dulce y el eucalipto, son otra amenaza para el arbolado del PESG. Por su parte, la disposición inadecuada de residuos sólidos urbanos, aunque es esporádica, también representa un problema, por la contaminación asociada a la descomposición y presencia de fauna nociva.

IV.4 Resultados de la valoración de servicios ecosistémicos

Para obtener el Valor Económico Total (VET), se definió una zona de influencia para el PESG con la herramienta ArcMap 10.8.1, con una superficie total de 11,333.07 ha y se cuantificaron las superficies por uso de suelo y vegetación. Posteriormente se calcularon los valores de uso (VU) y no uso (VNU) para los servicios ecosistémicos seleccionados de acuerdo con la siguiente igualdad:

$$\text{VET (PESG)} = \text{VU (almacenamiento de carbono + recarga hídrica + control de la erosión + hábitat)} + \text{VNU (recreación y turismo)}$$

El **valor monetario de la recarga hídrica** se obtuvo con base en la actualización de la Recarga Media Anual (RMA) en m³/año, para las nueve microcuencas del PESG considerando un crecimiento del 3% en el periodo 1999-2019 y del 3% anual para el periodo 2019-2022 obteniendo un valor final al 2022 de 4,984,541 m³/año. Para obtener el valor monetario se multiplicó el valor final de la recarga media anual al 2022 por \$12.08 pesos por m³, que es el precio del agua en bloque por m³/año de 2014 (precio unitario), para los municipios que colindan con el PESG, actualizado por el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) elaborado por el INEGI. **El valor monetario de la recarga hídrica en el PESG y su zona de influencia al 2022 es de \$60,213,254.67 pesos.**

Para calcular el **valor monetario del almacenamiento de carbono** se utilizaron las superficies por tipo de vegetación del PESG y su zona de influencia (agricultura de temporal anual, bosque de encino, bosque inducido, matorral crasicaule, matorral inducido, nopalera y pastizal) y se multiplicaron por los factores de contenido de carbono total por uso de suelo y vegetación (toneladas de carbono/ha*año)⁶ tomados de la literatura.⁷ Con esto se obtuvo el contenido de carbono total almacenado en los ecosistemas del PESG y su zona de influencia que asciende a 620,898.16 toneladas de carbono/ha al año 2022. Una vez obtenido el contenido de carbono total, se

realizó la conversión a toneladas equivalentes de dióxido de carbono, unidad de referencia común para cuantificar el impacto de las emisiones de los diferentes gases de efecto invernadero (GEI) y en la que se basa el mercado mundial de carbono. La conversión se realizó mediante el calculador de equivalencias de GEI de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*EPA* por sus siglas en inglés).⁸ Las toneladas de carbono/ha al año 2022 calculadas para el PESG corresponden a **2,276,627 toneladas métricas del equivalente de dióxido de carbono (CO₂)**. Este valor se multiplicó por el precio de carbono en dólares obtenido de la plataforma *Live Carbon Prices* para mercados voluntarios en la categoría *Nature Based Offset*.⁹ Finalmente se utilizó el tipo de cambio promedio peso/dólar para el periodo enero-noviembre del 2022.¹⁰ **El valor monetario del carbono almacenado en el PESG y su zona de influencia al 2022 es de \$256,194,341.19 pesos.**

El **valor monetario del control de la erosión** en el PESG y su zona de influencia se obtuvo mediante la aproximación de costos evitados por inundaciones y deslaves, tomando como referencia los costos en los que incurrió el gobierno del Municipio de Ecatepec de Morelos más los costos en los que incurrió la Administración del PESG, para atender los daños ocasionados por la lluvia torrencial del 6 de septiembre del 2021. Los costos reportados por el municipio para atender la emergencia fueron de \$70,000,00 pesos, por concepto de tareas de Protección Civil, Bomberos y otros servicios de emergencia, labores de rescate y trabajos de las cuadrillas del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento atendiendo desbordes, así como por el censo y valoración de los daños, las reparaciones de infraestructura hidráulica y vial (tubos rotos, boquetes), limpieza de viviendas, programas de apoyo directo a comerciantes y habitantes para rehabilitación de viviendas, puestos ambulantes y locales comerciales, distribución de alimentos, agua y ropa para los afectados y reposición de enseres domésticos.

⁶ Factor de contenido de carbono total por tipo de vegetación es la suma del carbono aéreo, carbono debajo de suelos, carbono en suelos y carbono en materia muerta.

⁷ Factores de contenido de carbono total por uso de suelo y vegetación calculados para la Valoración de Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl (GIZ, 2017).

⁸ <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>

⁹ <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/?nowprocket=1>

¹⁰ <https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tip&idioma=esp>

Por su parte, el PESG reportó que los costos por reparación de las siete presas fracturadas por la inundación fueron de \$3,500,000 pesos. **El valor monetario del control de la erosión o costos evitados por inundaciones y deslaves para el 2022 asciende a \$73,500,000.00 pesos.**

El **valor monetario del servicio ecosistémico de hábitat** en el PESG y su zona de influencia se calculó mediante el método de costos evitados para la suma de tres amenazas que alteran las condiciones del hábitat:

- i. El costo evitado por atención a incendios forestales, calculado a partir del costo promedio por hectárea para atención a incendios Tipo A en el PESG, multiplicado por la superficie total por tipo de vegetación susceptible de ser afectada.¹¹
- ii. El costo evitado por reemplazo de ecosistemas forestales degradados, ya sea por deforestación o por cambio de uso de suelo, calculado multiplicando la superficie total del PESG y su zona de influencia por los costos de referencia (actualizados por el INPC) para reforestación o restauración y su mantenimiento por concepto de compensación ambiental por cambio de uso del suelo en terrenos forestales publicados en el *Acuerdo por el que se expiden los costos de referencia para actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación.*¹²
- iii. El costo evitado por la atención fitosanitaria, calculado a partir del costo promedio por hectárea para atención fitosanitaria en el PESG multiplicado por la superficie total por tipo de vegetación susceptible de ser afectada.¹³

El valor monetario del servicio ecosistémico de hábitat en el PESG y su zona de influencia para el 2022, asciende a \$167,707,430.16 pesos como resultado de la suma de los costos evitados por atención a incendios \$9,631,671.92 pesos, costos evitados por restauración/reemplazo de ecosistemas forestales \$153,713,975.64 pesos y costos

evitados por atención fitosanitaria \$4,361,782.61 pesos.

El **valor monetario de los servicios ecosistémicos de recreación y turismo** en el PESG y su zona de influencia se calculó con base en los métodos de Valoración Contingente y Costo de Viaje, a partir de información levantada mediante 222 encuestas en los diferentes accesos al área natural protegida. Mediante el método de Valoración Contingente se calculó la Disposición al Pago (elasticidad) por el atributo más valorado en el PESG (calidad del aire) a través de un modelo *Probit* en el software *STATA*, se estimó el tiempo promedio de permanencia de los visitantes en el parque, se expandió la muestra al universo de visitantes anualizado y se trasladó al valor social del tiempo a nivel nacional en México,¹⁴ para obtener el valor de la recreación y el turismo. Por otra parte, a través de la información recabada en las encuestas se desarrolló un modelo de ingeniería de tránsito mediante el software *TRANSCAD*, se construyó una matriz origen-destino con la información de los visitantes, se cargó en el modelo la red vial de la zona y se expandió la muestra al universo anualizado de visitantes para obtener el costo generalizado de viaje. Finalmente se trasladó a valor social del tiempo para obtener el valor de la recreación y el turismo por **Costo de Viaje**.

El valor monetario de los servicios ecosistémicos de recreación y turismo en el PESG y su zona de influencia para el 2022, asciende a \$55,000,000.00 pesos como resultado de la suma de los valores obtenidos de la valoración contingente \$52,580,000.00 pesos más los obtenidos por costo de viaje \$2,420,000.00 pesos.

Para obtener el VET de los servicios ecosistémicos en el PESG y su zona de influencia, se sumaron los valores individuales obtenidos en el ejercicio de valoración:

$$\begin{aligned} \text{VET (PESG)} = & \text{VU } (\$256,194,341.19 + \$60,213,254.67 + \\ & \$73,500,000.00 + \$167,707,430.16) \\ & + \text{VNU } (\$55,000,000.00) \end{aligned}$$

¹¹ Un incendio Tipo A es el producido por la quema de materiales combustibles sólidos que producen brasas, por ejemplo: papel, cartón, madera, plásticos, etc..

¹² https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354722&fecha=31/07/2014#gsc.tab=0

¹³ Incluye costos de diagnóstico para identificar las enfermedades de las especies forestales, para el retiro manual y para aplicación de producto con mochila aspersora.

¹⁴ Actualizado al año 2022 por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

El Valor Económico Total de los servicios ecosistémicos del Parque Estatal Sierra de Guadalupe y su zona de influencia para el año 2022 es de \$612,615,025.03 pesos. Cabe señalar que las medidas de AbE implementadas en el PESG, contribuyen al mantenimiento de las funciones de los ecosistemas y por tanto, a la provisión actual y futura de los servicios ecosistémicos valorados en este ejercicio.

Valor Económico Total (VET) de los servicios ecosistémicos del PESG y su zona de influencia.

VET Parque Estatal Sierra de Guadalupe y su zona de influencia (2022)		
Servicio ecosistémico	Método	Valor (\$ MXN)
Recarga hídrica	Precios de mercado	60,213,253.67
Almacenamiento de carbono	Transferencia de beneficios	256,194,341.19
Control de la erosión	Costos evitados (inundaciones y deslaves)	73,500,000.00
Hábitat	Costos evitados (incendios)	9,631,671.92
Hábitat	Costos evitados (restauración/reemplazo de ecosistemas forestales)	153,713,975.64
Hábitat	Costos evitados (atención a plagas)	4,361,782.61
Recreación y turismo	Valoración contingente	52,580,000.00
Recreación y turismo	Costo de viaje	2,420,000.00
Valor Económico Total		612,615,025.03

Fuente: Elaboración propia.



Foto: Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Gabriela López Haro.

IV.5 Resultados del Modelo de Evaluación Socioeconómica para la implementación de medidas de AbE en el PESG

Sobre la base metodológica del Análisis Costo Beneficio, se identificaron y calcularon los costos y beneficios estrictamente atribuibles a las medidas AbE.

Consideraciones respecto de los Costos y Beneficios incorporados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica para el PESG.

Beneficios	Método de cálculo
Beneficio por almacenamiento de carbono	Con base en la información proporcionada por la Administración del PESG respecto a las reforestaciones anuales en el periodo 2019-2022 realizadas en el área protegida, se calculó el contenido de carbono total hacia el horizonte de evaluación con la misma metodología con la que se calculó el VET del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono para el año 2022. Del total de hectáreas reforestadas, el 20% corresponde a bosque de encino y el 80% a matorral crasicaule. Con esta información se pueden aplicar los factores de contenido de carbono hacia el horizonte. Asimismo, se estableció el supuesto del 50% de supervivencia de los individuos plantados y se asumió que hacia el año 15 de las reforestaciones realizadas, el factor de contenido de carbono es aplicable. Se consideró como precio de partida para el bono de carbono 5.58 USD. El beneficio asignado al proyecto corresponde únicamente al incremento marginal (área reforestada) que deriva de las medidas AbE.
Beneficios por recarga hídrica	Se cuantificó a partir del valor monetario de la RMA de cada una de las microcuencas del PESG, calculado para el VET, suponiendo una tasa de crecimiento del 3%. Únicamente se consideraron las aportaciones de las microcuencas 4 y 5 en las que se implementaron las medidas AbE.
Beneficio por costos evitados por inundaciones y deslaves	En este beneficio se cuantifican los costos evitados por la atención de los efectos provocados por fenómenos hidrometeorológicos que dan lugar a inundaciones y deslaves. El cálculo de los costos evitados se realizó mediante una modelación hidrometeorológica (curvas de intensidad-duración-frecuencia), elaborada con base en registros climáticos históricos de tormentas que provocaron afectaciones de magnitud similar al fenómeno extremo cuantificadas en el VET y se comparó con un escenario basado en la corrida RCP4.5. ¹⁵
Beneficio por costos evitados por atención de incendios	Se cuantificaron los costos evitados por atención de incendios y sus afectaciones a los ecosistemas, para ello, se realizó un análisis de la información histórica de incendios en el PESG; se estimaron los incendios y superficie afectada a lo largo del horizonte de evaluación con y sin proyecto y, a partir de la diferencia de estas proyecciones, se calculó el costo evitado atribuible al proyecto.
Beneficio por turismo y recreación	Con base en las encuestas realizadas en sitio se caracterizaron la afluencia y preferencias de los visitantes al parque y se construyó una matriz origen destino de los usuarios. A partir de esta información, se desarrolló un modelo econométrico probabilístico para obtener los beneficios sociales generados por la actividad turística en el parque: se calculó el valor social por tiempos de traslado y permanencia en el parque, a través del valor social del tiempo en México, establecido por la SHCP, para el número de personas que se proyecta asistan al parque a lo largo del horizonte de evaluación. Por otra parte, se desarrolló un modelo de ingeniería de tránsito para obtener el costo por kilómetro para obtener el valor del costo de viaje. Para el análisis en el horizonte de evaluación se consideró una tasa de crecimiento del número de visitantes del 3% para los escenarios de ambas valoraciones y las elasticidades de disposición al pago y de demanda, con el fin de capturar únicamente los beneficios atribuibles a las medidas AbE.
Costos	
Costos de implementación de AbE	Se determinó el costo de las medidas AbE a lo largo del horizonte de evaluación. Dichos costos se integran por los costos de inversión, equipo y operación, observados en el periodo 2019-2022 y su proyección para los siguientes años.
Costo recurrente anual	Con base en los costos de adquisición de equipo y los costos de operación observados, se proyectó un costo recurrente anual a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto, dicho costo se basa en los costos observados entre 2019-2022, tomando en cuenta la recurrencia de cada uno de los elementos necesarios para el mantenimiento de las medidas AbE a lo largo del tiempo.

■ Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Escenario de emisiones de referencia o Trayectoria de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), que sirven como insumo para la modelación climática bajo parámetros intermedios de cambio climático.

El resultado del Modelo de Evaluación Socioeconómica para el proyecto reporta, bajo un escenario realista, un **Valor Presente Neto (VPN) de \$106.31 millones de pesos**, lo anterior indica que, tomando en consideración los criterios de rentabilidad, el proyecto es rentable socialmente, el impacto socioeconómico del proyecto es positivo para la sociedad en su conjunto.

El VPN resultado del análisis para el PESG, se compone de los siguientes beneficios individuales:

- i. **Beneficio por almacenamiento de carbono:** \$5.01 millones de pesos reportados en los años 2034-2037, que traídos a valor presente son \$1.36 millones de pesos.
- ii. **Beneficio por recarga hídrica:** \$700.34 millones de pesos reportados a lo largo de los 25 años de evaluación del proyecto, que a valor presente equivalen a \$210.36 millones de pesos.
- iii. **Beneficio por costos evitados por prevención de inundaciones y deslaves:** \$45.76 millones de pesos acumulados dentro del horizonte de evaluación, traídos a valor presente del año 2022.
- iv. **Beneficio por costos evitados por atención de incendios:** \$4.44 millones de pesos a lo largo de los 25 años de evaluación del proyecto, lo que en valor presente equivale a \$1.35 millones de pesos.
- v. **Beneficios por turismo y recreación:** 21.01 millones de pesos a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto, lo que a valor presente corresponde a \$6.43 millones de pesos.
- vi. **Costos del proyecto:** 398.88 millones de pesos a lo largo del horizonte de evaluación que en términos de valor presente equivale a \$158.97 millones de pesos.

Los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad indican que para el escenario negativo, el proyecto presenta aún un VPN positivo del orden de \$92.04 millones de pesos, el escenario realista reporta un VPN de \$106.31 millones de pesos y el escenario positivo, arroja un valor de \$132.70 millones de pesos. En los tres casos el proyecto resulta rentable socialmente.

Finalmente, con base en los supuestos considerados para la construcción del Modelo de Evaluación Socioeconómica, los resultados del Modelo Probabilístico *-Situación Montecarlo-* confirman que el impacto del proyecto es positivo socialmente, mostrando un Valor Presente Neto Esperado (VPNE) de \$111.65 millones de pesos.



Foto: Bosque de encino en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Gabriela López Haro.

IV.6 Beneficios no capturados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica

En este apartado se presenta una breve descripción de aquellos beneficios en los que las medidas de AbE también tienen un impacto positivo, pero cuya valoración monetaria resulta complicada por su naturaleza intangible. Entre éstos se encuentran la conectividad, el hábitat de especies silvestres en riesgo, el servicio ecosistémico de soporte provisto por los suelos y los valores culturales.

IV.6.1 Conectividad

La conectividad del paisaje o conectividad ecológica entre los ecosistemas del Parque Estatal se evidencia en el mosaico integrado por parches de vegetación que se mantienen interconectados a través de corredores biológicos o ecotonos entre el bosque de encino, matorral xerófilo (matorral crasicaule y nopalera), pastizal y el bosque inducido (*Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus camaldulensis*) que se establecen con la Zona Sujeta a Conservación Ecológica La Armella y entre los corredores bioclimáticos entre el área y los parques nacionales Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Molino de Flores, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Desierto de los Leones y Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco, la Reserva Ecológica Sistema Tetzcotzinco, Sierra Patlachique y Sierra Hermosa y los parques estatales Santuario del Agua y Forestal Presa Guadalupe y Atizapan-Valle Escondido, entre otras. También existen algunos fragmentos que se encuentran totalmente aislados, tal es el caso de los ecosistemas del cerro del Chiquihuite, lo que es perceptible en el paisaje. La conectividad entre áreas es clave para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que provee el área natural protegida.

IV.6.2 Suelos

Es un recurso natural cuya regeneración es lenta, por lo que es considerado no renovable. Provee servicios ecosistémicos de soporte, regulación y provisión ya que suministra alimentos, fibras, combustible, forraje, vegetación, materiales para construcción, proporciona la base para los sistemas productivos agrícolas, pecuarios y forestales, así como para la urbanización y construcción

de infraestructura para las comunidades. Interviene en la regulación del clima a través del ciclo hidrológico y por su capacidad para absorber y emitir calor; constituye uno de los sumideros terrestres de carbono (fijación y almacenamiento de CO₂) más grandes; es reservorio genético de la biodiversidad; proporciona soporte y nutrientes a las plantas; proporciona hábitat a la fauna edáfica y la relación planta-suelo es crítica para la producción de biomasa. La conservación de los suelos del PESG es fundamental para el mantenimiento de la biodiversidad del área, los procesos ecológicos y evolutivos y los servicios ecosistémicos que proveen los bosques, matorrales y pastizales naturales e inducidos, además de prevenir la ocurrencia de inundaciones y deslaves, por lo que es un recurso clave para disminuir la vulnerabilidad del sistema natural y las comunidades al cambio climático.

IV.6.3 Hábitat de especies silvestres inscritas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en los Apéndices CITES

En el ámbito nacional 32 especies de flora y fauna que habitan en el PESG se encuentran listadas en las categorías de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, además 42 especies están inscritas en los Apéndices I (1 sp.) y II (41 spp.) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). La conservación de las especies en riesgo o sujetas a regulaciones para su comercio a nivel internacional permite mantener la biodiversidad y la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos en el ecosistema, los servicios ecosistémicos, además de contribuir a su adaptación al cambio climático.

IV.6.4 Valores culturales

Los servicios ecosistémicos culturales, considerados como valores de uso directo e indirecto, son los beneficios inmateriales que proveen los ecosistemas, tales como: valores estéticos, recreativos y de turismo, educativos, espirituales, de identidad social y cultural, lengua, conocimiento sobre la naturaleza, arraigo y unión con la comunidad.

El PESG provee servicios culturales de recreación, inspiración estética, espirituales y de identidad cultural (religiosos, rituales) y educativos, en distintos parajes dentro del área protegida, entre los más importantes están las festividades religiosas como la Semana Santa o Semana Mayor, celebración anual con misas y procesión con la representación del viacrucis en el paraje Ehécatl y Atzolco, el Día de la Virgen de Guadalupe con misas y procesiones en el Altar Piedra Ancha ubicado en la superficie de bosque de encino, la Celebración de María Auxiliadora con misas a lo largo del día en la capilla del cerro María Auxiliadora y el Día de la Santa Cruz, festejo que se realiza el 3 de mayo en el paraje Ehécatl, que consiste en una misa además de danzas.

Los cerros y algunos parajes del parque son escenario para la celebración de ritos y danzas de origen prehispánico que son parte de la cultura de los pobladores de las zonas vecinas y del Valle de México. En los parajes Aguililla, El Azteca y La Virgen se llevan a cabo danzas de los Concheros; el Baño de Temazcal se acostumbra en los parajes Aguililla, El Azteca y La Virgen y en este último, también se llevan a cabo campamentos de grupos ritualistas prehispánicos.

La topografía y el relieve del PESG ofrecen una gran diversidad de ambientes y atractivos ideales para realizar actividades recreativas al aire libre, días de campo en los módulos recreativos y palapas y en los parajes cercanos a los accesos del parque, caminata, senderismo, escalada en roca, ciclismo de montaña, ciclismo de ruta, *jogging*, rappel y campismo. La observación del paisaje, flora y fauna nativas también se lleva a cabo desde puntos estratégicos como el mirador Picacho. También, se realizan, visitas guiadas a través de las rutas conocidas como caminos al Panal, a La Olla, al Amigo, a La Cabaña, a Becerra, a Cuamilpa, a la Explanada de la Virgen, a María Auxiliadora y camino a Picacho, así como al sendero de Tlalnepantla Poniente. El PESG cuenta con instalaciones para la realización de actividades de educación ambiental y difusión sobre los recursos naturales del área protegida, tal es el caso del Centro Ecoturístico y de Educación Ambiental Sierra Guadalupe y el Centro de Educación Ambiental Integral Sierra de Guadalupe, el Jardín Botánico Ehécatl y el aviario.



Foto: Altar de Piedra Ancha en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Gabriela López Haro.



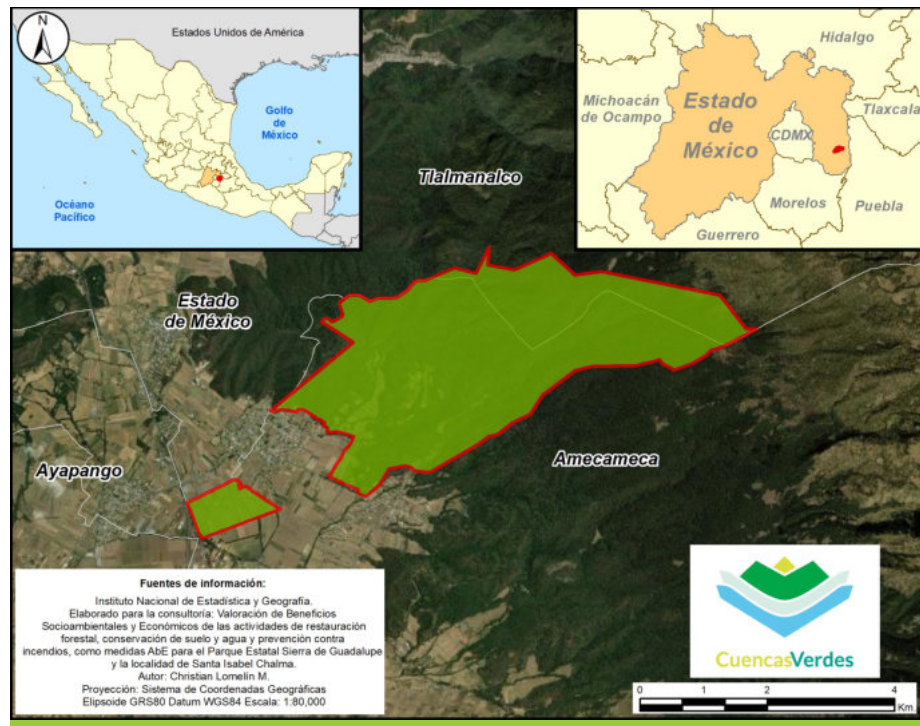
Foto: Sendero recreativo en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, Gabriela López Haro.

V. SANTA ISABEL CHALMA



V.1 Localización

Santa Isabel Chalma se localiza 3.2 km al norte de Amecameca en el municipio de Amecameca, Estado de México, en la vertiente occidental de la Sierra Nevada, macizo montañoso que forma parte del Eje Volcánico Transversal. Con una superficie de 1,336.04 ha, se ubica entre los 2,470 y 3,400 msnm. Limita al norte con la comunidad de San Antonio Tlaltecahuacan, municipio de Tlamanalco, al sur con Amecameca de Juárez, al este con Santiago Cuahutenco y al oeste con San Francisco Zentlalpan localidades del municipio de Amecameca. La principal vía de acceso es por la autopista México-Puebla 150D y la carretera federal 115 México-Cuautla/Ixtapaluca-Amecameca de Juárez.



■ Mapa: Elaboración propia.

V.2 Caracterización ambiental, social y económica

La comunidad Santa Isabel Chalma se ubica en la Sierra Volcánica Transversal, estructura en zigzag formada a finales del Terciario con una longitud de casi 900 km que se extiende en una franja de 130 km de ancho; con rocas volcánicas, derrames de lava y otras manifestaciones ígneas de la era Cenozoica, predominando andesitas y basaltos, conglomerados y arenas volcánicas.

El relieve del área se caracteriza por montañas, laderas, cañadas, mesetas, lomeríos y valles intermontanos, producto de fenómenos y procesos físicos y biológicos que han originado un paisaje característico conformado por el clima, suelos, relieve, vegetación y fauna, además de la presencia de comunidades humanas.

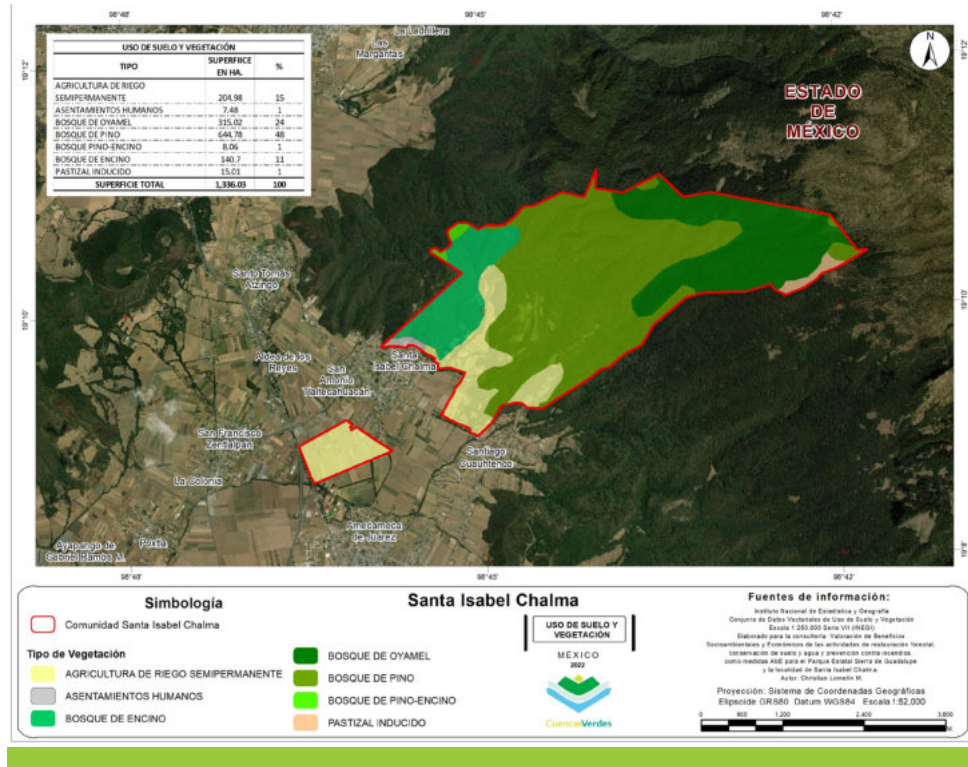
El clima de SICH es templado subhúmedo con lluvias en verano. El mes más cálido es abril con 25.3°C, el mes más frío enero con 6.8°C, con temperatura mínima por abajo de cero grados (-0°C). La temporada de lluvia se presenta de abril a octubre, la precipitación promedio anual es de

1,088 mm, julio es el mes más lluvioso con 230 mm, el mes más seco es diciembre con 5 mm. En la época fría se presentan nortes, frentes fríos y la invasión de masas de aire polar continental, que aportan importantes cantidades de lluvia y humedad; además de huracanes, ciclones y "culebras de agua" que afectan la localidad provocando lluvias intensas que representan un riesgo para la población y sus medios de vida, haciéndolos vulnerables ante los efectos del cambio climático.

Santa Isabel Chalma se ubica en la Región Hidrológica del Pánuco (RH-26), en la cuenca del río Moctezuma, en las subcuencas Río Moctezuma y Lago de Texcoco y Zumpango. El agua del deshielo proveniente los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl y la de lluvia forma corrientes superficiales permanentes e intermitentes que en su recorrido se infiltra en el suelo hasta los mantos freáticos. El manantial Tetlalcolulco y el río Chalma o Chopanac, son las principales corrientes permanentes, en la época lluvia abundan los arroyos y riachuelos intermitentes.

El agua que abastece a la población de SICh proviene del “ojo de agua” o manantial Tetlalcolulco, corriente permanente que se origina del agua subterránea producto del deshielo de los volcanes que emerge a la superficie en la porción noreste de la localidad a una altitud aproximada de 3,000 msnm, es exclusiva para consumo humano de los habitantes a través del Sistema Comunitario de Manejo del Agua Santa Isabel Chalma.

Los suelos de SICh son de tipo cambisol que ocupan cerca del 77% de la superficie de la localidad y los regosoles, que cubren el 23%, son suelos jóvenes, minerales, poco desarrollados, de vocación forestal.



Mapa: Elaboración propia.

Las condiciones climáticas determinadas por la altitud juegan un papel fundamental en la distribución de las asociaciones vegetales y el paisaje. La vegetación de la localidad de Santa Isabel Chalma está representada por bosques de oyamel (*Abies*), de pino (*Pinus*), de pino-encino (*Pinus-Quercus*), de encino (*Quercus*) y pastizal inducido. Comunidades vegetales donde prosperan árboles de entre 4 y 30 m de alto entre los que se encuentran oyamel (*Abies religiosa*), pinos (*Pinus* spp.), encinos (*Quercus* spp.), cedros (*Cupressus lusitanica*), madroños (*Arbutus*), capulines (*Prunus*), tepozanes (*Buddleja* spp.), ailes (*Alnus*) y fresnos (*Fraxinus*). En el estrato arbustivo se observan palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), cuachichi (*Garrya laurifolia*), cuauxochitl (*Cornus disciflora*), clasisle (*Amelanchier denticulata*), vara de agua (*Salix* spp.), tepozán (*Buddleja*), escoba (*Baccharis conferta*), (*Ceanothus caeruleus*), zoapaxtle (*Montanoa tomentosa*), jarilla (*Dodonae viscosa*), perilla (*Symphoricarpos microphyllus*), jarilla blanca (*Senecio cinerarioides*), mirtos (*Salvia*), gordolobo (*Gnaphalium americanum*) y maguey pulquero (*Agave salmiana*); las hierbas son abundantes destacando las asteráceas, gramíneas, helechos y musgos, además de los hongos. También se observan epifitas sobre los tallos y ramas de los árboles.

La fauna silvestre está representada por vertebrados e invertebrados terrestres. Entre los mamíferos están el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), gato montés (*Lynx rufus*), coyote (*Canis latrans*), zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), mapache (*Procyon lotor*), teporingo (*Romerolagus diazi*), conejos (*Sylvilagus cunicularius*, *S. floridanus*), zorrillos (*Conepatus leuconotus*, *Mephitis macroura*), ardillas (*Sciurus aureogaster*), tuzas (*Cratogeomys merriami*, *Thomomys umbrinus*), ratas (*Sigmodon leucotis*), ratones (*Liomys irroratus*, *Neotoma mexicana*, *Peromyscus* spp., *Reithrodontomys* spp.) y murciélagos (*Eptesicus fuscus*, *Lasiurus cinereus*, *Myotis* spp.).

Las aves residentes y migratorias son abundantes, se observan aguilillas y gavilanes (*Buteo jamaicensis*, *Accipiter cooperii*), halcones y cernícalos (*Falco peregrinus*, *F. sparverius*), tecolotes y búhos (*Bubo virginianus*, *Tyto alba*), zopilotes (*Coragyps atratus*), colibríes (*Colibri thalassinus*, *Cyananthus latirostris*, *Lampornis* spp., *Selasphorus* spp.), gorriones y zanates (*Chondestes grammacus*, *Passerina* spp., *Spizella* spp., *Quiscalus mexicanus*), entre otras.



Foto: Paraje de bosque de pino con oyamel y encinos en Santa Isabel Chalma, Irma Sonia Franco Martínez.

En la localidad también se encuentran reptiles como lagartos y lagartijas (*Barisia imbricata*, *Sceloporus aeneus*, *S. mucronatus*), culebras y víboras de cascabel (*Thamnophis scalaris*, *Crotalus triseriatus*, *C. transversus*) y anfibios como ranas y sapos (*Hyla plicata*, *Lithobates montezumae*), ajolotes y tlaconetes (*Ambystoma altamirani*, *Pseudoeurycea bellii*, *P. cephalica*). Destacan los insectos como la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) y las luciérnagas de los géneros *Photinus* y *Macrolampis*.

Con relación a las características sociales y económicas, cabe señalar que la localidad de Santa Isabel Chalma se encuentra dentro de un entorno mayormente rural dentro del municipio de Amecameca. De acuerdo con la información del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, el municipio de Amecameca tiene 53,441 habitantes, de los cuales 4.88% (2,610) se encuentran en Santa Isabel Chalma.

La proporción entre mujeres y hombres en el municipio de Amecameca es de 52.40% mujeres y 47.60% hombres, mientras que para la comunidad de Santa Isabel Chalma es de 51.57% mujeres y 48.43% hombres. En cuanto al nivel educativo de la población del municipio de Amecameca y Santa Isabel Chalma, las mujeres presentan mayores porcentajes de analfabetismo y falta de escolaridad respecto al total de la población en ambos niveles. En el caso de primaria completa y educación posbásica son también las mujeres las que presentan una mayor proporción. En cuanto al grado de escolaridad

promedio de Santa Isabel Chalma, este indicador un poco menor al del total del municipio (10.01 años de escolaridad promedio), en este caso son los hombres los que presentan una ligera ventaja en ambos niveles y se encuentra entre los 9.36 y 9.35 grados de escolaridad.

En lo que corresponde a la Población Económicamente Activa, para Amecameca la PEA corresponde al 47.38% del total de la población del municipio, mientras que para Santa Isabel Chalma es el 41.46%. A nivel municipal y para la localidad, los hombres tienen una mayor participación en la PEA con un 63.27%, mientras que la participación promedio de las mujeres es de 36.73%. En promedio, entre 2015 y 2020, el 12.71% de la PEA del municipio de Amecameca laboró en el sector agropecuario, el 17.36% en el sector industrial, y 65.44% en el sector servicios. La cantidad de personas laborando en el sector primario y secundario ha ido disminuyendo considerablemente (26.43% y 12.39% respectivamente durante en el periodo mencionado), mientras que el sector terciario ha aumentado de forma significativa (14.07% en el mismo periodo).

La actividad económica del municipio de Amecameca representa el 0.12% del total de la economía del Estado de México en 2020, siendo el sector económico más importante tanto a nivel estatal como municipal, el sector servicios que ocupa el 75% del total en el caso del Estado de México y el 85% en Amecameca. Para el municipio de Amecameca el sector primario es más relevante que el sector industrial con una participación de 10.85% y 3.51%

respectivamente. Tanto a nivel estatal como del municipio, el comercio y los servicios inmobiliarios son las actividades más importantes, el comercio del municipio de Amecameca representa el 0.20% del total del comercio del Estado de México, mientras que los servicios inmobiliarios representan el 0.09% del total estatal. La tercera actividad más relevante a nivel municipal es la agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza.

En Amecameca se cultivan algunos productos como el maíz, alfalfa, trigo, avena, ebo, así como verduras y legumbres, también se producen varios frutos como el nogal de castilla, pera, manzana, chabacano, capulín, ciruela amarilla y roja y algunos cítricos. La ganadería se realiza a nivel doméstico siendo las aves de corral, conejos y colmenas su principal producción. De acuerdo con datos presentados en el Plan de Desarrollo Urbano del municipio existen 1,764 unidades de producción relacionadas con este sector, de las cuales el 95% están ubicadas en zonas rurales, mientras que únicamente el 2% se encuentra en la parte urbana, el resto se presenta como unidades sin actividad.

V.3 Problemática

Los ecosistemas y la población de SICh, presentan una elevada vulnerabilidad por la incidencia de amenazas climáticas y no climáticas, que afectan la capacidad de adaptación de los organismos ante el cambio climático.

Las principales amenazas climáticas en la comunidad de SICh son la **sequía**, período excepcional de escasez de agua para los ecosistemas y la población humana, originada por fenómenos hidrometeorológicos (El Niño, La Niña) y antropogénicos (cambio del uso de suelo, deforestación, pérdida de biodiversidad, etc.), que contribuye a la ocurrencia de incendios en el área. Otro factor de riesgo lo constituyen las **lluvias torrenciales**, precipitaciones cuyo volumen e intensidad es mayor a 60 mm/hora que representan el principal factor de riesgo de inundación. Cabe destacar las **"culebras de agua"**, fuertes rachas de viento que arrastran masas de agua y adquieren la forma de una culebra en movimiento, son un fenómeno climático que se presentan en la localidad en la época de lluvias y que principalmente afecta los sistemas productivos. Entre las amenazas no climáticas

El 98.62% de las unidades de producción son de carácter privado. En Santa Isabel Chalma también se cultiva maíz, avena, alfalfa y ebo, de igual forma se cosechan verduras y frutas como limón, tomate y aguacate. En cuanto a la ganadería de la comunidad resalta la crianza de ganado bovino doble propósito (carne y leche), esta actividad, así como la agricultura, se realiza en mayor parte para auto consumo y en menor proporción, para venta dentro de la misma comunidad o en comunidades aledañas.

Con relación a las características de las viviendas, el 86% de éstas a nivel municipal y a nivel comunitario se encuentran habitadas, el 6.19% tiene piso de tierra (a nivel municipal) y el 5.62% a nivel de la localidad. En ambos casos el acceso a servicios de electricidad y de agua es de 99%, este último considera todas las fuentes de abastecimiento disponibles. En cuanto a los servicios sanitarios, más del 90% de las viviendas particulares habitadas dispone de excusado, el porcentaje de viviendas que disponen de letrina es de 3.49% para el municipio y 5.62% para la comunidad y el acceso a servicios de drenaje en ambos casos, es mayor al 90% teniendo una mayor cobertura a nivel municipal.

se encuentran el **cambio de uso del suelo** por la pérdida o fragmentación de la cubierta vegetal a causa de actividades productivas, la **erosión** hídrica y eólica, el **crecimiento de la población y la urbanización**.

Las **actividades productivas** son principalmente, la **agricultura** de temporal con cultivo de maíz, frijol y haba para el consumo humano y, de especies forrajeras como avena, alfalfa y ebo, así como la **ganadería** con la cría de bovinos de doble propósito y ovinos, para autoconsumo y venta.

Un grave riesgo para los ecosistemas y los habitantes de la comunidad son los **incendios forestales** provocados por el uso del fuego para eliminar la cubierta vegetal de terrenos para abrir nuevas superficies a la agricultura, la ganadería y la urbanización o para la limpieza y preparación de las parcelas que involucra la quema del rastrojo (hierbas y residuos vegetales secos), así como, la quema de los pastos secos para estimular el rebrote o "pelillo" para alimentar al ganado. Además del material

residual (ramas, trozos de madera, residuos de corteza y raíces) del aprovechamiento forestal (maderable, no maderable).

Otra amenaza potencial la representa el **turismo**, específicamente en los sitios de observación de las

luciérnagas, que puede impactar las poblaciones de luciérnagas, provocando la compactación y erosión del suelo por el apisonamiento y con ello la alteración de las cadenas tróficas, la pérdida de servicios ecosistémicos por la modificación de los procesos ecológicos y evolutivos.

V.4 Resultados de la valoración de servicios ecosistémicos

Para obtener el VET, se definió una zona de influencia para la localidad de Santa Isabel Chalma con la herramienta ArcMap 10.8.1, con una superficie total de 3,955.37 ha y se calcularon las superficies por uso de suelo y vegetación. Para este caso únicamente se calcularon los valores de uso de los servicios ecosistémicos seleccionados de acuerdo con la siguiente igualdad:

VET (SICH) = VU (almacenamiento de carbono + recarga hídrica + control de la erosión + hábitat + recursos forestales no maderables + recursos forestales maderables + producción agrícola + recreación y turismo)

Para obtener el **valor monetario de la recarga hídrica** de la localidad como primer paso, se calculó el valor monetario de la RMA para el acuífero 1506 Chalco Amecameca considerando la infiltración reportada por la Comisión Nacional del Agua y la tarifa mensual por derechos de agua potable para uso doméstico en el municipio de Amecameca. Posteriormente se calculó el precio unitario por m³ a partir del consumo anual estimado de agua en la localidad (\$3.35 m³) y se multiplicó por el valor de la RMA del acuífero para obtener un valor monetario de \$248,028,709 pesos. A partir de este dato se obtuvo el valor monetario de la recarga hídrica por hectárea para todo el acuífero (\$2,621/ha), valor que se multiplicó por la superficie que corresponde **a SICH y su zona de influencia (3,955.37 ha) obteniendo un valor monetario de la recarga hídrica al 2022 de \$10,364,119 pesos.**

Para calcular el **valor monetario del almacenamiento de carbono** se utilizaron las superficies por tipo de vegetación de la localidad y su zona de influencia (agricultura de riego semipermanente, bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de encino-pino y pastizal inducido) y se multiplicaron por los factores de contenido de carbono total por uso de suelo y vegetación (toneladas de carbono/ha*año) tomados de la literatura. Con esto se obtuvo el contenido de carbono total almacenado en los ecosistemas de la localidad y su zona de influencia que asciende a 556,958.51 toneladas de carbono/ha al año 2022, lo que corresponde a **2,042,181 toneladas métricas del equivalente de dióxido de carbono (CO₂)**.¹⁷ Finalmente, para conocer el valor en unidades monetarias, se utilizó información de precios de carbono de la plataforma *Live Carbon Prices*¹⁸ para mercados voluntarios en la categoría *Nature Based Offset* y se utilizó el tipo de cambio peso/dólar promedio para el periodo enero-noviembre del 2022.¹⁹ De esta forma se obtuvo que el valor monetario del carbono almacenado en SICH y su zona de influencia para el 2022 es de \$229,811,565.92 pesos.

El valor monetario del control de la erosión en SICH y su zona de influencia se calculó mediante el método de costos evitados por inundaciones y deslaves, con base en los resultados obtenidos de la estimación de daños económicos tangibles directos generados por la inundación que causó el evento de ruptura del dique de contención lateral del río La Compañía, ocurrido en el mes de febrero de 2010 en Valle de Chalco, Solidaridad, Estado de México, obtenido mediante *la integración de una función daño económico/profundidad de la inundación* (Díaz et al, 2010).²⁰

¹⁶ Factores de contenido de carbono totales por uso de suelo y vegetación calculados para la Valoración de Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocatepetl (GIZ, 2017).

¹⁷ La equivalencia se realizó con apoyo del calculador de equivalencias de GEI de la EPA.

¹⁸ <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/?nowprocket=1>

¹⁹ <https://www.banxico.org.mx/tipocamb/main.do?page=tip&idioma=sp>

²⁰ Díaz et al., 2010. Estimación de costos de daños directos por inundación en zonas habitacionales con empleo de curvas costo versus altura de agua alcanzada: caso de estudio Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. México.

Para fines de la aproximación al costo evitado en SICH y su zona de influencia, únicamente se consideró el escenario (en su rango mínimo) que toma en cuenta un nivel homogéneo de altura máxima de inundación al interior de los inmuebles anegados de las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), correspondiente a una altura de 1.5 m (h=1.50 m). Dada la proximidad de la zona de Valle de Chalco y la similitud en las condiciones socioeconómicas y del terreno con SICH y su zona de influencia y, dado que no existe información particular sobre costos por inundaciones y deslaves en esta localidad, se considera el escenario mínimo de costos reportado en el estudio de referencia por **\$33,980,000.00 pesos, como una aproximación al valor monetario del servicio ecosistémico de control de la erosión o costos evitados por inundaciones y deslaves al 2022.**

El **valor monetario del servicio ecosistémico de hábitat** en la localidad de Santa Isabel Chalma y su zona de influencia se calculó mediante el método de costos evitados para la suma de dos amenazas que alteran las condiciones del hábitat:

- i. El costo evitado por atención a incendios forestales, utilizando como referencia el costo promedio por hectárea para atención a incendios Tipo A que se obtuvo para el PESG multiplicado por la superficie total por tipo de vegetación susceptible de ser afectada en SICH.
- ii. El costo evitado por reemplazo de ecosistemas forestales degradados, ya sea por deforestación o por cambio de uso de suelo, calculado multiplicando la superficie total del PESG y su zona de influencia por los costos de referencia (actualizados por el INPC) para reforestación o restauración y su mantenimiento por concepto de compensación ambiental por cambio de uso del suelo en terrenos forestales publicado en el *Acuerdo por el que se expiden los costos de referencia para actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación.*²¹

El valor monetario del servicio ecosistémico de hábitat en la localidad de SICH y su zona de influencia al año 2022 es de \$110,306,147.60 pesos, obtenido de la suma de los dos componentes de costos evitados calculados: \$104,585,487.66 pesos (costos evitados por reemplazo de ecosistemas forestales) y \$5,720,659.94 pesos (costos evitados por atención a incendios).

Por su parte, el **valor monetario de las actividades productivas en la localidad y su zona de influencia es de \$46,731,956.07 pesos** al año 2022 y se obtuvo al calcular:

- i. El valor de los recursos forestales no maderables de \$867,640.22 pesos, con base en información sobre las superficies autorizadas (ha), anualidades para aprovechamiento y Kg de especies y partes por aprovechar de *Senecio angulifolius*, Tallo de *Salix paradoxa* y plantas de *Polytrichum* sp.,²² para los que se establecieron supuestos sobre la unidad de medida para venta (manejo y paca) y precios para obtener el valor de la producción en términos de las autorizaciones anuales.
- ii. El valor de la producción forestal maderable de \$3,613,400.00 pesos, considerando únicamente la producción de pino navideño, en los predios Tlapexpa, Atlalpico, Bienes Comunales y Rancho del Valle, la superficie promedio de los predios y el rendimiento promedio, de acuerdo con información del Cierre Agrícola Municipal 2021, obtenida del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)²³, así como el precio promedio para los árboles de navidad, observado en diversos locales sobre la carretera Chalco Amecameca, en el mes de diciembre de 2022.
- iii. El valor de la producción agrícola de \$42,002,915.85 pesos, considerando 950 ha dedicadas a la agricultura de riego semipermanente y supuestos sobre el tamaño promedio de la parcela para siembra, la proporción de predios dedicada a los cultivos de maíz, avena, ebo y tomate e información de rendimientos y precios del Cierre Agrícola Municipal 2021 del SIAP.

²¹ https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354722&fecha=31/07/2014#gsc.tab=0

²² Oficio de Autorización 221C03000-09/2019-NM de Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE), proporcionado por Pronatura México A.C.

²³ <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

iv. El valor de los huertos familiares de \$80,000.00 pesos, calculando el aumento en el ingreso disponible de los hogares por “gasto no realizado”, dado que no gastan en la compra de frutas y verduras pues las obtienen del huerto y, el ingreso adicional por la venta de excedentes. La información necesaria para realizar la valoración fue acopiada mediante encuestas directas a los beneficiarios de huerto familiar del **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”** en la localidad.

v. El valor de la recreación y turismo de \$168,000.00 pesos, obtenido a partir de información de los prestadores de servicios para la observación de luciérnaga en el Santuario Bosque Esmeralda. Dadas las restricciones para el levantamiento de encuestas no fue posible realizar la valoración contingente y calcular el costo de viaje, por lo que la aproximación se realizó calculando la derrama económica potencial para Bienes Comunales al conocerse el número de días al año que se ofrece la visitación, el número de visitantes por día y el precio promedio de la visita.

Finalmente, para conocer el valor monetario de los servicios ecosistémicos en la localidad y su zona de influencia, se realizó la suma de los componentes individuales obtenidos en el ejercicio de valoración:

$$\text{VET (SICH)} = \text{VU } (\$229,811,565.92 + \$10,364,119.47 + \$33,980,000.00 + \$110,306,147.60 + \$867,640.22 + \$3,613,400.00 + \$42,002,915.85 + 80,000.00 + \$168,000.00)$$

El valor económico total de los servicios ecosistémicos de la localidad de Santa Isabel Chalma y su zona de influencia para el año 2022 es de \$431,193,789.07 pesos.

Cabe señalar que las medidas de AbE implementadas en la localidad, contribuyen al mantenimiento de las funciones de los ecosistemas y, por tanto, a la provisión actual y futura de los servicios ecosistémicos valorados en este ejercicio.

Valor Económico Total (VET) de los servicios ecosistémicos de la localidad de SICH y su zona de influencia.

VET Santa Isabel Chalma y su zona de influencia (2022)		
Servicio ecosistémico	Método	Valor (\$ MXN)
Recarga hídrica	Precios de mercado	10,364,119.47
Almacenamiento de carbono	Transferencia de beneficios	229,811,565.92
Control de la erosión	Costos evitados por inundaciones y deslaves	33,980,000.00
Hábitat	Costos evitados por atención a incendios	5,720,659.94
Hábitat	Costos evitados por reemplazo de ecosistemas forestales degradados	104,585,487.66
Turismo	Precios de mercado (visitación al santuario de la luciérnaga)	168,000.00
Aprovechamiento forestal maderable	Precios de mercado (pino navideño)	3,613,400.00
Aprovechamiento forestal no maderable	Precios de mercado (Tallos de <i>Senecio angulifolius</i> y <i>Salix paradoxa</i> + Planta <i>Polytrichum</i>)	867,640.22
Producción agrícola	Precios de mercado (maíz, ebo, tomate y avena)	42,002,915.85
Huertos familiares	Ingreso excedente	80,000.00
Valor Económico Total		431,193,789.07

Fuente: Elaboración propia.

V.5 Resultados del Modelo de Evaluación Socioeconómica para la implementación de medidas de AbE en SICh

Sobre la base metodológica del Análisis Costo Beneficio, se identificaron y calcularon los costos y beneficios estrictamente atribuibles a las medidas AbE.

Consideraciones respecto de los Costos y Beneficios incorporados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica para la localidad de Santa Isabel Chalma.

Beneficios	Método de cálculo
Beneficio por almacenamiento de carbono	Con base en la información proporcionada por Pronatura A.C. respecto a las reforestaciones anuales únicamente para los años 2021 y 2022 realizadas en la localidad, se calculó el contenido de carbono total hacia el horizonte de evaluación con la misma metodología con la que se calculó el VET del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono para el año 2022. Las hectáreas reforestadas corresponden a bosque de pino-encino por lo que se aplicó el factor de contenido de carbono correspondiente a este tipo de vegetación. Para este caso, se estableció el supuesto sobre tasa de supervivencia del 80% de los individuos plantados, dadas las condiciones del sitio y se asumió que, hacia el año 15 de la reforestación, el factor de contenido de carbono puede aplicarse. Se consideró como precio de partida para el bono de carbono 5.58 USD.
Beneficios por recarga hídrica	Se cuantificó a partir del valor monetario de la RMA de SICh, calculado en el VET. Para el caso del modelo, solamente se consideró como beneficio atribuible al proyecto el 2% de la recarga hídrica anual de la localidad.
Beneficio por costos evitados por inundaciones y deslaves	En este beneficio se cuantificaron los costos evitados por la atención de los efectos provocados por fenómenos hidrometeorológicos que dan lugar a inundaciones y deslaves. El cálculo de los costos evitados se realizó mediante una modelación hidrometeorológica (curvas de intensidad-duración-frecuencia), elaborada con base en registros climáticos históricos de tormentas que provocaron afectaciones de magnitud similar al fenómeno extremo cuantificadas en el VET y se comparó con un escenario basado en la corrida RCP4.5.
Beneficio por costos evitados por atención de incendios	En este beneficio se cuantificaron los costos evitados por atención de incendios y sus afectaciones a los ecosistemas, para ello, se realizó un análisis de la información histórica de incendios en SICh y por Transferencia de Beneficios, la tasa diferencial entre la situación con y sin proyecto del análisis realizado para el PESG, se realizó la estimación de incendios y superficie afectada a lo largo del horizonte de evaluación con y sin proyecto, a partir de la diferencia de estas proyecciones se valoró el costo evitado atribuible al proyecto.
Beneficio por turismo y recreación	Para este beneficio se partió del VET calculado para la producción de recursos forestales maderables, recursos forestales no maderables, producción agrícola y turismo (sin considerar huertos familiares). Una vez cuantificado el VET, hacia el horizonte de evaluación se atribuyó a las medidas solamente el 2% del valor anual de dicha producción.
Costos	
Costos de implementación de AbE	Se determinó el costo de las medidas de AbE a lo largo del horizonte de evaluación. Dichos costos se integran por los costos de inversión, equipo y operación, observados en el periodo 2019-2022 y su proyección para los siguientes años.
Costo recurrente anual	Con base en los costos de adquisición de equipo y los costos de operación observados, se proyectó un costo recurrente anual a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto, dicho costo se basa en los costos observados entre 2019-2022, tomando en cuenta la recurrencia de cada uno de los elementos necesarios para el mantenimiento de las medidas de AbE a lo largo del tiempo.

■ Fuente: Elaboración propia.

El resultado del Modelo de Evaluación Socioeconómica para el proyecto reporta, bajo un escenario realista, un **VPN de \$53.96 millones de pesos**, lo anterior indica que, tomando en consideración los criterios de rentabilidad, el proyecto es rentable socialmente, el impacto socioeconómico del proyecto es positivo para la sociedad en su conjunto.

El VPN resultado del análisis para la localidad de Santa Isabel Chalma, se integra de los siguientes beneficios individuales:

- i. Beneficio por almacenamiento de carbono:** \$5.33 millones de pesos reportados en los años 2036 y 2037, que traídos a valor presente son \$1.38 millones de pesos.
- ii. Beneficio por recarga hídrica:** \$8.08 millones de pesos reportados a lo largo de los 25 años de evaluación del proyecto que a valor presente equivalen a \$2.79 millones de pesos.
- iii. Beneficio por costos evitados por atención de inundaciones y deslaves:** \$40.86 millones de pesos acumulados dentro del horizonte de evaluación, traídos a valor presente del año 2022.
- iv. Beneficio por costos evitados por atención de incendios:** \$26.55 millones de pesos a lo largo de

los 25 años de evaluación del proyecto que en valor presente equivalen a \$8.87 millones de pesos.

- v. Beneficios por actividades productivas:** \$34.82 millones de pesos a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto, lo que corresponde en valor presente a \$12.09 millones de pesos.
- vi. Costos del proyecto:** \$33.74 millones de pesos a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto que en términos de valor presente equivale a \$12.06 millones de pesos.

Los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad indican que para el escenario negativo, el proyecto presenta aún un VPN positivo del orden de \$52.75 millones de pesos, el escenario realista reporta un VPN de \$53.96 millones de pesos y finalmente, el escenario positivo, arroja un valor de \$60.42 millones de pesos. En los tres casos el proyecto resulta rentable socialmente.

Con base en los supuestos considerados para la construcción del Modelo de Evaluación Socioeconómica, los resultados del Modelo Probabilístico -*Situación Montecarlo*- sugieren que el impacto del proyecto es positivo socialmente, mostrando un VPN Esperado de \$56.67 millones de pesos.

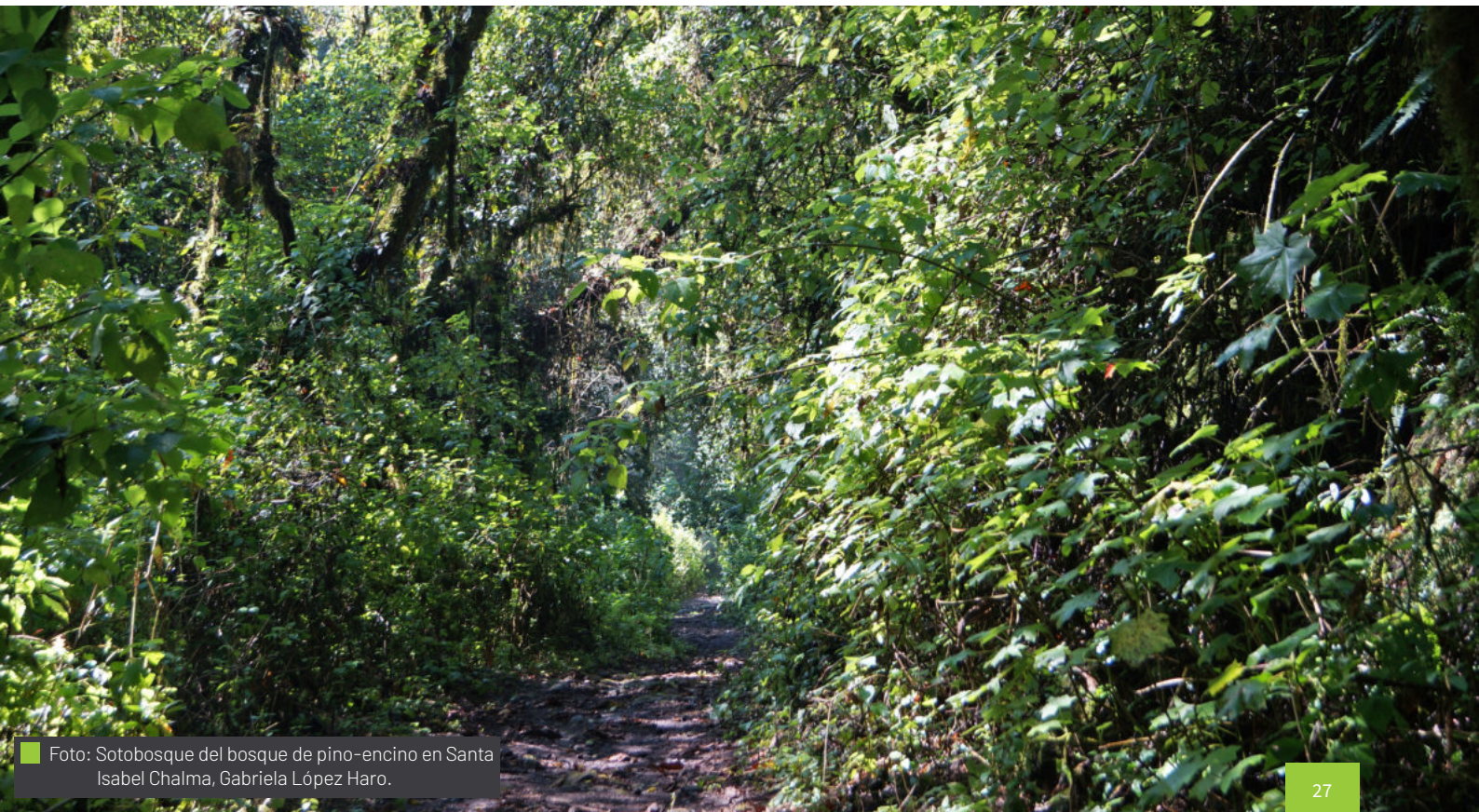


Foto: Sotobosque del bosque de pino-encino en Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.

V.6 Beneficios no capturados en el Modelo de Evaluación Socioeconómica

V.6.1 Conectividad

La conectividad del paisaje entre los ecosistemas de la comunidad de Santa Isabel Chalma se manifiesta por un mosaico de parches de vegetación que se mantienen interconectados a través de corredores biológicos o ecotonos entre el bosque de oyamel, de pino-encino, de encino, el pastizal y los sistemas productivos agroforestales que mantienen la cubierta vegetal y los corredores bioclimáticos con el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Corredor Biológico Chichinautzin áreas protegidas federales y con los parques estatales Santuario del Agua y Forestal Manantial El Salto de Atlautla-Ecatzingo, Cerro El Faro y Cerro de Los Monos, Reserva Ecológica Cerro Ayaqueme-Volcán Huehuel, y las Áreas destinadas Voluntariamente a la Conservación Tetlalcolulco Lugar Sagrado Santa Isabel Chalma y Ejido Emiliano Zapata. La conectividad entre áreas es clave para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proveen los sistemas de la comunidad de Santa Isabel Chalma.

V.6.2 Suelos

Los suelos de Santa Isabel Chalma son recursos esenciales para sostener la vida, fundamentales para conservar los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que proveen. Constituyen el soporte de las comunidades vegetales (bosques de oyamel, de pino-encino, de encino, pastizal), la flora y fauna nativas, así como de las áreas productivas que son la base del sistema alimentario de la comunidad (agricultura, ganadería, silvicultura), por lo que son claves para el sostenimiento de los medios de vida y la nutrición de la población de la localidad y sus zonas aledañas. También proporcionan el soporte para el desarrollo de la infraestructura urbana y vías de comunicación.



Foto: Cascada de Tetlalcolulco en Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.

V.6.3 Hábitat de especies silvestres inscritas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en los Apéndices CITES

En el ámbito nacional 47 especies de flora y fauna que habitan en la comunidad de SICh se encuentran listadas en las categorías de riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 30 de este total son endémicas de México, además 18 especies están inscritas en los Apéndices I (2 sp.) y II (16 spp.) de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). La conservación de las especies en riesgo o sujetas a regulaciones para su comercio a nivel internacional permite mantener la biodiversidad y la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos en el ecosistema, los servicios ecosistémicos, además de contribuir a su adaptación al cambio climático.

V.6.4 Valores culturales

La localidad de SICh provee servicios culturales de recreación, inspiración estética, espirituales y de identidad cultural (religiosos, rituales). Bosques, cascadas y parajes son atractivos naturales para el senderismo y el ciclismo de montaña o para la visita en familia. Destacan el Santuario Bosque Esmeralda, en donde se ofrece una experiencia única para la observación de las luciérnagas durante la época de apareamiento en los meses de julio-agosto, parajes dentro del bosque de pino-encino donde se cultivan diversas especies de árboles de navidad y que representan una alternativa para la recreación, el esparcimiento y la convivencia durante la época decembrina por la visita para la selección y corte del árbol de navidad, la compra de decoraciones y artesanías navideñas y el consumo de comida y antojitos propios de la región. La cascada de Tetlalcolulco, nombre Náhuatl que significa "Lugar sagrado", es otro sitio de gran importancia para la población por su valor espiritual, es un lugar conocido y visitado desde la época prehispánica por curanderos, hechiceros y brujos para realizar ceremonias y rituales de conjuro, petición, adivinación y de sanación en un adoratorio o altar establecido al pie de la gran peña junto a la cascada.



Foto: Magueycito y musgo creciendo en Santa Isabel Chalma, Irma Sonia Franco Martínez.

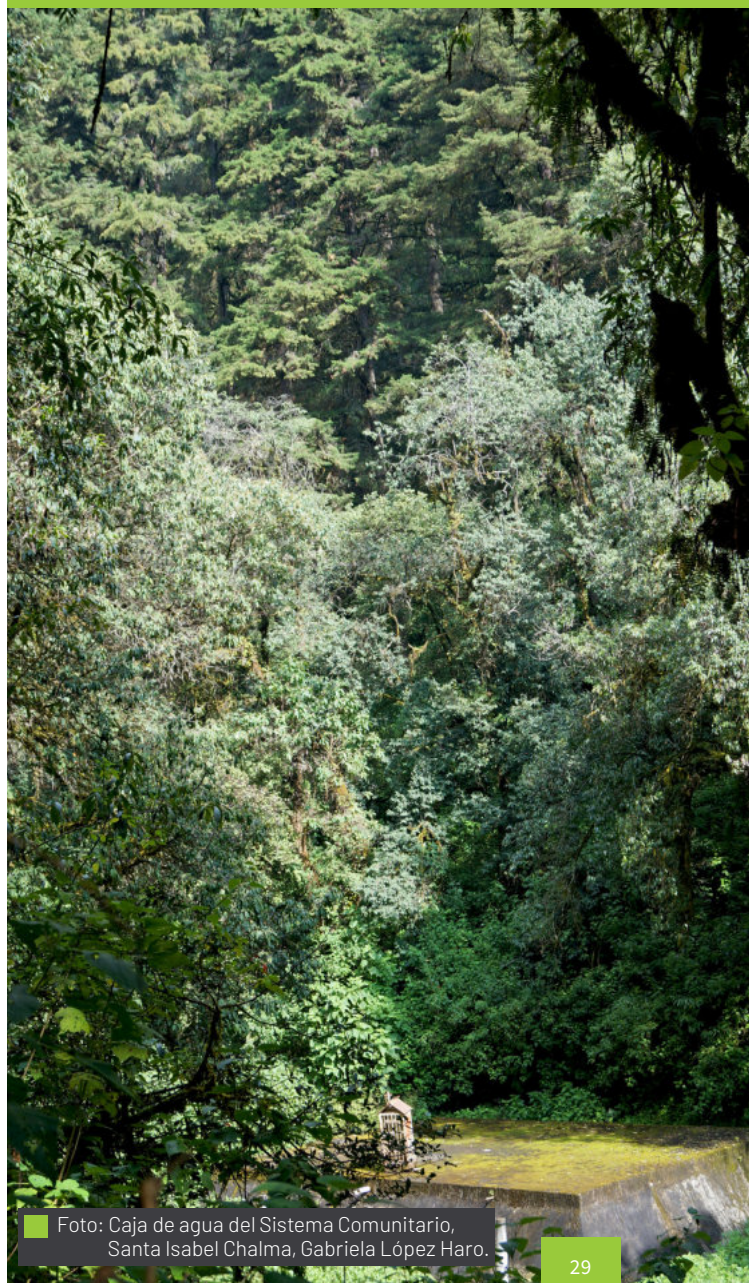


Foto: Caja de agua del Sistema Comunitario, Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.

V. CONCLUSIONES

La implementación de medidas de AbE en el PESG y la localidad de SICh que se llevó a cabo calculando el valor económico total mediante métodos de valoración económica ad hoc para los servicios ecosistémicos seleccionados en las zonas de estudio y, evaluando en términos económicos y sociales la rentabilidad mediante el análisis costo beneficio, permite concluir que las inversiones realizadas en ambos sitios durante el periodo 2019-2022 (proyecto de medidas de AbE evaluado), son rentables socialmente considerando un horizonte de evaluación de 25 años.

Para el caso del PESG y su zona de influencia, el VET calculado para el año 2022 es de \$612,615,025.03 pesos.

Este resultado es la suma del valor monetario calculado para los servicios ecosistémicos de recarga hídrica, almacenamiento de carbono, control de la erosión, hábitat y recreación y el turismo, siendo el almacenamiento de carbono el servicio ecosistémico con mayor aportación al VET con un valor de \$256,194,341.19 pesos, seguido del valor del hábitat, calculado mediante el método de

costos evitados por reemplazo de ecosistemas forestales, prevención de incendios y atención fitosanitaria, con un valor de \$167,707,430.16 pesos, el valor por control de la erosión calculado en \$73,500,000.00 pesos, el valor de la recarga hídrica de \$60,213,253.67 pesos y el valor de la recreación y el turismo que asciende a \$55,000,000.00 pesos. Los valores de los servicios ecosistémicos que integran el VET, son una aproximación a los beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas del PESG y a cuyo mantenimiento han contribuido las obras de conservación de suelo y agua, las acciones para prevenir incendios y las actividades de restauración forestal financiadas por el **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”**.

El efecto neto de las medidas de AbE sobre la provisión futura de servicios ecosistémicos o beneficios económicos, ambientales y sociales, se calculó a través de la evaluación socioeconómica del proyecto aplicando la herramienta costo-beneficio hacia el año 2046.



El Modelo de Evaluación Socioeconómica se construyó a partir de los valores monetarios de los servicios ecosistémicos obtenidos en el VET para el año 2022 (situación sin proyecto) y consideró únicamente los efectos marginales atribuibles a las medidas de AbE hacia el horizonte de evaluación (situación con proyecto), bajo un escenario de cambio climático, capturado en el análisis para el apartado de costos evitados por inundaciones y deslaves, mediante la modelación hidrometeorológica que replica curvas de intensidad-frecuencia-duración bajo parámetros de la situación con proyecto (con medidas de AbE), comparada con la modelación hidrometeorológica basada en el escenario RCP4.5, que incorpora Trayectorias de Concentración Representativas que sirven como insumo para la modelación bajo parámetros intermedios de cambio climático.

Como resultado del análisis se concluye que, bajo un escenario realista, la implementación de las medidas de AbE en el PESG genera un **VPN de \$106.3 millones de pesos**, por lo que, de acuerdo con los criterios de rentabilidad, se considera un proyecto rentable cuyos impactos son positivos para la sociedad en su conjunto.

Para la **localidad de SICh y su zona de influencia se obtuvo un VET de \$431,193,789.07 pesos**, como resultado de las valoraciones de recarga hídrica, captura de carbono, control de la erosión, hábitat y actividades productivas (aprovechamiento forestal maderable, no maderable, producción agrícola, huertos familiares y recreación y turismo). La captura de carbono es el servicio ecosistémico con la mayor aportación al VET con un valor de \$229,811,565.92 pesos, seguido de las actividades productivas con un valor de \$46,731,956.07 pesos, el control de la erosión con un valor de \$33,980,000.00 pesos y la recarga hídrica con un valor de \$10,364,119.47 pesos.

El Modelo de Evaluación Socioeconómica para la localidad de SICh se construyó bajo los mismos principios que el modelo para el PESG y consideró también el escenario de cambio climático en el apartado de costos evitados por inundaciones y deslaves, mediante una modelación con base en datos históricos comparada con un escenario RCP4.5.

La implementación de las medidas de AbE bajo un escenario realista en la localidad de SICh, genera un **VPN**

de \$53.9 millones de pesos, por lo que, de acuerdo con los criterios de rentabilidad, se considera un proyecto rentable con impactos positivos para la sociedad en su conjunto, por las aportaciones al bienestar de la sociedad de los servicios ecosistémicos provistos por los ecosistemas de la localidad y su zona de influencia, que las medidas de AbE contribuyen a mantener.

Cabe resaltar que para la localidad de SICh resultan relevantes las contribuciones de las obras de conservación de suelo y agua, la restauración forestal, los sistemas agrosilvopastoriles y los huertos familiares financiadas por el **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”**, dados sus efectos positivos sobre los medios de vida de los habitantes de la zona.

De acuerdo con el análisis realizado, la estrategia de AbE implementada por Pronatura México A.C. y financiada por el **Proyecto “CuencasVerdes: Adaptándonos al futuro”** en ambas áreas de estudio, debe considerarse como una solución efectiva para reducir el riesgo frente a fenómenos hidrometeorológicos y para adaptarse a los impactos negativos al cambio climático, lo que se confirmó mediante una evaluación social rentable para ambos casos. Por ello, la continuidad, escalabilidad o replicación de la estrategia de AbE en las áreas de estudio y en otras zonas en las que existan condiciones sociales e institucionales para la implementación, **deben asegurarse mediante la dotación de recursos financieros de actores privados**, beneficiados directa o indirectamente por los servicios ecosistémicos de aquellos espacios naturales susceptibles de ser afectados o, confirmados como vulnerables al cambio climático.

Finalmente, dado que las medidas de AbE contribuyen a la captura de carbono, a mantener la conectividad entre corredores biológicos, al mantenimiento de la calidad de los suelos, a la conservación del hábitat de especies en riesgo y al resguardo de valores culturales, entre otros beneficios intangibles, es importante focalizar esfuerzos para detonar alianzas con los diferentes actores públicos con atribuciones sobre cada uno de estos temas, para complementar presupuestos y capacidades técnicas públicas y privadas de forma estratégica y con ello, potenciar los resultados de la implementación de estrategias de AbE, para atender el reto que plantea el cambio climático.



Esta publicación fue financiada por la Iniciativa Internacional de Cambio Climático con recursos del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania. El documento representa los puntos de vista de los beneficiarios de la financiación y no necesariamente coinciden con los puntos de vista de la agencia financiadora.

Foto: Santa Isabel Chalma, Gabriela López Haro.