

LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y SU COLABORACIÓN EN LA DISMINUCIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Angélica Reyes Olivares'
Verónica Miranda Rosales''
Graciela Cruz Jiménez''

RESUMEN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son reconocidas por excelencia como un instrumento de política ambiental para conservar los ecosistemas, básicamente su finalidad es garantizar los procesos ecológicos y evolutivos. Sin embargo, también proveen servicios ambientales: abastecimiento, de regulación, de apoyo y culturales, que se traducen en beneficios intangibles. Dentro de los beneficios, las ANP contribuyen a la disminución de riesgos, a través del equilibrio en el sistema natural, ayudan a disminuir los efectos del cambio climático, como inundaciones, erosión, aumento de temperatura, ciclones, incendios forestales y sequías, al servir como barreras naturales o amortiguadores que mitigan los impactos de estas amenazas.

La investigación se basa en el ANP Parque Estatal "Isidro Fabela", ubicado entre los municipios de Atlacomulco, Jocotitlán y San Bartolo Morelos, al norte del Estado de México; el objetivo es analizar la forma en que el ANP contribuye a la disminución de los efectos del cambio climático a nivel local. La metodología que se utilizará es un enfoque mixto, revisión documental, observación de campo y técnicas de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados esperados consisten en que se refleje al ANP como un elemento importante en el entorno, que influye en la amortiguación de los impactos del cambio climático a nivel local, esto porque los ecosistemas terrestres, basados en bosques, son altamente eficientes en funcionar como sumideros de carbono, mediante la fotosíntesis.

Palabras clave: Áreas Naturales Protegidas, Cambio Climático, Resiliencia.

* Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química.

** Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Planeación Urbana y Regional.

ABSTRACT

Protected Natural Areas (ANP) are recognized excellence as an instrument of environmental policy to conserve ecosystems, basically their purpose is to guarantee ecological and evolutionary processes. However, they also provide environmental services: supply, regulation, support and cultural, which translate into intangible benefits. Among the benefits ANP, contribute to the reduction of risks, through the balance in the natural system, help to reduce the effects of climate change, such as floods, erosion, temperature increase, cyclones, forest fires and droughts, by serving as natural barriers or buffers that mitigate the impacts of these threats.

The research is based on the ANP State Park called "Isidro Fabela", located between the municipalities of Atlacomulco, Jocotitlán and San Bartolo Morelos, north of the State of Mexico, the objective is to analyze the way in which the ANP contributes to the decrease of the effects of climate change at the local level, the methodology that will be used is a mixed approach, documentary review, field observation and Geographic Information Systems techniques. The expected results consist of reflecting the ANP, as an important element in the environment, which influences the damping of the impacts of climate change at the local level, this because terrestrial ecosystems, based on forests, are highly efficient in functioning as carbon sinks, through photosynthesis.

Keywords: Protected Natural Areas, Climate Change, Resilience

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en México son sitios potenciales para contribuir a disminuir los efectos del cambio climático a nivel local, ya que benefician directamente en su entorno. Sin embargo, se debe considerar su cuidado y protección para que sigan brindando los servicios ambientales que favorecen al ser humano. Por otra parte, se ha discutido durante varios años si el cambio climático es producto de la evolución natural de la Tierra o es propiciado por las actividades humanas. Pero actualmente se vive una intensificación de los fenómenos, sobre todo hidrometeorológicos que provocan daños en las distintas regiones del planeta, como desertificación, inundaciones, olas de calor, heladas, huracanes, los cuales se presentan con mayor frecuencia.

Con base en lo anterior, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC, por sus siglas en inglés (2021), en su último informe señala que muchos de los cambios que ha sufrido el planeta no tienen precedentes en millones de años, ya que son producto de la acumulación de efectos de la actividad humana, como quema de combustibles fósiles, deforestación, consumo excesivo y la intensificación del sector agroalimentario, estos son los principales factores.

Por otro lado, las ANP son un instrumento de política ambiental, destinado a salvaguardar la biodiversidad, pero ayudan a mitigar y adaptarse al cambio climático, sirven como sumideros de carbono; al respecto, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente el número 13, se refiere a adoptar medidas de manera inmediata para enfrentar el cambio climático y todas las consecuencias que este implica; las ANP pueden ser una medida de adaptación con un manejo adecuado (ONU, 2015b).

Para comprometerse con el objetivo 13, y los demás ODS, México ha demostrado su interés y responsabilidad con el cambio climático. A partir de 2012, el país ha transformado políticas, programas y acciones para hacer frente a la situación actual, y reconoce el papel fundamental de las áreas protegidas en la adaptación y mitigación, así como el aumento de la resiliencia en las ANP.

La biodiversidad del país ha estado extremadamente impactada por distintos factores; sin embargo, uno de los principales causantes es el cambio de uso de suelo, estimándose una reducción de 2 500 ha de bosques tropicales, 1 290 ha de bosques templados, 1 550 ha de arbustos y 830 ha de pastizales en todo el territorio nacional (WWF, 2019). El cambio de uso de suelo es uno de los principales factores que inciden en el cambio climático. El cambio de suelo forestal a urbano, o bien, a agropecuario repercute con mayor intensidad en la variabilidad climática. Además, los problemas ambientales contribuyen a la desigualdad social y a la degradación de los servicios ambientales y los recursos naturales de los que subsisten muchas comunidades rurales. Por tal motivo, es importante crear estrategias para hacer frente al cambio climático y las ANP pueden realizar esta función de manera directa, beneficiando a las comunidades circundantes a estas.

La presente investigación se centra en el ANP Parque Estatal "Isidro Fabela", ubicado en los municipios de Atlacomulco, Jocotitlán y San Bartola Morelos, la cual cuenta con una extensión de 3 701 ha; su vegetación se compone principalmente por bosque de pino-encino (GEM, 1975). Con base en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC) del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

(rNECC), en la región existe población vulnerable a deslaves y estrés hídrico (rNECC, 2019). También se han presentado incendios forestales que han devastado superficies forestales, afectando gravemente la vegetación de la zona.

El Parque Estatal "Isidro Fabela" es una importante ANP al norte del Estado de México, pues provee de servicios ambientales a comunidades de los tres municipios: Atlacomulco, Jocotitlán y San Bartolo Morelos (GEM, 2011), principalmente las localidades de San Antonio Enchisi, San Pedro del Rosal, Santiago Acutzilapan, San Felipe Pueblo Nuevo y Mavoró.

ANTECEDENTES

La humanidad depende en gran medida de la conservación de la biodiversidad, sobre todo de la función equilibrada de los ciclos biogeoquímicos; entre los más importantes para la función de la tierra destacan: el ciclo hidrológico, ciclo del carbono, ciclo de nitrógeno y el ciclo del oxígeno. La ANP contribuyen en esta función. Sin embargo, han existido cambios en el clima que se están reflejando en eventos hidrometeorológicos con mayor intensidad.

La preocupación mundial por los cambios drásticos en el clima llevó a crear en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (n-CC), fundado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático (rPCC, 2021).

Hasta principios de 1990 se opinaba que las grandes transformaciones climáticas requerían mucho tiempo; sin embargo, a partir de 1975 el casquete del Polo Norte se ha estado derritiendo constantemente y hasta hace pocos años las previsiones científicas aseguraban que no se deshelaría del todo hasta 2200 (Peralta, 2020). Lo anterior, se articuló al protocolo de Kyoto en 1997, cuyo objetivo era lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático (Velázquez de Castro, 2005). A pesar de ello, el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC fue determinante en lo que se pronosticaba que sucedería, pero el punto de inflexión donde se acrecentaron las emisiones de CO₂, un gas causante del efecto invernadero, se dio a partir de la Revolución Industrial y otros factores asociados

como la agricultura y ganadería intensiva, los cuales produjeron un desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos (Enrich et al., n.d.).

En México, a partir de los años sesenta hasta la actualidad el promedio de temperaturas ha aumentado 0.85 °C; el norte del país es el que ha tenido un mayor incremento (de 0.25 a 0.50 °C por década, de 1960 a 2010) y la precipitación ha sufrido una disminución en el sur. En el último siglo el aumento de temperatura promedio anual varía entre 0.5 a 2 °C (Delgado et al., 2010). Para las zonas áridas, actualmente existen periodos de sequías más largos, pues el periodo de precipitación ha variado considerablemente, existen análisis que reflejan un decremento de hasta 84 %. Por el contrario, en las zonas tropicales ha aumentado la precipitación, lo cual trae como consecuencia el deslizamiento de laderas o bien inundaciones que provocan severos daños. Existe la posibilidad de que los cambios mencionados estén relacionados con el cambio climático, ya que se han presentado los fenómenos, sobre todo hidrometeorológicos con mayor intensidad y frecuencia.

En 2014 se creó el proyecto de Fortalecimiento de la Efectividad del Manejo y la Resiliencia de las Áreas Naturales Protegidas para dar protección a la biodiversidad amenazada por el cambio climático a fin de aminorar los efectos desfavorables de este sobre los ecosistemas a nivel mundial y mejorar el manejo de las comunidades sobre las ANP (Conanp, 2020), un año antes del Acuerdo de París, 2015 (AP), que tuvo por objeto reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento global de la temperatura en este siglo a 2 °C, al tiempo que busca medios de limitar la subida todavía más a 1.5 grados (ONU, 2015a).

El AP, en materia de mitigación, se plantea "lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible" y "alcanzar un equilibrio" entre las emisiones y la absorción por los sumideros en la segunda mitad del siglo; asimismo, se proyecta aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de modo que no comprometa la producción de alimentos. Algo muy relevante en este acuerdo es que se considera aumentar los recursos financieros, mediante el establecimiento de un nuevo objetivo colectivo cuantificado que será como mínimo de 100 000 millones de dólares anuales, teniendo en cuenta las necesidades y prioridades de los países en desarrollo (PNUMA, 2015).

En 2017, se crearon los programas de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas (PACC), cuya finalidad es adoptar medidas para hacer frente al fenómeno del cambio climático desde los sitios de conservación, enfatizando en los servicios ambientales que proveen, además de que ayudan en la captura de carbono y constituyen una oportunidad para la conservación de la biodiversidad del país.

En el caso del Estado de México, en 2013 se elaboró el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, cuya finalidad era contar con una herramienta para coordinar acciones y políticas en materia de cambio climático. En 2016 se creó la Estrategia Estatal de Cambio Climático de la entidad, donde se reconoció que la zona más vulnerable en el estado está relacionada habitualmente con las desigualdades sociales.

El parque "Isidro Fabela" forma parte de las 88 ANP de la entidad, con la categoría de parque estatal decretado así el 8 de febrero de 1975, y se ubica en una zona montañosa con pendientes de 15 % o más, con limitaciones para el desarrollo urbano (GEM, 1975). Los principales riesgos en el ANP son los incendios forestales y deslizamiento de laderas cercanos a asentamientos humanos irregulares (Sedatu, 2013). Por lo anterior, es relevante salvaguardar el polígono de conservación, ya que conforma un bosque de pino-encino que proporciona servicios ambientales y sirve como sumidero de carbono.

MARCO DE REFERENCIA

En los últimos años cada vez es más común escuchar información acerca del cambio climático, contaminación atmosférica, alimentos transgénicos, deforestación, erosión del suelo, deterioro de la capa de ozono, crecimiento demográfico, crecimiento urbano, etc. La idea de un medio ambiente amenazado ha pasado a formar parte de nuestra conciencia colectiva, lo que genera un gran debate en torno a esta problemática y se desprende una gran variedad de teorías y toma de posiciones políticas.

El cambio climático es inducido por el calentamiento global producido principalmente por la concentración y aumento de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, dicho cambio es atribuido directa o indirectamente a las actividades antropogénicas que a nivel global desequilibran la composición atmosférica que se adhiere a la variabilidad del clima. Actualmente, esta variabilidad incide en la

intensidad y frecuencia de los fenómenos hidrometeorológicos que generan riesgos a las poblaciones de todo el mundo.

El peligro más grande del cambio climático no es la pérdida de la naturaleza, sino las consecuencias en el ser humano respecto a este fenómeno, pues pueden llegar a ser críticas: temperaturas extremas, inundaciones, sequías, huracanes, incendios forestales, enfermedades, desertificación y escasez de agua, que en algunos lugares del mundo ya se está viviendo.

La preocupación por el tema del medio ambiente y cambios en la naturaleza surge en los años sesenta, pero podemos ubicarlo con precisión en 1972 con la publicación del llamado Primer Informe del Club de Roma, sobre los límites del crecimiento. En él se demuestra que, frente al incesante crecimiento económico y demográfico, con ese estilo y ritmo de crecimiento, en "un plazo de 100 años se acabarían los recursos y la capacidad natural" (Ramírez, 2000, p. 39).

En 1988, cuando se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por las siglas en inglés IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) establecido por la ONU y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se realizó un informe cuya tendencia era alertar acerca de variantes del clima con influencia de las actividades antropogénicas.

Al respecto, se han realizado seis informes del IPCC, el último en 2021 en Estocolmo, Suecia, el cual incorpora las conclusiones de dos informes, el Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático (2011) y el especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (2011). El IPCC menciona con 95 % de certeza que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global (IPCC, 2014). En su sexto informe, reafirma que la acción del ser humano está directamente relacionada con la emergencia climática que vive el planeta y es uno de sus principales precursores (IPCC, 2021).

La atención al cambio climático tiene su expresión en el Objetivo 13 para el Desarrollo Sostenible: *Adaptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*, mediante: i) el fortalecimiento de la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países, ii) la incorporación de medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales,

iii) la mejora en la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana, iv) el cumplimiento del Acuerdo de París y v) la promoción de mecanismos para aumentar la capacidad de planificación y gestión en relación al cambio climático en los países menos adelantados[...] (Rodríguez, 2018, p. 16).

Sin embargo, el concepto de cambio climático se puede definir como: "un cambio causado directa o indirectamente por la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera y complementa la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo similares" (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [CMNUCC], 1992). Dicho fenómeno está relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero que históricamente han tenido origen en países desarrollados; sin embargo, en naciones como México se presentan las consecuencias de dichas emisiones. Las emisiones de gases invernadero han provocado el cambio climático y calentamiento global.

En México, se han hecho estudios desde hace más de quince años, lo cual indica que el país es y será muy vulnerable al cambio climático, particularmente los bosques, pues podrán verse reducidos al no tener las condiciones climáticas adecuadas para su desarrollo (Conde, 2006). El panorama no es alentador si no se actúa ahora.

Ante escenarios de mayor temperatura y menor precipitación o sus distintas distribuciones, temas como sequías e incendios forestales cobran mayor importancia y deben ser abordados considerando una estrategia integral con visión de largo plazo incorporando los elementos del cambio climático. Por ejemplo, "la aplicación del concepto de resiliencia a la práctica de la adaptación al clima contribuiría a responder a algunas de las debilidades de un enfoque de predecir, prevenir y prepararse para el cambio climático; incluso en condiciones de alta incertidumbre" (Tyler y Moench, 2012, p. 312), es imprescindible considerar a las ANP como una herramienta para hacer frente o disminuir los efectos de las variantes climáticas.

Las ANP como sumideros de carbono

Los sumideros de carbono son depósitos en donde el carbono se capta de la atmósfera y se mantiene secuestrado por muy largo tiempo (Arbestain y Pinto, 2004).

El bosque proporciona importantes servicios ambientales en todo el mundo, como eliminación y almacenamiento de carbono, regulaciones sobre el agua y la conservación de la biodiversidad. Por estas razones, la conservación y la restauración de todo el bosque es prioritaria en los esfuerzos existentes para rescindir la crisis de la biodiversidad y minimizar el cambio climático; es indiscutible la capacidad de las ANP como medida de mitigación y retraso de los efectos negativos (Macías, 2004).

En gran parte, los ecosistemas secuestran dióxido de carbono, lo cual reduce la cantidad de gases atmosféricos de efecto invernadero. Este proceso se ve afectado a causa de la degradación de los hábitats. Es así que el valor de los bosques degradados en cuanto a captura de carbono es menos de la mitad que el de los bosques no degradados. En las áreas protegidas alrededor del mundo se encuentra almacenado al menos 15 % de las reservas terrestres globales de carbono. El uso de suelo forestal contiene más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra (FAO, 2001).

Por lo general, en los bosques naturales el carbono del suelo está en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación ese equilibrio es afectado. Los bosques son considerados sumideros de carbono del planeta (la biomasa de árboles de vida larga y la materia orgánica del suelo). Estos pueden servir para mitigar parcialmente las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otra parte, un número considerable de países propuso alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones acelerando la captura de carbono a través de una expansión en el tamaño de los bosques (Vargas y Yáñez, 2004). Funcionarios de varios países se comprometieron en el acuerdo de París a implementar transiciones forestales dirigidas por el gobierno (ONU, 2015a), así como a reducir las emisiones a través de la expansión forestal y una aceleración asociada en la captura de carbono.

METODOLOGÍA

Para analizar la contribución de las ANP en la disminución de los efectos de cambio climático, se realizó una investigación descriptiva y explicativa; asimismo, se planteó una revisión documental y cartográfica para realizar un análisis integral. La investigación se dividió en tres fases:

Fase 1. Se realizó una exploración del Atlas Nacional de Riesgos (ANR), específicamente el mapa de Indicadores Municipales de Peligro, Exposición y Vulnerabilidad y el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC), donde se analizaron los problemas a los que se enfrenta la población limítrofe con el parque estatal "Isidro Fabela". De igual manera, se consideró la temperatura máxima para identificar si existen variaciones climáticas con base en el ANVCC, Atlas de Riesgo del Estado de México y Atlas de Riesgos de Atlacomulco y Jocotitlán a los que pertenece el ANP.

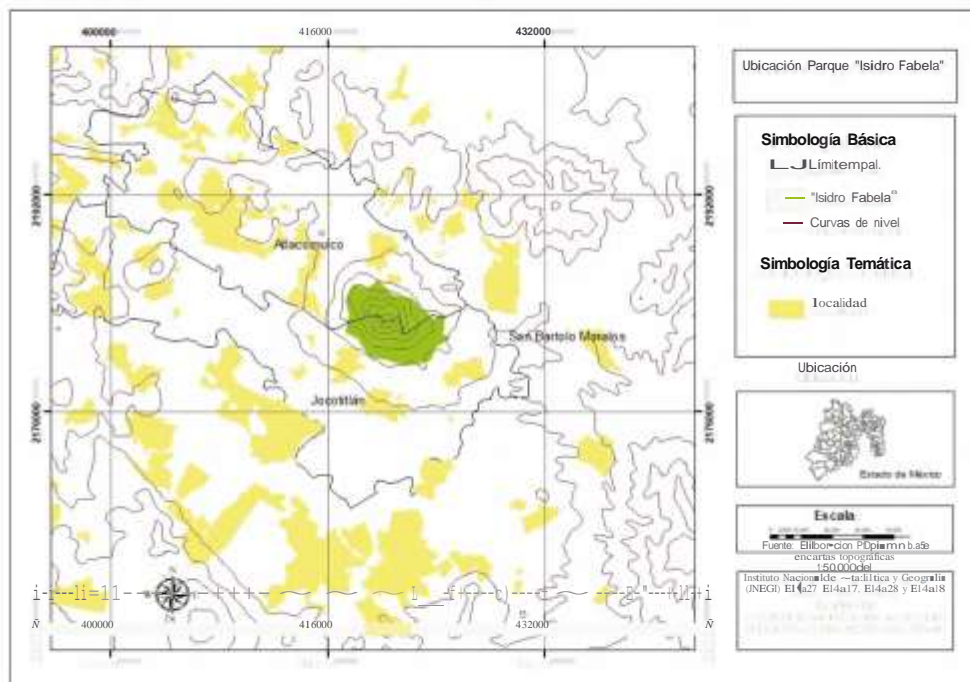
Fase 2. Se caracterizó la zona de estudio con base en los planes de Desarrollo Urbano y Atlas de Riesgos Municipales, Estatal y Federal, identificando la temperatura máxima. Asimismo, se muestreó directamente en el ANP la superficie que sirvió para calcular la captura de carbono del ANP utilizando también los programas de Arc Map y AutoCAD. Posteriormente, se identificaron las principales fuentes de emisiones de gases contaminantes con base en los Inventarios de Emisiones de Contaminantes de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

Fase 3. En esta fase se interpretaron los resultados del análisis documental y cartográfico, y se emitieron las conclusiones correspondientes.

ZONA DE ESTUDIO

El parque "Isidro Fabela" está ubicado entre los municipios de Atlacomulco, Jocotitlán y San Bartolo Morelos al norte del Estado de México (Mapa 1); fue declarado Parque Estatal el 8 de febrero de 1975, por decreto publicado en la *Gaceta de Gobierno*; cuenta con una extensión de 3 701 ha, predomina un clima templado con temperaturas de 12 a 14 °C, el régimen de propiedad es ejidal, comunal y particular; se encuentra dentro de una zona montañosa con una elevación de aproximadamente 3 953 metros sobre el nivel del mar. Dicho parque brinda servicios ecosistémicos a las localidades cercanas.

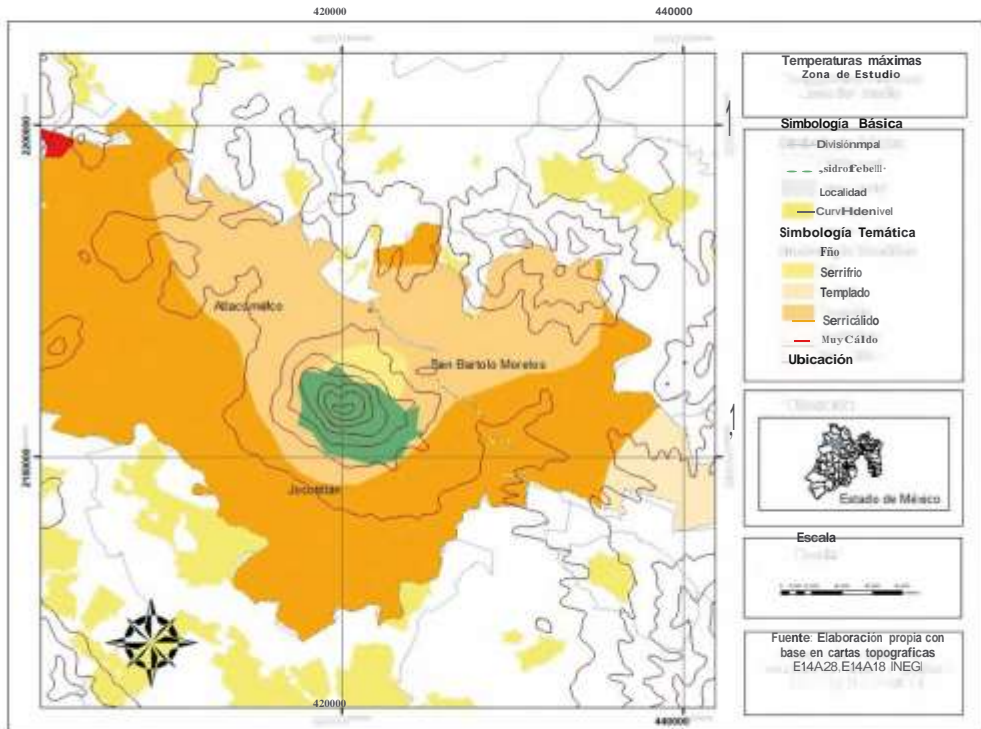
Mapa I. Ubicación Parque Estatal "Isidro Fabela"



Fuente: elaboración propia con base en cartas topográficas 1:50,000 del INEGI E14a27 E14a17, E14a28 y E14a18.

Para definir cómo se relacionó el ANP con la disminución de los efectos del cambio climático, primero se analizó el riesgo de temperaturas altas. Este análisis mostró que el clima es templado subhúmedo, que se caracteriza por ser clima de regulación, es decir, no existe variación en la temperatura extrema; sin embargo, su condición de subhúmedo indica periodos de aridez o sequía, que sin llegar a ser extremos pueden afectar el funcionamiento normal de un ecosistema (Sedatu, 2015). Con base en AREM (2019), en la parte central del ANP, las temperaturas extremas altas son de 23 a 25 °C, en la parte media 31-33 °C y en la parte colindante con las comunidades aledañas, 33 a 35 °C, eso reflejó que entre más cerca se esté del ANP la temperatura es más baja, por lo que el riesgo de olas de calor es casi nula en las comunidades pertenecientes a Atlacomulco, Jicotitlán y San Bartolo Morelos (Mapa 2).

Mapa 2. Temperaturas máximas



Fuente: elaboración propia con base en cartas topográficas E14a28, E14a18, E14a17 y E14a27 (INEGI, 2021; Conabio, 2021).

El Parque Estatal "Isidro Fabela" representa una forma de adaptación al cambio climático a nivel local, ya que regula la temperatura y protege el entorno. La temperatura en general es templada en las localidades cercanas al ANP, e incrementa conforme se va alejando del polígono de conservación. Asimismo, existe captura de CO₂ mediante la fotosíntesis, fijándolo en los troncos y raíces de los árboles propios del lugar. La vegetación arbórea del ANP está dominada por bosque de clima templado cuyo género dominante es *Pinus* y *Quercus*.

La captura de carbono puede variar dependiendo el volumen de la biomasa y alcanza a variar según las especies y características, para el caso del parque "Isidro Fabela" es denso en la parte central, representado por bosque de pino-encino (Imágenes 1 y 2), por lo que específicamente en esa zona hay mayor captura de CO₂.

Imagen 1. Bosque de encino (Quercus) Parque "Isidro Fabela" (encino)



Imagen 2. Bosque de pino (Pinus) Parque "Isidro Fabela" (pino)



Con base en el análisis anterior, se establece que el bosque de pino captura más CO₂ en comparación con el bosque de encino, esto se muestra en el siguiente cuadro.

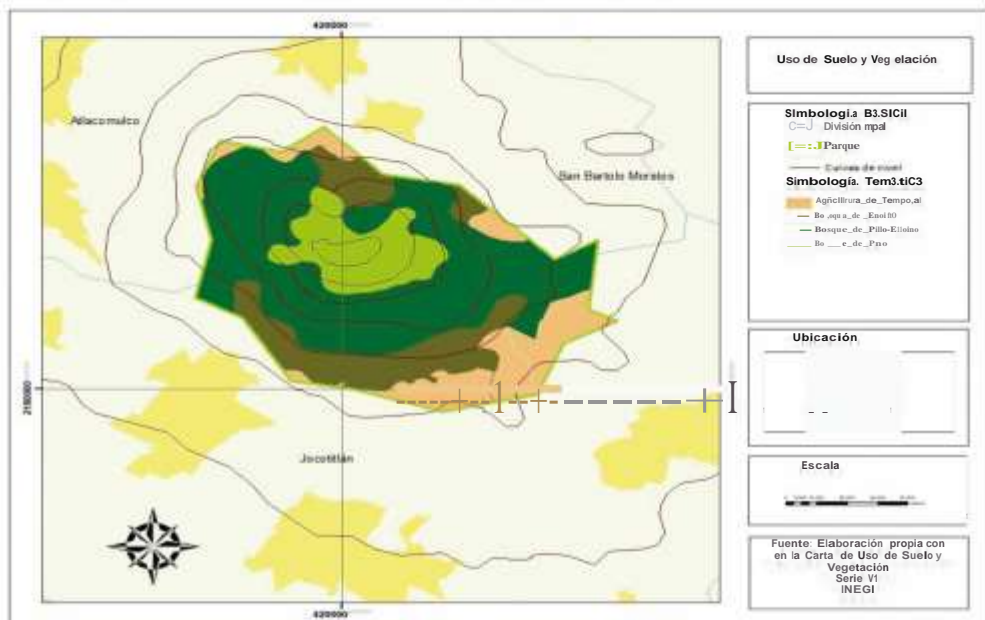
Cuadro 1. Captura unitaria de carbono por opción de mitigación en bosques mexicanos

Opción	Carbono en	Carbono	Carbono en	Carbono	Carbono en	Carbono	Secuestro neto de C	
	veg.	en veg.	Vég. materia en	en el	prod.	total	Alta	Baja
	(t C/ha)	(t C/ha)	descomposición	suelo. (t	(t C/ha)	unitario	(Tt/ha)	(Tt/ha)
			(t C/ha)	C/ha)		(t C/ha)		
Bosque de pino	56	43	4	109-120	nd	169-180	86	80
Bosque de encino	39	30	3	30-120	nd	72-162	69	33

Fuente: INECC (2013).

En el parque "Isidro Fabela" la vegetación arbórea predominante es el bosque de pino• encino con una superficie de 1 831.04 ha (Mapa 3). En el polígono que pertenece al bosque de encino las especies dominantes pertenecen a *Quercus rugosa*, *Quercus laeta* y *Quercus mexicana*, con alturas promedio entre 15 y 25 metros, y suelen ir acompañadas por especies de los géneros *Arbutus*, *Buddleia*, *Alnus* y *Cupressus*. La especie arbórea de *pinus* cuenta con alturas promedio de 20 y 30 metros. Estos se encuentran en su mayor parte en las laderas de la zona montañosa, a partir de elevaciones de 2 800 y alcanza altitudes de hasta 3 800 msnm. El bosque de pino suele estar asociado con el oyamel (*Abies religiosa*) para formar rodales en los que ni el *Pinus* ni el *Abies* resultan claramente dominantes (Sedatu, 2013).

Mapa 3. Uso de suelo y vegetación



Fuente: elaboración propia con base en Carta de uso de suelo y vegetación del INEGI, serie VI, Escala 1:250,000.

El bosque de coníferas, característico del Parque Estatal "Isidro Fabela", compone un microclima regulado por diversos procesos biofísicos y de notable escala para el crecimiento y la supervivencia de la vegetación del sotobosque y las plantas procedentes de semillas. El tronco y las ramas del encino y el pino resguardan, parcialmente,

las áreas cercanas al suelo de la radiación solar. Como consecuencia, se regula la temperatura de la zona.

Se considera que un árbol maduro, independientemente de su especie, captura alrededor de 10 a 30 kg de CO₂ al año (Enríquez, 2018); se calculó un aproximado de árboles en el ANP "Isidro Fabela" con una muestra de 1 ha (10 000/ 3.5) del siguiente polígono, que da como resultado 2 875.14 árboles por ha. Se multiplicó por las 3 701 ha de superficie del ANP, en total se tienen 10 640 893.1 árboles en el ANP. Se consideró el mínimo de captura de carbono que es 10 kg/año. En total, el ANP captura un aproximado de 106 408.93 TC anual.



Imagen 3. Muestra



Imagen 4. Satelital de muestra (1 ha.)

Fuente: Imagen satelital, manipulada en AutoCAD 2021.

Cuadro 2. Coordenadas UTM de la muestra

x	y
417 347.19	2 183 131.61
417 805.61	2 182 260.10
418 768.13	2 182 709.63
418 370.00	2 183 595.00

Fotografía: Angélica Reyes, 21 de junio de 2021.

Fuente: elaboración propia con base en coordenadas UTM, AutoCAD2021.

Con base en lo anterior, el ANP "Isidro Fabela" estaría capturando aproximadamente 106 408.93 TC/ha anual, donde las principales fuentes de emisiones de la zona circundante provienen de fuente de emisiones aéreas correspondientes a actividades agropecuarias; las PM 10 son de aplicación de fertilizantes y plaguicidas; en segundo

lugar, están las emisiones de fuentes móviles, provenientes del parque vehicular de la zona; en tercer lugar, fuentes fijas representadas por almacenamiento y transporte de derivados de petróleo y, por último, las fuentes naturales de emisiones biogénicas (INEM, 2016).

CONCLUSIONES

- Aunque las emisiones de gases de efecto invernadero de la zona de estudio son bajas, ni siquiera alcanzan el 0.0001 % de las emisiones totales globales; sin embargo, los impactos del cambio climático han ido creciendo en las últimas dos décadas, manifestándose en cambios en el clima local que cada vez serán más frecuentes y se incrementarán en magnitud e intensidad, como las sequías, el aumento de temperatura y el estrés hídrico.
- Respecto al incremento de la temperatura, tienden a acrecentar los incendios forestales y a desequilibrar los bosques. Cuando se afectan zonas de bosques por incendios, su descomposición libera dióxido de carbono y metano al aire, lo que realimenta el calentamiento global.
- El cambio climático que se experimenta en la actualidad es un fenómeno provocado por el aumento de gases de efecto invernadero; las ANP son un instrumento para hacer frente a este fenómeno, a través de los servicios ambientales que proporcionan.
- Es importante que el manejo del ANP Parque Estatal "Isidro Fabela" deba orientarse a salvaguardar las especies forestales que ahí albergan con el objetivo de mantener su potencial de secuestro de carbono, así como el valor de su biodiversidad. La restauración se convertirá en una importante herramienta de gestión en el área de conservación, ya que garantiza el servicio de captura de CO_2 .
- Las ANP resguardan la integridad de los ecosistemas, moderan el efecto del clima local y atenúan tanto los riesgos como los impactos de eventos climáticos extremos, como las tormentas, las sequías y el elevamiento del nivel del mar. El ANP, Parque Estatal "Isidro Fabela", cuenta con potencial de captura de carbono, por lo que es vital preservarlo. Es importante mantener un límite de los asentamientos humanos cercanos al polígono para lograr que

siga proporcionando los servicios ambientales de regulación de temperatura y captura de carbono, principalmente.

REFERENCIAS

- Arbestain, M. C., y Pinto, M. (2004). Los sumideros de carbono en el marco del protocolo de Kioto. *EDAFOLOGÍA*, 11(1), 27-36.
- AREM. (2019). *Atlas de Riesgos del Estado de México*. http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/AtlasEstatales/?&NOM_ENT=México&CVE_ENT=15
- Conabio. (24 de marzo de 2021). *Portal de Información Geográfica-Conabio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Conanp. (2020). *Resiliencia para Áreas Protegidas*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/500395/Factsheet_GEF_Resiliencia.pdf
- Conde, C. (2006). *México y el cambio climático global*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. En *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el el cambio climático*. [https://doi.org/FCCC/INFORMAL/84.GE.05-62301\(S\)220705220705](https://doi.org/FCCC/INFORMAL/84.GE.05-62301(S)220705220705)
- Delgado, G. C., Gay, C., Imaz, M., y Martínez, M. A. (coords.) (2010). *México frente al cambio climático, retos y oportunidades*. http://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/ceiich-unam/20170502052756/pdf_1468.pdf
- Enrich, P. A., Gaxiola, A., Lúcia, A., Durán, J., Rodríguez, A., y Marotta, H. (n.d.). *Capítulo 6 Ciclos biogeoquímicos y cambios globales*. Retrieved December 27, 2021. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1368257/FULLTEXT01>
- Enríquez, Á. de S. (2018). ¿Cuánto carbono secuestra un árbol? *Foresta*, 16. <https://www.forestales.net/Canales/Ficha.aspx?IdMenu=66947309-987f-4bff-808d-4e7e974ccaf8&Cod=31352f94-8ddf-4fa3-91cf-8baeafb47f3&Idioma=es-ES>
- FAO. (2001). *El cambio climático y los bosques*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/Y0900S/y0900s06.htm>

- GEM. (22 de octubre de 1975). *Decreto Parque Estatal "Isidro Fabela" Gobierno del Estado de México (GEM)*. *Gaceta de Gobierno*. [https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/PE-12 LIC_ ISIDRO FABELA\(DT\).pdf](https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/PE-12 LIC_ ISIDRO FABELA(DT).pdf)
- GEM. (2011). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de [ocotitlan, Estado de México*. http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/jocotitlan/PMDUJOCO.pdf
- INECC. (2013). *Emisiones y captura de carbono en México*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap3.html>
- INECC. (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático: Ficha técnica por problemática para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático*. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0577-2>
- INEM. (2016). *Inventarios de emisiones de contaminantes Criterio 2016, Semarnat. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://gisviewer.semarnat.gob.mx/wmapplicacion/inem/n-cc>.
- ipcc. (2021). *ipcc-Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Macías, F. (2004). Sumideros de carbono para el forzamiento climático Antropoceno. Una visión de alternativas de actuación desde la ciencia del suelo. *EDAFOLOGIA*, 11(1), 7-25. https://www.secs.com.es/data/Revista_edafo/11-1/articulo_1.pdf
- ONU. (2015a). *EIAcuerdo de París*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- ONU. (2015b). *Objetivos de Desarrollo: de los ODM los ODS*. Organización de las Naciones Unidas. <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>
- Peralta, R. A. (2020). *Deshielo, el calentamiento global como proceso gráfico*. https://oa.upm.es/63069/1/TFG_Jun20_Peralta_Rodriguez_Andrea_1de2.pdf
- PNUMA. (2015). *El Acuerdo de París y sus implicaciones para América Latina y el Caribe*. http://www.pnuma.org/cambio_climatico/publicaciones/AcuerdodeParís-SumarioEjecutivo.pdf
- Rodríguez, Y. (2018). *Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana*. www.cepal.org/es/suscripciones
- Sedatu. (2013). *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Atlacomulco 2013*.
- Sedatu. (2015). *Programa de Ordenamiento Territorial del Municipio de [ocotitlan, Estado de México*. <http://municipium.mx>
- Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*. 4(4), 311-326.

- Vargas, A. M. A., y Yañez, S. A. (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? *Gaceta Ecológica*, 12-15. <https://studylib.es/doc/2867178/la-captura-de-carbono-en-bosques--una-herramienta-para-l->
- Velázquez de Castro, F. G. (2005). Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias: compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_jartext&scid=S1135-57272005000200007
- WWF. (2019). *Declaración de WWF sobre el Reporte de Riesgos Globales 2019 del Foro Económico Mundial*. WWF. https://wwf.panda.org/wwf_news/?341550/Reporte-de-Riesgos2019