



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**Repercusiones del cambio climático y del cambio de
uso de suelo en el Santuario de las Luciérnagas,
Nanacamilpa, Tlaxcala.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A:

CARLA ISABEL ARREGUÍN MAGAÑA

**ASESORA DE TESIS:
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA**

Ciudad Universitaria, CDMX.

Mayo, 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por todo el apoyo otorgado durante este trabajo y por permitirme formar parte de esta institución para crecer personal y profesionalmente.

Al proyecto **PAPIIT - DGAPA IN-308220** “Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca” por los viáticos otorgados para el trabajo de campo y por la beca aportada mientras formé parte de éste donde la responsable es la Dra. Leticia Gómez Mendoza.

A la **Universidad de Arizona** y a la **USA – National Phenology Network** por la oportunidad de realizar mi estancia académica. Es para mí un privilegio poder participar, colaborar e intercambiar experiencias.

A mis **sinodales** por su aportación y comentarios al proyecto.

A la **Dra. Leticia Gómez Mendoza**, quien fue asesora de este proyecto y siempre creyó en mí y en mi potencial. Gracias por ser excelente profesora y persona.

Al **Dr. Enrique Muñoz**, quien innumerables ocasiones me asesoró en los ejes medulares de esta investigación.

A la **Dra. Erika Reyes**, por su apoyo y acompañamiento durante la realización de esta investigación y para mi estancia académica en la USA – National Phenology Network.

Al **Sr. Domingo Morales Juárez y al equipo del Santuario de las Luciérnagas**, quienes siempre mantuvieron las puertas abiertas y colaboraron y aportaron su conocimiento. Siempre es bien valorado.

A **Magdalena Taboada, Pedro Antonio Zamora, Domingo Morales Juárez y Diego Salvador Flores**, quienes tomaron y compartieron sus experiencias en el taller sobre monitoreo fenológico, cambio climático y de uso de suelo impartido por la Dra. Leticia

Gómez Mendoza, la Mtra. Erika Rocío Reyes González, el Geog. Marco Zavala Morán y la autora de esta tesis.

Al biólogo **Daniel Ocaña**, quien ayudó en el procesamiento de los datos de uso de suelo y vegetación.

A **mis compañeros** que forman parte de la Red Nacional de Fenología MX, por todos los buenos momentos y por su compañía en los trabajos de campo y en los eventos donde se presentó el proyecto de la Red.

A **mis amigos y amigas**, quienes, desde inicios de la carrera, fueron incondicionales.

Gracias por los tantos recuerdos y por estar conmigo en los buenos y malos momentos.

A mis amigas **Raquel, Marión y Valeria**, quienes siempre han estado a mi lado durante tantos años. Valeria, gracias por aportar tu arte a este trabajo.

A **Aldo y su familia**, por recibirme siempre en su casa con los brazos abiertos y por incluirme como parte de la suya.

A mi familia, **Adriana, Roberto y Diego** que, sin su apoyo, esto no hubiera sido posible.

Gracias por su amor y por creer en mí.

I would like to express my special gratitude to the **USA – National Phenology Network and the whole team** for giving me the chance to do my internship program here. It is an honor for me to participate and collaborate somehow in this project. Thank you, **Erin**, for accepting and being such an amazing tutor and person. I could not be happier with this experience.

Gracias a todas aquellas personas que, de alguna forma, estuvieron presentes en esta etapa de mi vida y aportaron en mi trabajo y persona.

Gracias a cada uno de ustedes.

Dedicatoria

Para **el equipo del Santuario de las Luciérnagas**, esperando que este trabajo les sea de utilidad y aporte a su conservación. Este proyecto es mi granito de arena.

Para mi abuelo **Barbarín** quien, desde que tengo uso de memoria, fue mi inspiración y modelo a seguir.

Gracias por tu amor y dedicación a la ciencia y a tu familia.

Para ti, hasta donde estés.

Tabla de contenidos

Agradecimientos	II
Dedicatoria	IV
Tabla de contenidos	V
Tabla de figuras	VII
Tabla de cuadros	IX
Resumen	X
Abstract	XI
Introducción	XII
Planteamiento del problema	XII
Justificación.....	XII
Hipótesis.....	XIII
Objetivo General	XIII
Objetivos Particulares	XIV
Metodología general.....	XIV
Capítulo 1. Planteamientos cognoscitivos de la fenología y ciencias derivadas	1
1.1. Aproximaciones teórico-conceptuales	1
1.2. Precedentes investigativos.....	4
Capítulo 2. Panorama y caracterización geográfica de la luciérnaga	13
2.1. Características biológicas.....	13
2.2. Las condiciones ambientales óptimas para la luciérnaga.....	15
2.3. Contexto actual de las luciérnagas y su hábitat en el mundo	16
2.4. Antecedentes históricos del Santuario de las Luciérnagas en Tlaxcala	27
2.5. Condiciones físico-geográficas y socioeconómicas del territorio correspondiente al Santuario de las Luciérnagas.....	39
Capítulo 3. Cambios en los patrones climatológicos y de uso de suelo en el Santuario de las Luciérnagas	43
3.1. Patrones climatológicos distintivos y escenarios de cambio climático.....	43
3.2. Cambio de uso de suelo.....	74
3.3. Percepción social de la comunidad de Nanacamilpa y de los turistas sobre las condiciones actuales del Santuario de las Luciérnagas.....	86
Discusión	93
Impactos del turismo	93
Impactos del clima actual y futuro	95
Tendencias de la pérdida de cobertura forestal e impacto	96

Recomendaciones.....	101
Conclusiones	109
Referencias.....	114
Anexos	123
Anexo 1. Formato de entrevistas para el personal y los turistas del Santuario de las Luciérnagas	123
Anexo 2. Propuesta de protocolo de monitoreo fenológico para centros de avistamiento de luciérnagas con base en las recomendaciones de la Red Nacional de Fenología USA – NPN de Estados Unidos	128
Anexo 3. Artículo de divulgación científica: “Encendiendo las luces: una llamada para salvar a las luciérnagas”	131

Tabla de figuras

Figura I.1	XVII
Figura I.2	XVII
Figura I.3	XVIII
Figura 1.1	5
Figura 1.2	6
Figura 2.1	14
Figura 2.2	17
Figura 2.3	19
Figura 2.4	20
Figura 2.5	22
Figura 2.6	23
Figura 2.7	24
Figura 2.8	25
Figura 2.9	25
Figura 2.10	26
Figura 2.11	26
Figura 2.12	28
Figura 2.13	29
Figura 2.14	31
Figura 2.15	32
Figura 2.16	40
Figura 2.17	41
Figura 3.1	44
Figura 3.2	45
Figura 3.3	47
Figura 3.4	48
Figura 3.5	49
Figura 3.6	50
Figura 3.7	50
Figura 3.8	51
Figura 3.9	52
Figura 3.10	52
Figura 3.11	53
Figura 3.12	55
Figura 3.13	56
Figura 3.14	56
Figura 3.15	58
Figura 3.16	58
Figura 3.17	58
Figura 3.18	58
Figura 3.19	59
Figura 3.20	60
Figura 3.21	60
Figura 3.22	61
Figura 3.23	61

Figura 3.24	62
Figura 3.25	62
Figura 3.26	64
Figura 3.27	64
Figura 3.28	65
Figura 3.29	66
Figura 3.30	66
Figura 3.31	67
Figura 3.32	68
Figura 3.33	69
Figura 3.34	71
Figura 3.35	71
Figura 3.36	71
Figura 3.37	71
Figura 3.38	72
Figura 3.39	72
Figura 3.40	73
Figura 3.41	73
Figura 3.42	73
Figura 3.43	73
Figura 3.44	75
Figura 3.45	75
Figura 3.46	75
Figura 3.47	75
Figura 3.48	76
Figura 3.49	76
Figura 3.50	78
Figura 3.51	78
Figura 3.52	79
Figura 3.53	80
Figura 3.54	81
Figura 3.55	82
Figura 3.56	82
Figura 3.57	83
Figura 3.58	83
Figura 3.59	84
Figura 3.60	85
Figura 3.61	86
Figura 3.62	88
Figura 3.63	88
Figura 3.64	88
Figura 3.65	88
Figura 3.66	88
Figura 3.67	88
Figura 3.68	89
Figura 3.69	89
Figura 3.70	90

Figura 3.71	90
Figura 3.72	91
Figura 3.73	91
Figura 3.74	92
Figura 3.75	92
Figura 4.1	100
Figura 4.2	101
Figura 4.3.	107

Tabla de cuadros

Tabla 3.1	43
Tabla 3.2.....	54

Resumen

Algunas de las mayores amenazas que la biodiversidad enfrenta actualmente son el cambio climático y la fragmentación del hábitat, trayendo consecuencias a nivel ecosistémico y económico. El Santuario de las Luciérnagas no es la excepción, pues los recursos de los que depende están siendo afectados y, específicamente, las luciérnagas, por su alta sensibilidad a los cambios de temperatura y humedad. El propósito de esta investigación fue analizar la manera en la que el cambio climático y el cambio de uso de suelo han afectado a poblaciones de luciérnaga en este recinto, considerando que representan una derrama económica importante para las comunidades que subsisten de ellas y de su hábitat. El estudio abarcó una metodología mixta en la que se incluyó, primeramente, análisis estadístico sobre datos climatológicos y de poblaciones, donde se consideraron diferentes escalas espaciales y temporales. A la par, se ejecutó la interpretación de cartografía sobre uso de suelo para la caracterización actual y futura del territorio. Por último, se llevó a cabo el trabajo de campo, donde se aplicaron entrevistas a guías locales y turistas para conocer las necesidades tanto de los habitantes como de los bosques. Los resultados arrojaron incrementos de temperatura de hasta uno a dos grados centígrados en los próximos años y decrementos en precipitación por hasta 20 milímetros (mm), aunado a la fragmentación del hábitat de hasta 2.5% con respecto al total de la superficie del municipio de Nanacamilpa, siendo todo ello incompatible para el desarrollo de las luciérnagas. Por esta razón se proponen algunas recomendaciones como medidas de adaptación y mitigación frente a las problemáticas medioambientales para mantener a las especies.

Palabras clave: cambio climático, cambio de uso de suelo, luciérnaga, Nanacamilpa, Tlaxcala.

Abstract

Some of the biggest threats that biodiversity currently faces are climate change and habitat fragmentation, bringing consequences at the ecosystem and economic levels. The Firefly Sanctuary is no exception, as the resources on which it depends are being affected and, specifically, fireflies, due to their high sensitivity to changes in temperature and humidity. The purpose of this research was to analyze the way in which climate change and land use change have affected firefly populations in this enclosure, considering that they represent an important economic benefit for the communities that subsist on them and their habitat. The study covered a mixed methodology that included, first, statistical analysis on climatological and population data, where different spatial and temporal scales were considered. At the same time, the interpretation of cartography on land use was executed for the current and future characterization of the territory. Finally, fieldwork was carried out, where interviews were applied to local guides and tourists to know the needs of both the inhabitants and the forests. The results show temperature increases of up to one to two degrees Celsius in the coming years and decreases in precipitation by up to 20 millimeters (mm), coupled with the habitat fragmentation of up to 2.5% with respect to the total area of the municipality of Nanacamilpa, all of which are incompatible for the development of fireflies. For this reason, some recommendations are proposed like adaptation and mitigation measures against environmental problems to maintain the species.

Keywords: climate change, land use change, firefly, Nanacamilpa, Tlaxcala.

Introducción

Pregunta de investigación

¿El cambio climático actual y los cambios en la cobertura del suelo han repercutido negativamente en el Santuario de las Luciérnagas?

Planteamiento del problema

El Santuario de las Luciérnagas se localiza en el municipio de Nanacamilpa, Tlaxcala y comprende un total de 23 centros de avistamiento registrados distribuidos en 600 hectáreas. El santuario está destinado a la conservación del hábitat de las especies de luciérnaga desde hace décadas, pero fue hasta 2010 que se otorgó su primera certificación como Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVVC) por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (CONANP, 2019). Las especies y subespecies de luciérnaga, por sus características biológicas, necesitan de ciertas condiciones ambientales para su subsistencia, entre las más importantes, precipitación y humedad constante. Sin embargo, en los últimos 20 años y como consecuencia del cambio climático y cambio de uso de suelo, se ha visto que las poblaciones de luciérnaga cada vez son menores, por lo que puede estar asociado a los cambios en la temperatura y precipitación que han afectado a estas especies. Esto ha generado, de igual manera, un riesgo para la economía de la población, ya que ésta depende del turismo que llega a la zona para visitar y vislumbrar los paisajes nocturnos que conforman las luciérnagas, gracias a su bioluminiscencia.

Justificación

El estudio de los efectos provocados por el cambio climático y el cambio de uso de suelo en el hábitat de las luciérnagas puede brindar un panorama general sobre la situación actual y

futura de estos insectos en la región centro de México, por lo que se pueden adoptar medidas de mitigación y adaptación oportunas tanto para las especies como para la población que depende de los recursos generados en el Santuario de las Luciérnagas. La luciérnaga, además de ser parte de la actividad turística generada en el lugar, también se le denomina bioindicadora de ambientes sanos gracias a la poca tolerancia hacia las alteraciones de su hábitat y se considera una depredadora esencial cuando se encuentra en estado larval (Lloyd et al., 1989, citado en Maquitico y Carrillo, 2019), lo cual puede ser de gran utilidad en actividades agrícolas para el control de plagas. En otras latitudes ha tomado un papel importante en la rama biomédica debido a las propiedades de su brillo (Fallon, et al., 2019). Por estas razones es que los trabajos de investigación enfocados a su conservación son imprescindibles. La perspectiva climatológica y de la geografía ambiental ayudan a entender los cambios perpetrados y la magnitud de éstos a través de la dinámica generada alrededor del hábitat de la luciérnaga.

Hipótesis

Los cambios en los patrones de temperatura y precipitación en el Santuario de las Luciérnagas, Tlaxcala han repercutido perjudicialmente a las especies de luciérnaga que habitan allí debido a los efectos del cambio climático y de las alteraciones del uso de suelo que se han observado desde el año 2000.

Objetivo General

Revelar las repercusiones en las especies de luciérnaga a través de los efectos generados por el cambio climático y cambio de uso de suelo en el Santuario de las Luciérnagas.

Objetivos Particulares

1. Distinguir las aproximaciones teórico - conceptuales referentes a la fenología tanto de la luciérnaga como de su hábitat.
2. Identificar las condiciones ambientales óptimas que requiere la población de luciérnagas para su subsistencia.
3. Comparar la climatología actual y futura del Santuario de las Luciérnagas para el periodo de años del 2000 a 2100.
4. Explicar las afectaciones en el cambio de uso de suelo en el periodo de años del 2000 a 2020 en las poblaciones de luciérnagas.
5. Analizar la manera en la que el cambio climático y el uso de suelo han repercutido directamente en las especies y subespecies de luciérnagas y su impacto en la comunidad del santuario de Nanacamilpa, Tlaxcala.
6. Presentar recomendaciones de conservación y restauración del hábitat como medidas de mitigación y adaptación ante las condiciones medioambientales presentes.

Metodología general

La metodología que se siguió para la elaboración de este trabajo se basó en cinco pasos fundamentales: búsqueda y selección bibliográfica, recopilación de datos estadísticos, trabajo de campo en el área de estudio, análisis comparativo y elaboración de cartografía. Cada uno se describe a continuación.

1. Búsqueda y selección bibliográfica

La selección de las obras con especial interés en esta investigación se centró, primeramente, en exponer las características biológicas de las luciérnagas, las cuales incluyen su fisonomía,

su ciclo vital y su hábitat, enfatizando en aquellos elementos donde incide el clima. De esta manera, se pudo elucidar sobre las condiciones medioambientales favorables para las especies, enmarcando su rango de tolerancia ambiental y los patrones de temperatura y precipitación ideales para su hábitat. Con esto en cuenta, se visualizó el contexto nacional e internacional de los avistamientos de luciérnaga. Dentro de la escala nacional, se enfatizó sobre el Santuario de las Luciérnagas y las condiciones ambientales y socioeconómicas que dotan al lugar del medio propicio para el ciclo biológico de la luciérnaga. Por último, se revisó en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2008) y otros instrumentos jurídicos sobre la denominación de un Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC), sobre todo al que concierne el Santuario de las Luciérnagas. También se incluyó un marco histórico en el que se hace referencia a los antecedentes que llevaron a la denominación de carácter jurídico a este santuario.

2. Recopilación de datos estadísticos

La recopilación de datos estadísticos se efectuó desde tres ejes: climatología, uso de suelo y vegetación y registros biológicos de luciérnaga. El primero se basó en la captura de datos obtenidos de la plataforma del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), donde se procesó la información de las estaciones climatológicas más cercanas a la zona de estudio y a su periodo temporal de registro. Se consideraron las normales climatológicas, los datos diarios y los valores mensuales de cada una de ellas, además de los datos disponibles para las condiciones de sequía. Por último, se obtuvieron los escenarios de cambio climático del Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático por parte del Banco Mundial (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Se utilizó la cartografía de uso de suelo y vegetación de las series III y VII con escala 1:250,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) obtenidas del Geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>). La información del uso de suelo y vegetación se procesó por medio de Sistemas de Información Geográfica tanto para la caracterización territorial como para la matriz de transición de cambio de uso de suelo. Con ello, se calcularon las ganancias y pérdidas de la cobertura vegetal que se presentaron en el área de estudio en un periodo de aproximadamente 20 años y se desarrollaron los diagramas de sucesión.

Para los registros biológicos, se analizaron las bases de datos del Sistema Nacional de Información Biológica (SNIB) (<https://snib.mx/>) y de aquellas que se crean a partir de ciencia ciudadana, como es la página de Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>) y de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (<https://www.gbif.org/>). De esta forma, se pudo obtener información con respecto a los avistamientos de esta familia taxonómica y su distribución dentro y fuera del país.

3. Trabajo de campo en el área de estudio.

Se llevó a cabo una visita preliminar al centro de avistamiento Santa Clara, los días 2 y 3 de abril del año 2022, con el objetivo de obtener información acerca de los habitantes, su dinámica de trabajo en el santuario, de los conocimientos que éstos poseen de su entorno, así como de la percepción de los elementos ambientales del área. Algunos de estos datos fueron procesados y analizados a través de entrevistas en formato virtual y algunos otros se

obtuvieron de manera directa en campo. El primer día se realizó un taller informativo y de capacitación a quienes estuvieran interesados en saber sobre el monitoreo fenológico y su posible implementación en la zona de estudio (figura I.1). En dicho taller se impartieron los conceptos de cambio y variabilidad climática, qué es el monitoreo fenológico, su función e implementación en especies de fauna y, finalmente, sobre los cambios de uso de suelo y de clima y sus efectos en las poblaciones de luciérnaga, esto último como resultado de algunos avances de esta investigación. Dada la dificultad de contar con datos climatológicos en el sitio de estudio, se optó por instalar equipos meteorológicos para contar con estadísticas que estuvieran más allegadas a la realidad. Se colocó dentro del bosque un sensor de temperatura y humedad marca Extech modelo RHT10 y cercano a la zona de estudio, una estación meteorológica automática marca Acur-Rite (figura I.2.y I.3), la cual mide temperatura, precipitación y viento.

Figura I.1

Taller de fenología y cambio climático en el Santuario de las Luciérnagas



Créditos: E. Muñoz, 2022.

Figura I.2

Instalación de estación meteorológica cerca del área de estudio en Nanacamilpa, Tlaxcala.



Créditos: E. Muñoz, 2022.

Figura I.3

Taller de fenología y cambio climático en el Santuario de las Luciérnagas



Créditos: E. Muñoz, 2022.

La segunda salida de trabajo de campo se realizó en temporada de avistamiento de luciérnaga, durante los días 16 y 17 de julio del año 2022. Esta salida tuvo por objeto principal verificar el correcto funcionamiento de los equipos meteorológicos y de monitoreo instalados durante la primera visita y realizar un monitoreo de las poblaciones de luciérnaga. De acuerdo con el Dr. Santiago Zaragoza (comunicación personal, 2022), el conteo de poblaciones de luciérnagas se realiza con un seguimiento fotográfico, ya que es el único método sugerido que no provoca daños al insecto. Sin embargo, dada la dificultad técnica de contar con equipos especializados, no fue posible realizar el conteo de poblaciones. El monitoreo de poblaciones no solamente debe ser realizado con fotografía digital nocturna, sino que también se requiere de softwares específicos para el análisis de las imágenes. Además, es necesario instalar ciertos equipos para que el conteo sea favorable, como pueden ser cajas de luz u otras técnicas de atracción (Kirton, et al., 2012; Khoo, et al., 2012). Durante este trabajo de campo se continuó con la aplicación de entrevistas a los guías, habitantes y, aprovechando su afluencia, a los turistas que visitaban el santuario en estos días. Las entrevistas a los turistas se aplicaron posterior al avistamiento en campo, considerando que éstas buscaban resaltar la percepción de las personas ante el clima, la población de luciérnagas y el manejo de los recursos.

4. Análisis comparativo

Con la recopilación de material bibliográfico y de los datos estadísticos, se analizaron las condiciones climatológicas y de uso de suelo pasadas, presentes y futuras mediante gráficas y recursos visuales generados. En el caso de los datos poblacionales para las especies, también se hizo un recuento histórico y actual y se comentó su posible situación futura considerando las variables ambientales. Esto también estuvo acompañado de la interpretación de la información recabada en campo y de las entrevistas realizadas. Con ello, se pudieron observar los impactos causados al medio en cuestión y las posibles acciones a llevar a cabo.

5. Elaboración de cartografía

Con base en los tres ejes de la recopilación de datos estadísticos, se realizó la cartografía correspondiente al área de estudio sobre la caracterización territorial, la matriz de cambio de la vegetación y sobre los registros de luciérnaga en México y el mundo. Con ello, también se generaron diagramas de sucesión que explican los diferentes usos de suelo de un tiempo a otro.

Capítulo 1. Planteamientos cognoscitivos de la fenología y ciencias derivadas

1.1. Aproximaciones teórico-conceptuales

El cambio climático se define como una variación en el estado del clima identificable en las variaciones de su valor medio o en sus propiedades, persistentes durante periodos prolongados. A lo largo de la historia del planeta Tierra, han existido cambios climáticos graduales y abruptos causados por diversos fenómenos atribuidos a factores naturales internos o por factores externos (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2018). Entre estos últimos, están aquellos que son provocados de manera antropogénica desde la Revolución Industrial y que son los que ahora determinan el cambio climático actual. Así, éste es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana (Organización Mundial de las Naciones Unidas [ONU], 1992), el cual invariablemente ha demostrado tener efectos adversos sobre el medio ambiente y la biota que perjudican "...la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos" (ONU, 1992, p.3).

La crisis climática no es la única responsable de las consecuencias que se han dado a nivel ecosistémico, sino también la constante alteración del uso de suelo. La catalogación que se le da a una superficie de tierra para su explotación se le define como el uso de suelo (Lambin y Geist, 2003, citado en Alanís, 2018), mientras que el cambio de uso de suelo se define como "... la transformación de la cubierta vegetal original para convertirla a otros usos o degradar la calidad de la vegetación modificando la densidad y la composición de las especies presentes." (DOF, 2019). Éste es considerado una de las mayores problemáticas ecológicas a nivel mundial, ya que la competencia por el uso de suelo con fines económicos

ha llevado a la fragmentación de hábitats de miles de especies, posicionándose como la principal causa de pérdida de biodiversidad (Jantz, et al., 2015).

La designación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) a nivel global busca que ecosistemas y hábitats se mantengan íntegros; sin embargo, las implicaciones que posee con respecto a las poblaciones locales que se mantienen de los recursos naturales rara vez cumple con sus necesidades. Es por ello que, en el marco histórico de las áreas protegidas, se ha hecho un esfuerzo por incluir la perspectiva y conocimiento de los pueblos en la conservación de la naturaleza (Phillips, 2004). Así, ante la necesidad de considerar más superficie bajo protección sin dejar de reconocer el esfuerzo de éstos, en el año 2008, La LGEEPA fue modificada para implementar la figura de las ADVC. Éstas se definen como ANP de carácter federal que han sido destinadas de manera voluntaria a la conservación ambiental por parte de propietarios privados o colectivos (CONANP, 2019). La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la agencia encargada de gestionar las certificaciones que avalan dichas áreas (Monterrubio, 2019).

Aunque las ADVC representan figuras territoriales destinadas a la conservación, la ciencia también ha servido y fomentado la conservación de la naturaleza desde su quehacer. Tal es el caso de la fenología. A pesar de estar implicada empíricamente desde la antigüedad en prácticas cotidianas como la agricultura, la fenología ha tomado un carácter científico que la posiciona como un eje fundamental en la ecología y evolución de las especies, sobre todo en un panorama global de cambio climático. Según Schwartz (1999), la fenología se entiende como el estudio de los diferentes estadios por los que pasan plantas y animales relacionados con parámetros ambientales. Esta interacción resulta compleja al involucrarse a nivel

genético, por lo que éstos podrían controlar el tiempo de eventos biológicos o pueden actuar como pautas que activen el ‘reloj biológico’ interno del organismo en cuestión (Gwinner, 1996; Ausín, et al., 2005, citado en Forrest, 2010). Estos factores externos, en la actualidad, están determinados bajo el cambio climático. Uno de sus posibles resultados es que las especies diferirán a tal punto que su fenología cambiará, teniendo consecuencias a nivel inter e intraespecies (Harrington, et al. 1999; Durant, et al. 2007; Both, et al. 2009; Hegland, et al. 2009, citado en Forrest, 2010). Éstas serán beneficiosas o perjudiciales dependiendo de la especie y el tipo de interacción que establece con otras y si sus cambios fenológicos las acercan o apartan en tiempo (Forrest, 2010).

Son ya diversos los estudios que se han hecho con relación a la fenología de insectos, los cuales se caracterizan por tener ciclos de vida cortos y, por lo tanto, “...el número y la duración de las generaciones por año puede ser variable” (Shapiro, 1975, citado en Moyers, 2009, p. 4). Algunos de los fenómenos biológicos asociados a los insectos presentan patrones estacionales que pueden ser explicados mediante la interacción de éstos con las condiciones meteorológicas y las plantas hospederas (Shapiro, 1975, citado en Moyers, 2009). Un ejemplo de estos fenómenos es la abundancia de adultos activos, que en regiones templadas alcanza su máximo durante la estación cálida (Scott y Epstein, 1987, citado en Moyers, 2009), “probablemente en respuesta a cambios en la fisiología y crecimiento de las plantas, particularmente por la abundancia de follaje nuevo y nutritivo” (Shapiro, 1975; Wolda, 1988, 1989; Didham y Springate, 2003, citado en Moyers, 2009, p. 4). Explicado en palabras de Moyers (2009), a grandes rasgos, el comportamiento anual de cada una de las comunidades de insectos puede variar debido a factores tanto de su historia de vida como del medio donde se desarrolla.

1.2. Precedentes investigativos

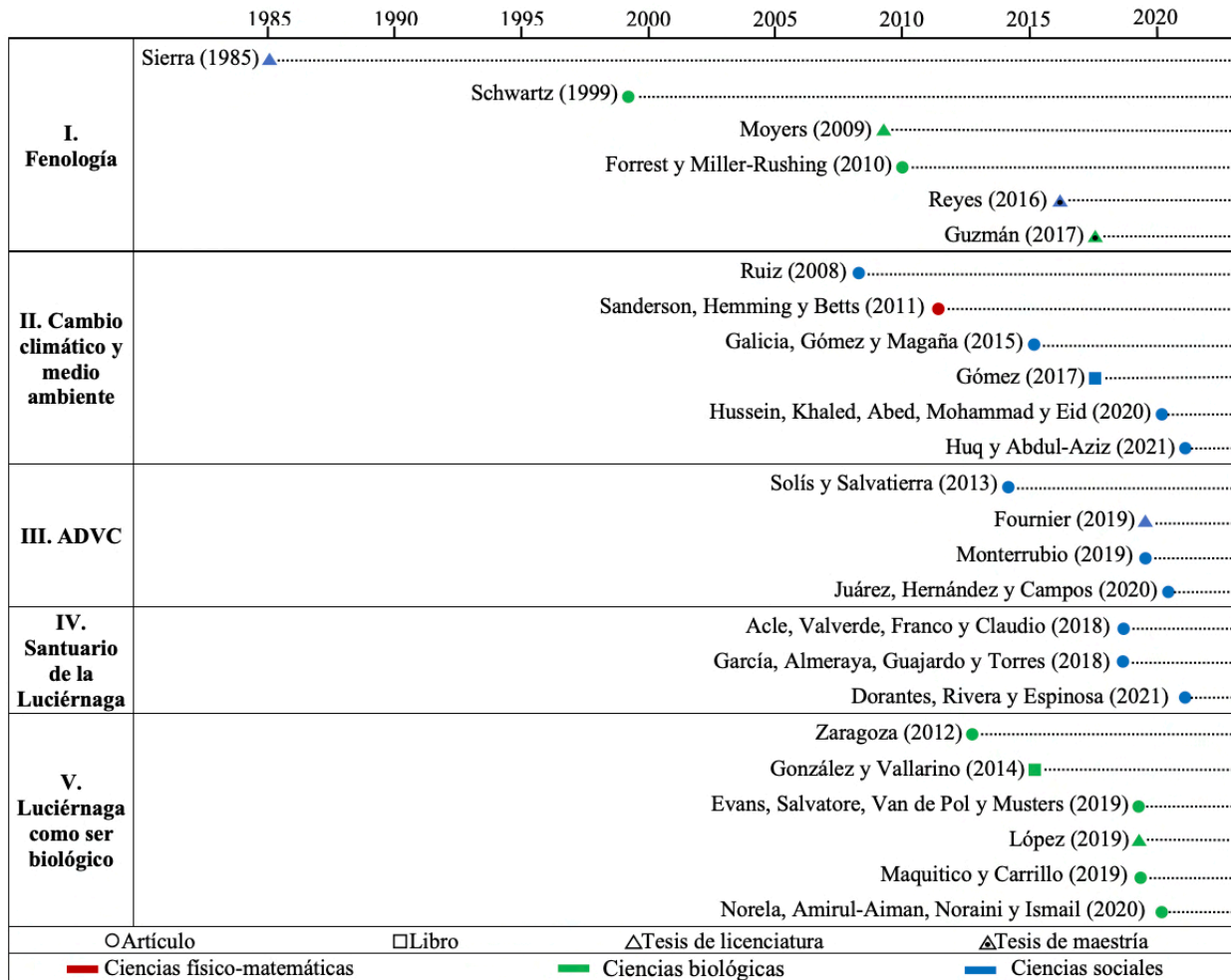
El criterio que se utilizó para la selección de la literatura yace en su afinidad y relación con esta investigación, rescatando las obras que mostraban una introspección hacia contenidos asociados con el cambio climático, cambio de uso de suelo, la luciérnaga o su hábitat, sin discriminar por otros factores como la zona de estudio o las características de la misma, por ejemplo. Este repertorio demuestra que hay una indagación significativa desde diversas disciplinas, principalmente asociadas con las ciencias biológicas y las ciencias sociales. Estas obras fueron catalogadas en la figura 1.1 mediante cinco grupos temáticos que abarcan, en gran medida, los conocimientos teórico-conceptuales que se abordan en esta tesis.

I. Fenología

El primer grupo temático empleado reúne autores que remarcan tanto el carácter teórico como aplicativo de la fenología. Dado su valor en la actualidad, Schwartz (1999) retoma su definición y hace un recuento de las investigaciones llevadas a cabo desde esta rama y su valor trascendental en el contexto y quehacer científico actual, clasificándolas en cuatro principales áreas de discusión (figura 1.2). Éstas refieren al enfoque metodológico en el que se centraron todos los trabajos compilados. La primera de ellas confiere al uso de percepción remota como herramienta principal para la investigación fenológica, empleando medidas y escalas distintas para analizar su aplicación. El área de cambio climático hace alusión a casos de estudio desde distintas latitudes en esta materia, observando fenómenos y eventos particulares. Por su parte, las áreas de modelación y métodos y aplicaciones corresponden a la evaluación y determinación de los modelos y variables fenológicas, considerando niveles tanto metodológicos como aplicados. Como Schwartz (1999) lo clarifica, es de esperarse que los trabajos recopilados pueden estar planteados por las demás áreas; sin embargo, el autor

Figura 1.1

Precedentes investigativos del estudio de las luciérnagas y su hábitat

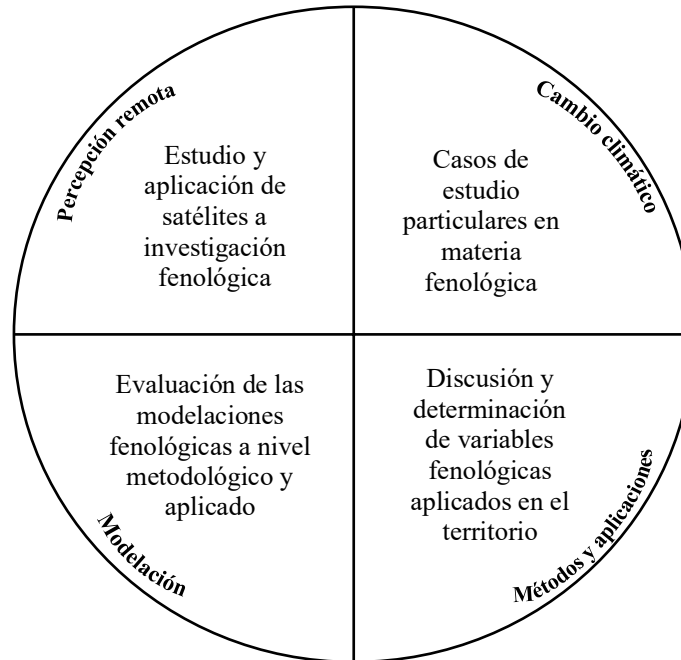


Fuente: elaboración propia con base en los autores referidos en la figura

lo sugiere desde el criterio propio.

Forrest y Miller-Rushing (2010), en un esfuerzo por integrar ideas y metodologías vinculadas desde diversas disciplinas y escalas, recopilan los principales conocimientos teóricos y conceptuales en esta materia, así como su futuro campo de trabajo considerando que las investigaciones siguientes tendrán que estar enfocadas bajo un lente objetivo y cargado de los posibles escenarios consecuentes del inminente aumento de la temperatura a nivel mundial. Dentro de éstos, las comunidades que subsisten de los bienes y servicios de los

Figura 1.2
Clasificación de los trabajos en materia fenológica



Fuente: elaboración propia con base en Schwartz (1999)

ecosistemas podrían ser las más perjudicadas, por lo que Reyes (2016) propone implementar herramientas de observación fenológica para conocer sus impactos, tomando como caso de estudio especies de importancia económica en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. Estas herramientas refieren al uso de calendarios que permitan vislumbrar cada una de las fases fenológicas de las especies a lo largo de periodos anuales.

Por su parte, Sierra (1985), Moyers (2009) y Guzmán (2017) trabajan desde la fenología de especies o grupos particulares de insectos, como el gusano Alfilerillo en el Estado de México, las mariposas diurnas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel en Ciudad de México y los carábidos en la Sierra de San Javier, Sonora, respectivamente. Sin embargo, además de las diferencias en los tipos de insectos que se abordan en cada una de estas

investigaciones, Sierra (1985) lo hace desde una perspectiva geográfica, mientras que Moyers (2009) y Guzmán (2017) desde la biología.

II. Cambio Climático y Medio Ambiente

En este segundo grupo temático, se recopilan aquellas obras cuyo objetivo es vislumbrar una perspectiva general del fenómeno en cuestión y sus impactos tanto en las sociedades humanas como en los ecosistemas. Ruiz (2008) lo aborda desde un punto de vista histórico e inclusive jurídico, donde rescata los principales eventos y procesos que detonaron y se sumaron a la lista de agentes responsables de los perjuicios en el medio ambiente. Ante un esfuerzo por entender y luego ejecutar acciones que frenaran a éstos, el autor remarca aquellas leyes y códigos jurídicos que se han escrito a lo largo de la historia de España que guardan relación con el quehacer ciudadano en interacción con su medio y de las posibles sanciones por las faltas que de él vinieran, describiendo también algunos estudios de caso en donde se hace evidente su aplicación. Aunque en menor medida, Gómez (2017) también rescata algunas circunstancias legales en las que se encuentran figuras territoriales dentro del país, como las ANP. Sin embargo, coordina en su obra a investigadores que trabajan el cambio climático desde distintos enfoques y escalas, tratando aspectos teóricos y metodológicos en la materia y casos de estudio particulares a ciertos hábitats y condiciones medioambientales.

Sanderson, Hemming y Betts (2011) hacen hincapié en la sensibilidad diferenciada a nivel espacial ante el cambio climático, por lo que consideran que es pertinente hacer un análisis regional dentro de los escenarios modelados y proyectados en esta materia para distintas zonas geográficas, explicando los posibles problemas que esto pueda atraer para cada una. Apuntando hacia el estudio de los ecosistemas costeros-urbanos, siendo los que se han

descrito como los más afectados, Huq y Abdul-Aziz (2021) analizan sus impactos en las escorrentías fluviales dentro de la parte suroriental de la península de Florida, demostrando que hay un fuerte control del clima sobre éstas y que los cambios perpetrados tanto a este nivel como al territorial pueden incrementar su intensidad y aparición para las siguientes décadas. Esto puede causar problemas de erosión, mala calidad del agua, pérdida de hábitat para otras especies, entre otros. Ahora bien, Hussein et al. (2020) ya habían hecho un trabajo similar, observando desde Sistemas de Información Geográfica, las consecuencias del cambio climático en la localidad de Wadi Musa, Jordania, sobre todo para aquellas regiones dedicadas a la agricultura y con gran riesgo de sequía.

El trabajo hecho por Galicia et al. (2013) tiene especial interés en esta investigación por sus observaciones y exploración de los efectos del cambio climático en los bosques templados del centro de México, hábitat de las luciérnagas. Su estudio analiza los impactos que esto genera en el estado de Tlaxcala a través de variables climatológicas puntuales y cartografía, así como algunos otros factores antropogénicos que intervienen y agravan su situación. Así, proponen estrategias de adaptación congruentes a esta zona, tomando en cuenta a las comunidades que viven de estos recursos forestales como parte fundamental para su conservación. A manera de conclusión, los autores recalcan la importancia de la percepción y los conocimientos ancestrales de las mismas en el estudio de la vulnerabilidad de los ecosistemas para involucrarlas y empoderarlas en el proceso de implementación de estas estrategias.

III. Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC)

Las ANP, como figuras jurídicas, han mostrado tener políticas muy restrictivas en cuanto al manejo y administración de los territorios candidatos a ser denominados como tal. Es por ello que en el 2008 surgen las ADVC como una alternativa para incluir a las comunidades como las principales gestoras de sus predios sin anular su designación como ANP y, por lo tanto, su carácter federal. De hecho, Juárez et al. (2020) exponen una tipología y tipificación de las categorías de manejo de las ANP denominadas desde diversas organizaciones internacionales y nacionales con el propósito de demostrar los beneficios de las ADVC, culminando en un análisis de su implementación propicia para el estado de Tlaxcala.

Dada su naturaleza no extractiva y acorde con la conservación de los ecosistemas, el ecoturismo es una de las principales actividades que se realizan en el territorio bajo esta investidura. Fournier (2019) estudia el potencial ecoturístico en el ADVC Koliijke, en la Sierra Norte de Puebla condicionado a un enfoque socio - ambiental. Sin embargo, es imposible pensar que las ventajas son absolutas, por lo cual, Monterrubio (2019) se ha centrado en revisar críticamente la formación y formalización de las ADVC, mientras que Solís y Salvatierra (2013) estudian su percepción social en las comunidades indígenas. Ambos trabajos están sujetos bajo el contexto particular del estado de Oaxaca, ya que es un territorio en constante conflicto por su gran patrimonio natural y cultural.

IV. El Santuario de las Luciérnagas

Los autores registrados en este grupo temático presentan investigaciones basadas en el territorio que corresponde al Santuario de las Luciérnagas, todas desde una perspectiva social. El primer acercamiento hacia su estudio lo realizan Acle et al. (2018), cuyo trabajo

determinó que el santuario cuenta con resultados positivos para las tres dimensiones que conforman la sustentabilidad para preservar sus recursos a futuro, las cuales son la dimensión social, económica y ambiental. En este mismo esfuerzo por caracterizar el territorio, García et al. (2018) hacen una valoración económica del santuario, integrando la observación de las prácticas turísticas actuales, las áreas de influencia y del perfil de los turistas. Cabe destacar que estos trabajos tienen ideas contrapuestas, pues el primer trabajo citado valora positivamente las condiciones del santuario, mientras que el segundo pondera sobre la posibilidad de tomar acciones para disminuir el impacto, principalmente, de la actividad turística. Por su parte, Dorantes et al. (2021) intentan explicar el surgimiento y desarrollo del turismo en el santuario utilizando herramientas teórico-metodológicas específicas (Teoría Actor-Red). Los autores rescatan los elementos conceptuales referentes a dichas herramientas y aquellos que ayudan a entender la caracterización del santuario como hábitat y centro turístico, basándose en una revisión histórica detallada del lugar.

V. Luciérnaga como ser biológico

El último grupo trata de englobar obras que han hecho aportes hacia la caracterización biológica de la luciérnaga, así como de su hábitat. Zaragoza (2012) hace una descripción con sumo detalle de individuos hembra y macho de la especie *Macrolampis palaciosi* (ahora *Photinus palaciosi*), endémica de la región y cuyo descubrimiento se le adjudica al autor. El sistema reproductivo de la misma es descrito a profundidad por Maquitico y Carrillo (2019), considerando que representa un factor crucial para su conservación.

En este sentido, Evans et al. (2019) sustentan que la abundancia de adultos está directamente relacionada con la temperatura y la humedad percibida en la fase larval. En su investigación,

indican que el incremento de la temperatura y decremento de la humedad están afectando negativamente la cantidad de individuos en etapa adulta, implicando así un riesgo para su subsistencia. Como parte fundamental de ésta para cualquier ser vivo, son indispensables los estudios relacionados con el hábitat de las especies para comprender los factores y elementos de su entorno que influyen a cada una. Norela et al. (2020) se esmeran en esclarecer las razones por las cuales las luciérnagas que habitan en los manglares malayos son atraídas hacia algunas especies de árboles, examinando la micromorfología de sus hojas. A pesar de encontrar ciertas características que podrían vincularse con este proceso de atracción, plantean que se necesitan de más estudios al respecto.

Las luciérnagas, por su alta sensibilidad a los cambios en el medio, son consideradas especies bioindicadoras. En palabras de González y Vallarino (2014):

...se definen como aquellas que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, entre otras) pueden ser usadas como estimadoras del estatus de otras especies o condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Heink y Kowarik, 2010, citado en González y Vallarino, 2014, pp. 24-25).

La obra, además de explicar los conocimientos teórico-conceptuales de esta denominación, conjunta diversos trabajos relacionados con especies particulares, categorizándolos por taxón y tipo de ecosistema al que pertenece (terrestre o acuático). Así, las luciérnagas se conforman como especies de alto valor para los ecosistemas y para las comunidades que viven de estos recursos, razón por la cual es esencial que se tomen acciones para su protección. La propuesta

de López (2019) apuesta por incluir la ciencia ciudadana como parte de estas medidas, aunado a la producción de materiales complementarios para concientizar tanto a los habitantes como a los turistas de la trascendencia de las luciérnagas como especies e indicatoras de ambientes sanos.

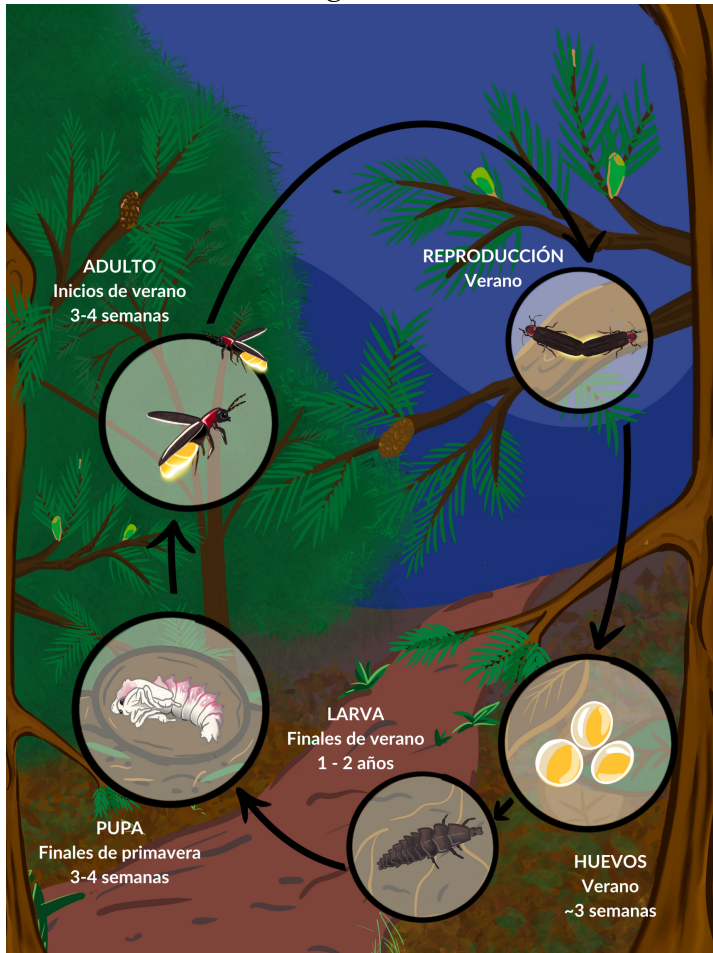
Capítulo 2. Panorama y caracterización geográfica de la luciérnaga

2.1. Características biológicas

Las luciérnagas, denominadas como gusanos de luz o bichos de luz, pertenecen al orden Coleóptera, comúnmente conocidos como escarabajos, y a la familia Lampyridae, con más de 2000 especies pertenecientes a 100 géneros distintos. Se caracterizan por tener dos pares de alas: la primera está endurecida para cumplir con su función protectora para la segunda, la cual generalmente usan para volar. Como todos los escarabajos, las luciérnagas tienen un ciclo de vida que consta de cuatro etapas, con lo cual atraviesan una metamorfosis completa (Frierson Faust, 2017, citado en López, 2019). Generalmente para las especies del género *Photinus*, al cual pertenecen las especies encontradas en el santuario, su ciclo vital (figura 2.1) empieza cuando las hembras dejan sus huevos durante el verano para eclosionar en aproximadamente tres semanas. Después, se vuelven larvas durante uno a dos años, convirtiéndose en la etapa más larga de todas y durante la cual se desprenden de su exoesqueleto de cuatro a siete veces. Su fase como pupa ocurre justo antes de que los adultos machos puedan ser vistos volando para encontrar a su pareja por los meses de junio y julio. Tanto la fase pupal como la adulta tienen un periodo de tres a cuatro semanas aproximadamente (Frierson, 2017).

Dependiendo de la fase del ciclo de vida en la que se encuentren, es la dieta que llevan a cabo. En estado larval, se alimentan de un gran número de caracoles, gusanos, babosas y otros insectos de cuerpo blando (Frierson, 2017), lo que las convierte en depredadoras esenciales dentro de la cadena trófica del ecosistema (Lloyd et al., 1989, citado en Maquitico y Carrillo, 2019). Científicos todavía estudian los patrones alimenticios en la etapa adulta, ya que se ha llegado a pensar que los adultos, al estar centrados en la reproducción y puesta de

Figura 2.1
Ciclo de vida de luciérnagas nocturnas



Nota: La imagen representa el ciclo de vida de algunas de las luciérnagas presentes en el Santuario de las Luciérnagas, la estación y periodo aproximado de cada fase, así como su posible ubicación dentro del hábitat. Dada la falta de información general con respecto a su ciclo de vida, puede variar con respecto a la realidad. Por lo tanto, se hace una aproximación de dónde, cómo y cuándo sucede cada fase de su ciclo vital. Créditos: Flores (2022).

huevos, no comen. Sin embargo, se ha visto que hay especies que pueden consumir algunas frutas o néctar de algunas plantas como el algodóncillo (*Asclepias syriaca*). Las especies pertenecientes al género *Photuris* son la excepción a la regla, pues se sabe que pueden llegar a consumir a otras especies de luciérnaga con el propósito de adquirir sustancias de defensa adicionales para pasarlas a su descendencia y tengan mayores probabilidades de sobrevivir (Frierson, 2017).

Para que se lleguen a considerar parte de la familia de los lampíridos deben tener al menos en una etapa de su vida la capacidad de emitir luz. La bioluminiscencia, su rasgo más distintivo, es un proceso químico que resulta de la oxidación de la luciferina en presencia de la enzima luciferasa. Los destellos y patrones luminosos son dependientes de la temperatura, pues entre más cálido sea el medio, su proceso se acelera y viceversa. En su etapa adulta, la bioluminiscencia se produce en un órgano especializado localizado en la parte ventral del abdomen. Su función es variada, pero las

luciérnagas principalmente la utilizan para atraer a su pareja, aunque también para alertar sobre posibles amenazas. En algunos géneros, la emisión de luz puede estar sujeta a ciertas características, como el sexo o si se encuentran en cierta etapa de su ciclo de vida, pero en la mayoría, todos los individuos adultos lo hacen. Normalmente, son los machos los que vuelan, mientras que las hembras esperan entre árboles, arbustos o el suelo para encontrar a su pareja. Cuando lo consiguen, son ellas las que emiten estos patrones luminosos, aunque usualmente son más tenues y cortos. Éstos también dependen de la especie que se trate, ya que cada una tiene una secuencia única (Frierson, 2017), además de que algunas son de actividad diurna y otras, de actividad nocturna (Frierson Faust, 2017; Lewis & Cratsely, 2008, citado en López, 2019).

2.2. Las condiciones ambientales óptimas para la luciérnaga

El hábitat de las luciérnagas se puede dividir en tres capas distintas del suelo: subsuelo, suelo y cubierta vegetal. Los huevos generalmente se depositan en la segunda capa, entre hojarasca o grietas que contengan mucha humedad y temperaturas idóneas. La etapa larval puede situarse en cualquiera de las capas mencionadas, dependiendo la especie. Lo mismo sucede con su fase pupal, ya que algunas especies, condicionadas a las variables medioambientales, pueden atravesarla en el subsuelo, en el suelo o en la corteza de los árboles. Al estar altamente expuestas en esta etapa de su ciclo de vida, buscan esconderse bajo musgo, troncos o lodo para que no puedan ser encontradas (Frierson, 2017).

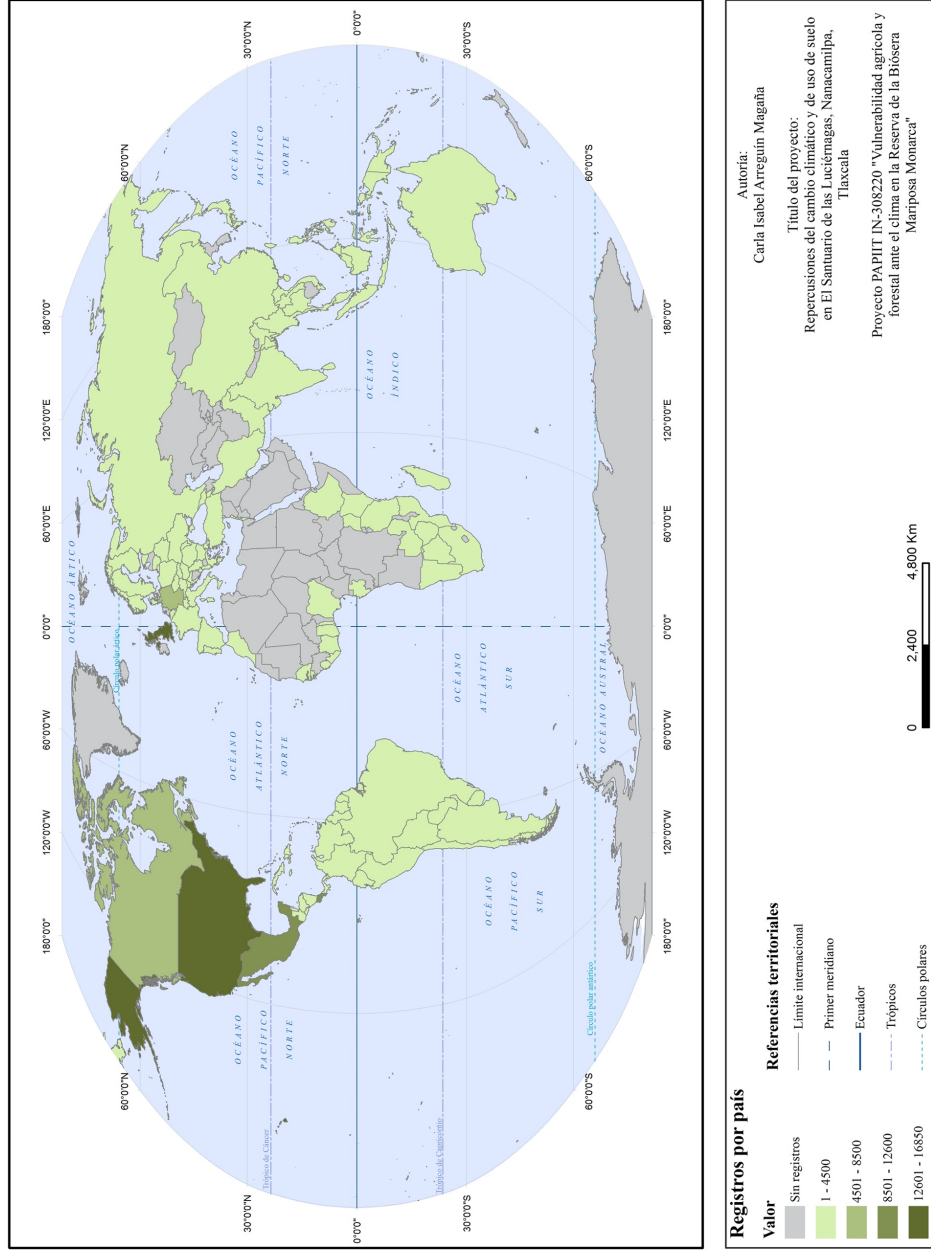
Para que su crecimiento sea óptimo, idealmente debe haber fuentes de agua limpias que contribuyan a retener la humedad del suelo y, en general, del hábitat. La cobertura vegetal es la que proveerá de sombra, refugio, protección ante pesticidas y, en algunas especies,

escenarios de apareamiento para los adultos (Su Hooi, s.f.). Además, la existencia de árboles adyacentes o cercanos al hábitat pueden mantener la temperatura en el rango de tolerancia propio, que se encuentra entre los 15°C y 30°C, aproximadamente (Su Hooi, s.f.; Frierson, 2017) y “...bloquear posibles luces artificiales y otras áreas iluminadas para ayudar a incrementar la oscuridad que es más propicia para el comportamiento reproductivo de la luciérnaga” (Su Hooi, s.f., pp. 138), así como materia orgánica que puede servir como suministro de alimento. De manera integral, estos requerimientos básicos, aunado a la existencia de entornos limpios y fríos, son los ideales para el hábitat de las luciérnagas. Sin embargo, esto solo aplica para aquellas que viven en ambientes terrestres (Su Hooi, s.f.). Se ha demostrado que, si esto no se cumple, las poblaciones tienden a caer. Esto no es propio de la etapa adulta, sino que afecta en diferentes fases de su ciclo vital. Cuando se presentan condiciones de mucho calor y sequía en ciertas estaciones, resulta en un desarrollo difícil para las larvas y, por lo tanto, reduce la esperanza de vida de los adultos. Por el contrario, cuando hay condiciones de temperatura bajas y con mucha humedad, los avistamientos de luciérnaga tienden a ser mayores (Evans et al., 2018; Frierson, 2017).

2.3. Contexto actual de las luciérnagas y su hábitat en el mundo

Las luciérnagas son consideradas especies cosmopolitas, ya que se encuentran en la mayor parte de los continentes y en diversos tipos de ecosistemas (figura 2.2). Sin embargo, la aplicación de entrevistas y de otras herramientas ha permitido revelar que sus poblaciones han tenido un decremento importante. A pesar de las evidencias sobre el declive de especies de luciérnaga en todo el mundo, su situación de conservación ha sido poco estudiada. Hasta hace pocos años fue que se empezaron a registrar especies de esta familia taxonómica en las bases de datos concernientes al estatus de riesgo de especies a nivel internacional. De hecho,

Figura 2.2
Registros de luciérnaga por país



Fuente: elaboración propia con base en GBIF (<https://www.gbif.org/>).

algunas ya se encuentran en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), aunque muchas de ellas no poseen información sobre su dinámica poblacional actual y/o los datos son deficientes para determinar su categoría de riesgo. Sin embargo, diversas investigaciones ya tienen identificados los factores perjudiciales para las luciérnagas, muchos de ellos asociados a las actividades antrópicas. Lewis et al. (2020) posiciona a la fragmentación del hábitat, la contaminación lumínica y el uso de pesticidas como las principales causantes. Otros problemas medioambientales asociados a este fenómeno son la contaminación generalizada de los ecosistemas, la agricultura intensiva, el cambio climático y el turismo, teniendo afectaciones en diferentes estadios de su ciclo de vida (Lewis et al., 2020).

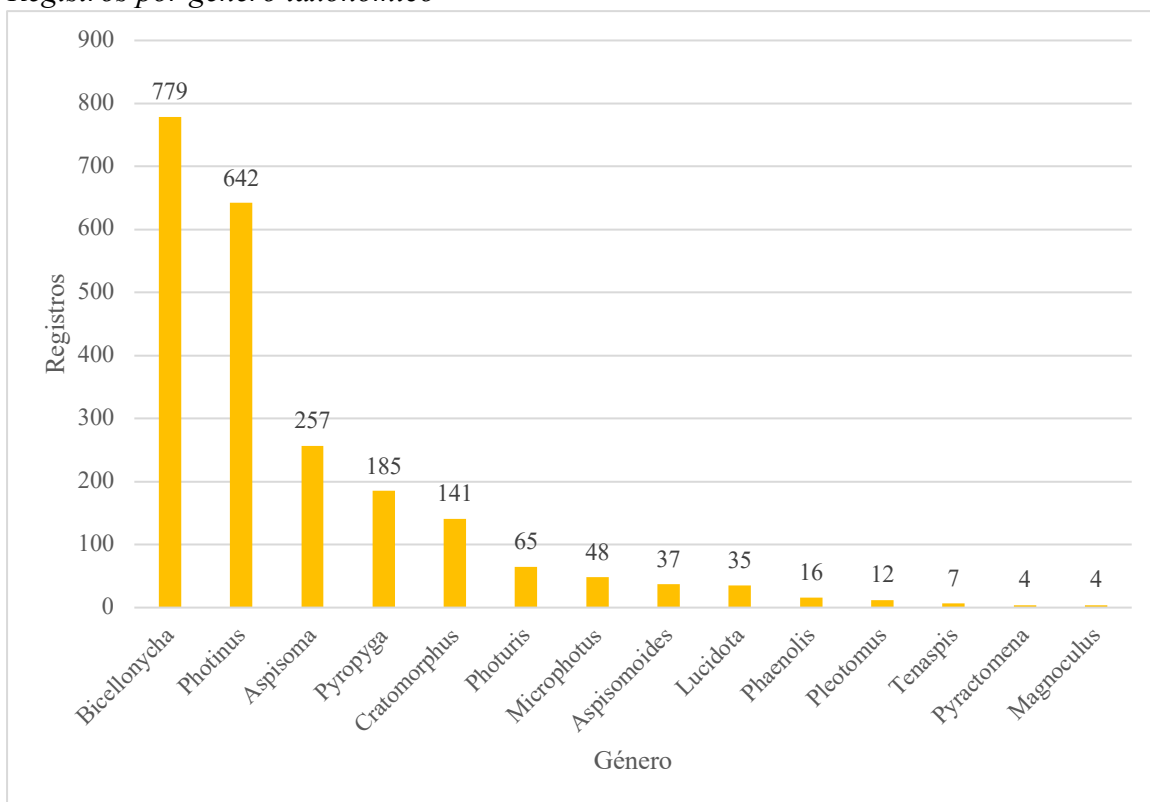
La situación no es distinta de aquella de México, pues son pocos los que han dedicado la investigación hacia las luciérnagas y, en particular, aquella que tiene que ver con su dinámica ecológica y de estatus de conservación, aun teniendo registros considerables de este insecto a lo largo de la república mexicana. Es por ello que, en un esfuerzo por caracterizar la situación poblacional de especies de luciérnaga en el país, a continuación, se hace un recuento sobre los registros biológicos de luciérnaga y su respectiva interpretación.

Registros biológicos de luciérnaga en México

Los registros del SNIB - CONABIO para luciérnagas arrojaron un total de 2, 517 datos a nivel nacional. Para este estudio se seleccionaron de la base de datos los campos correspondientes a la localización geográfica, vegetación asociada y fecha de colecta de los especímenes de luciérnaga registrados, así como de su taxonomía.

Registros por género. Como se mencionó en la caracterización biológica, la familia Lampyridae implica toda una serie de géneros que conforman diferentes especies de luciérnagas, por lo que se optó por hacer un conteo de aquellos con mayores registros. El género *Bicellonycha* cuenta con el mayor número de registros (779), seguido del género *Photinus* (642), de donde pertenecen las especies de los bosques de Nanacamilpa, Tlaxcala (Zaragoza, 2020). Los géneros *Aspisoma*, *Pyropyga* y *Cratomorphus* son los siguientes en la lista, con registros significativos para la familia taxonómica. Aunque no son en grandes números, los géneros *Photuris*, *Microphotus*, *Aspismoides* y *Lucidota* cuentan con entre 20 y 100 registros. Finalmente, el menor número de registros lo tiene *Phaenolis*, *Pleotomus*, *Tenaspis*, *Pyractomena* y *Magnoculus* (figura 2.3).

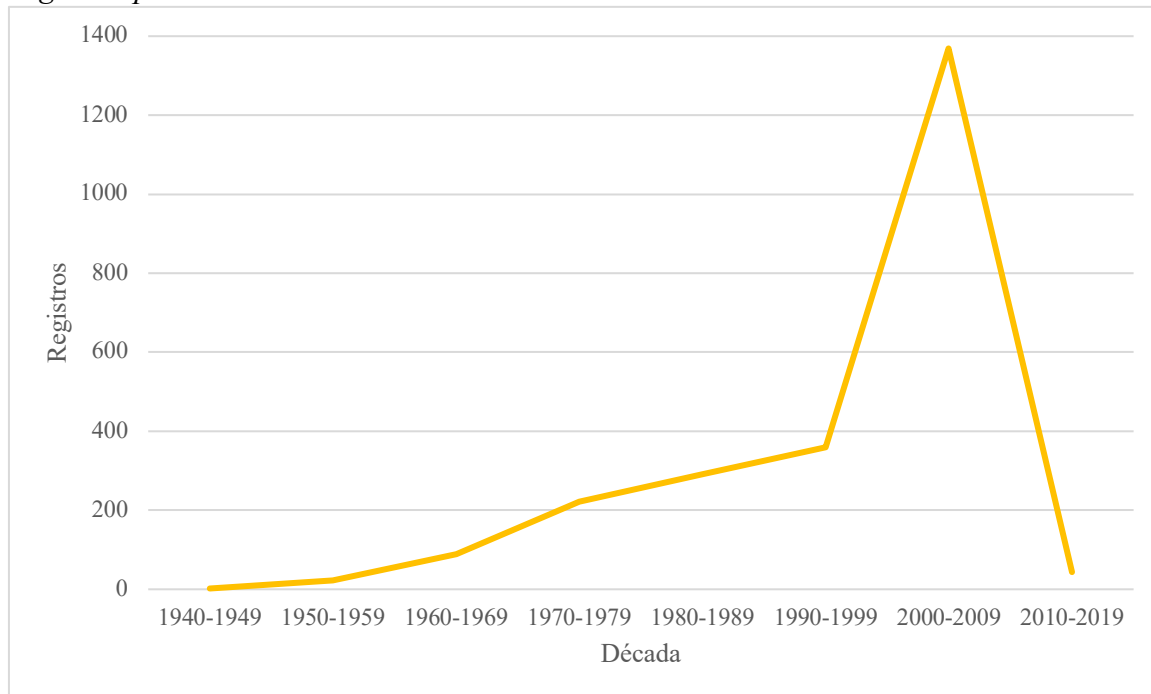
Figura 2.3
Registros por género taxonómico



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

Registros por fecha de colecta. Dada la importancia de la escala temporal en la base de datos y en esta investigación, se muestra el número de registros agrupados por década, empezando por 1940 hasta el 2019. Así, conforme el paso de los años, se obtenían mayores registros hasta su momento cumbre en la década del 2000 al 2009. Sin embargo, hubo un declive significativo en esta última década. Esto no representa conclusivo en un descenso poblacional de la especie, sino que se puede deber a la falta de registros hechos durante esa década, e incluso se puede tratar de una combinación de ambas (figura 2.4).

Figura 2.4
Registros por década



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

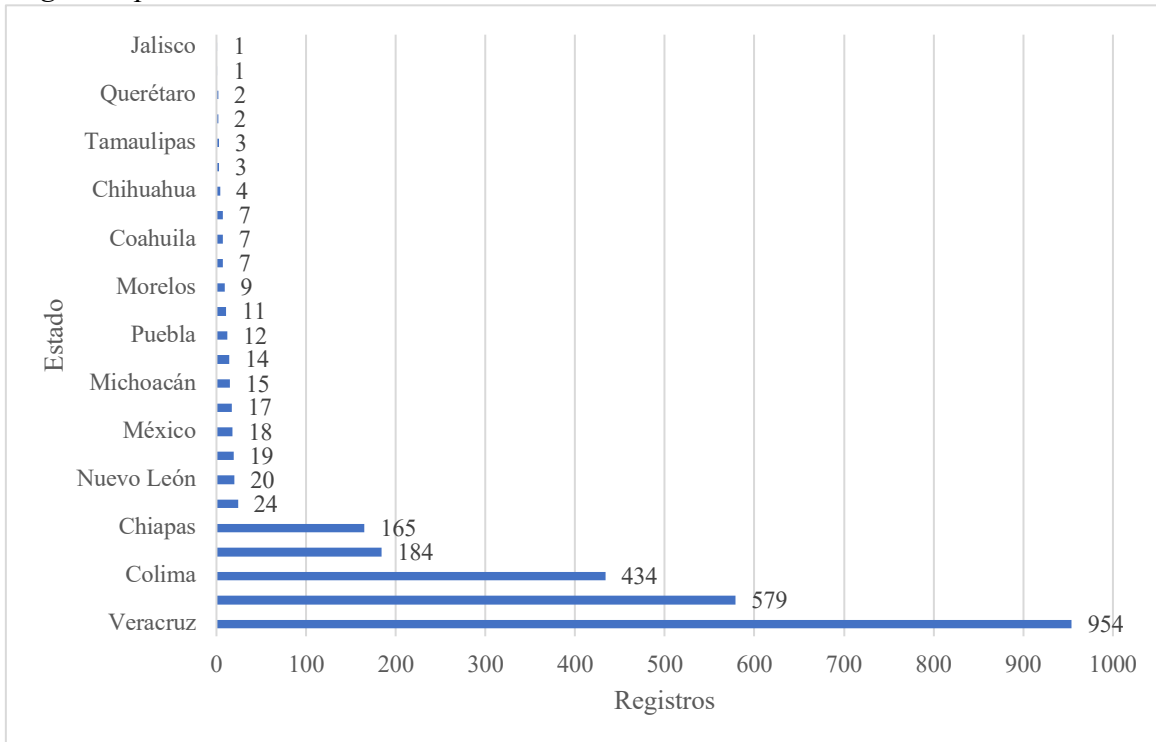
Registros por estado. Los datos para la familia Lampyridae por estado indican que Veracruz es el que posee mayores registros (954), seguido de los estados de Oaxaca (579), Colima (434), Sonora (184) y Chiapas (165). Cabe aclarar que siete estados de la república, incluyendo Tlaxcala, no contaban con datos para esta familia en el sistema; sin embargo, se

puede mencionar algunos estados aledaños que cuentan con registros significativos, como Estado de México (18), Ciudad de México (17) y Puebla (12), los cuales se configuran dentro de aquellos con registro intermedio en conjunto con Guerrero (24), Nuevo León (20) y Jalisco (19) (figura 2.5). En la figura 2.6, se muestran los estados con mayores y menores registros en coropletas, mientras que en la figura 2.7, los registros se organizan por tribu taxonómica¹ y región biogeográfica. Al respecto, la tribu Photinini domina a nivel nacional, sobre todo en la región centro de México. Conforme se avanza hacia el sur o hacia el norte, se pueden encontrar otras especies. En el sur, se vislumbran de la tribu Cratomorphini y Photurini, mientras que, en el norte, se trata de las pertenecientes a la tribu Lampyrini. En la región centro – suroeste, se pueden encontrar especies de la tribu Pleotomini. Aunque sí existen algunas especies, el Altiplano Central resalta por la ausencia de luciérnagas, el cual coincide con la región biogeográfica Neártica. Las regiones Neotropical y de zona de transición cuentan con las mayores cantidades de registros de la familia.

Registros por ANP. Para el caso de registros por ANP, las federales predominan en los primeros lugares con mayores ejemplares registrados, ocupando Los Tuxtlas, Veracruz el primer lugar con 531. Huatulco, Oaxaca y Montes Azules, Chiapas ocupan el segundo y tercer lugar, respectivamente con 346 y 100 registros. El Parque Nacional Cañón del Río Blanco, Veracruz, ocupa el cuarto lugar con un registro de 57 y la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, con 35 registros, ocupa el quinto lugar. La primera ANP estatal que se hace presente en la gráfica general es la Reserva Ecológica La Martinica, Veracruz y siendo la primera en la gráfica particular para ANP estatales y municipales. En ésta, predominan en

¹ Categoría taxonómica optativa, intermedia entre la familia y el género (Alvarado, 1990).

Figura 2.5
Registros por Estado

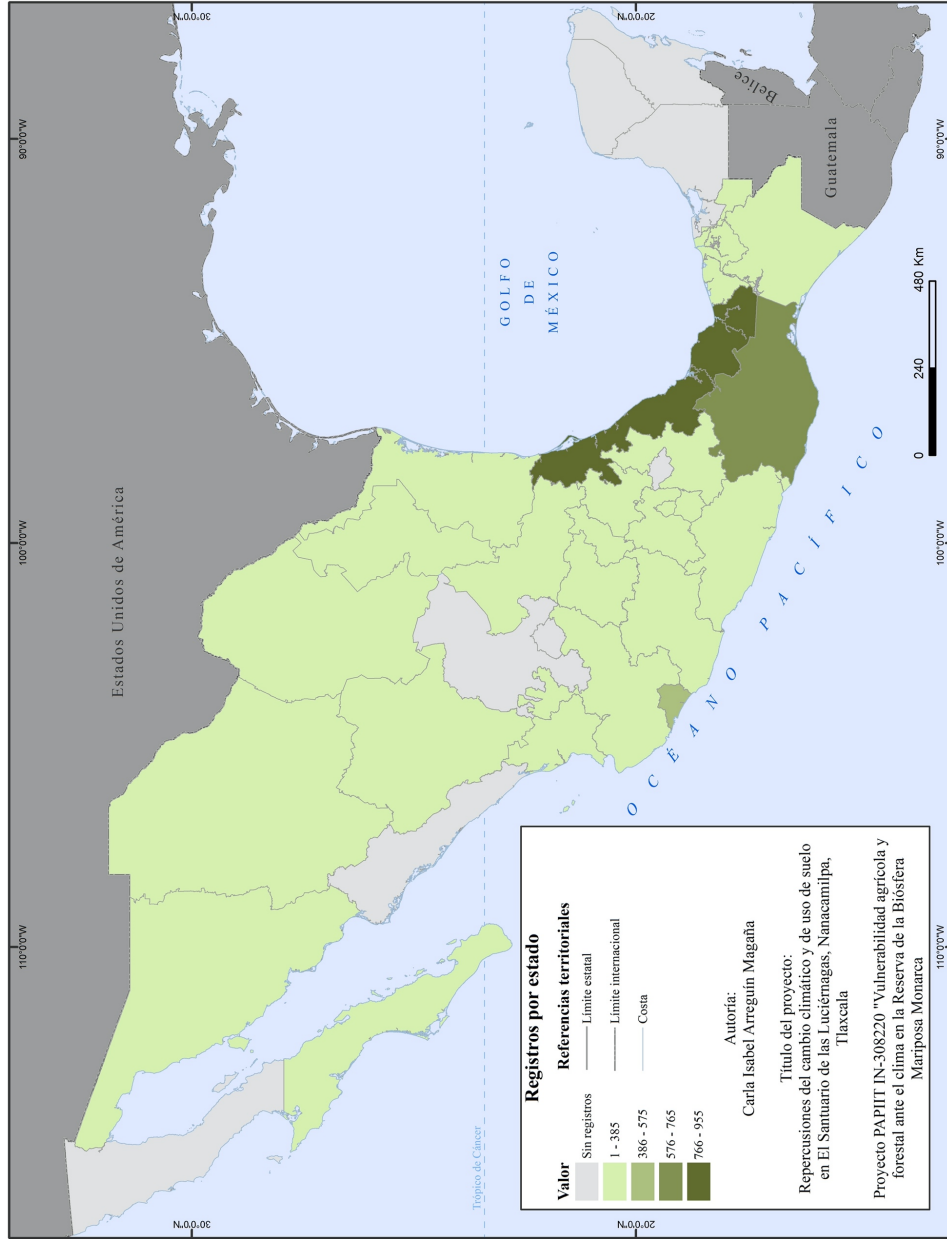


Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

los siguientes lugares Río Filobobos, el Área Verde Reservada para la Recreación Ecológica Predio Barragán y la Reserva ecológica Metlac - Río Blanco, todas localizadas en el estado de Veracruz y, por último, la Reserva Natural Protegida Tancojol, localizada en el estado de San Luis Potosí (figuras 2.8, 2.9 y 2.10).

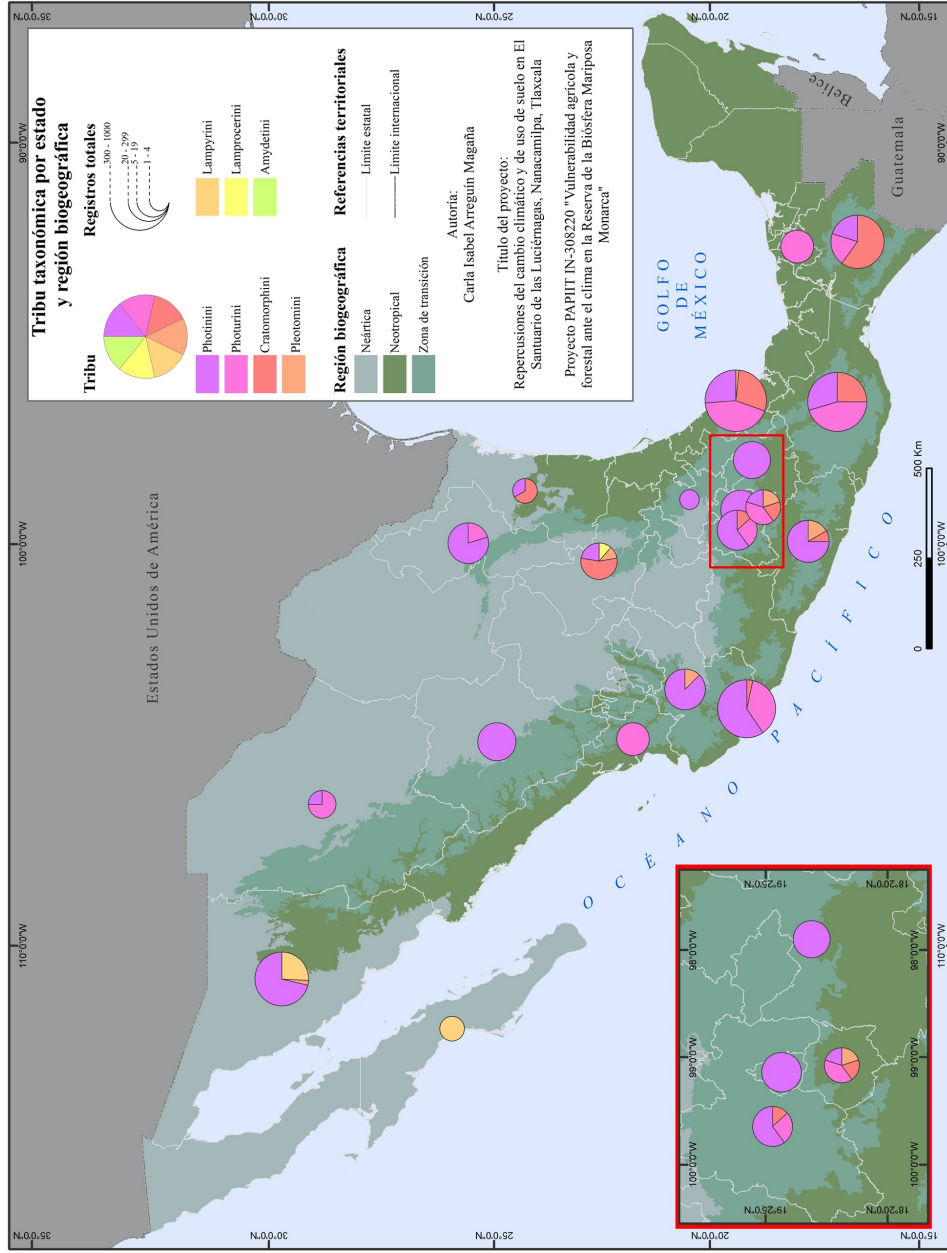
Registros por uso de suelo y vegetación. El uso de suelo donde más predominan los registros es en la cobertura vegetal (2073). Sin embargo, la agricultura también tiene un registro significativo de especies, con 923 registros. Las zonas urbanas representan las zonas donde hay menores registros, con solamente 7 (figura 2.11).

Figura 2.6
Registros de luciérnaga por estado



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

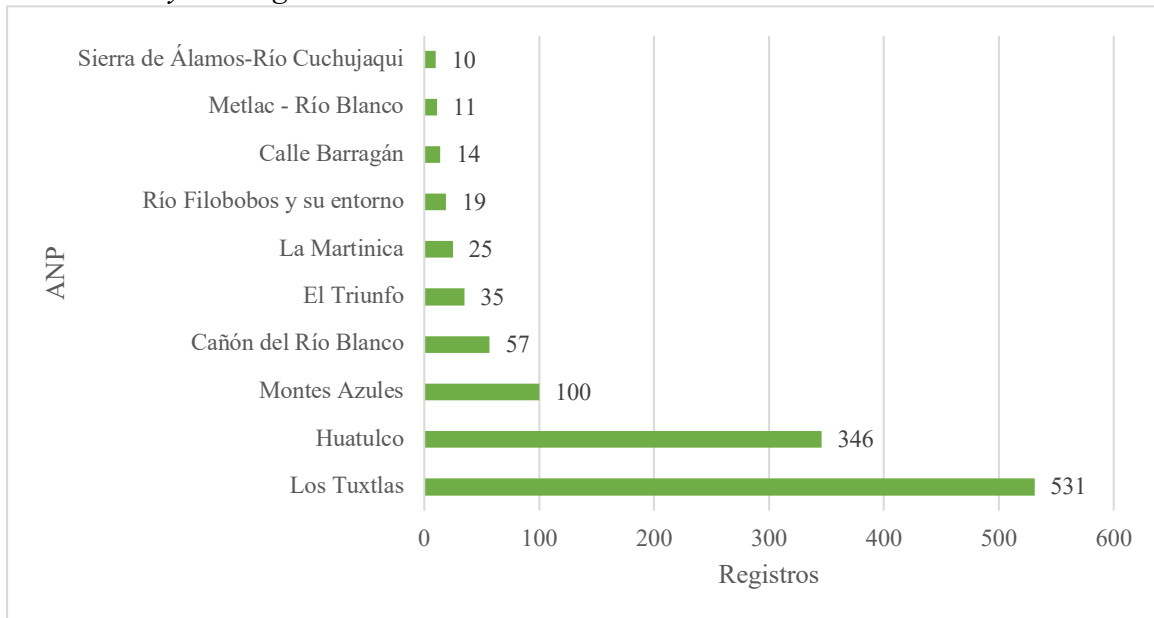
Figura 2.7
Registros por tribu taxonómica, estado y región biogeográfica



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

Figura 2.8

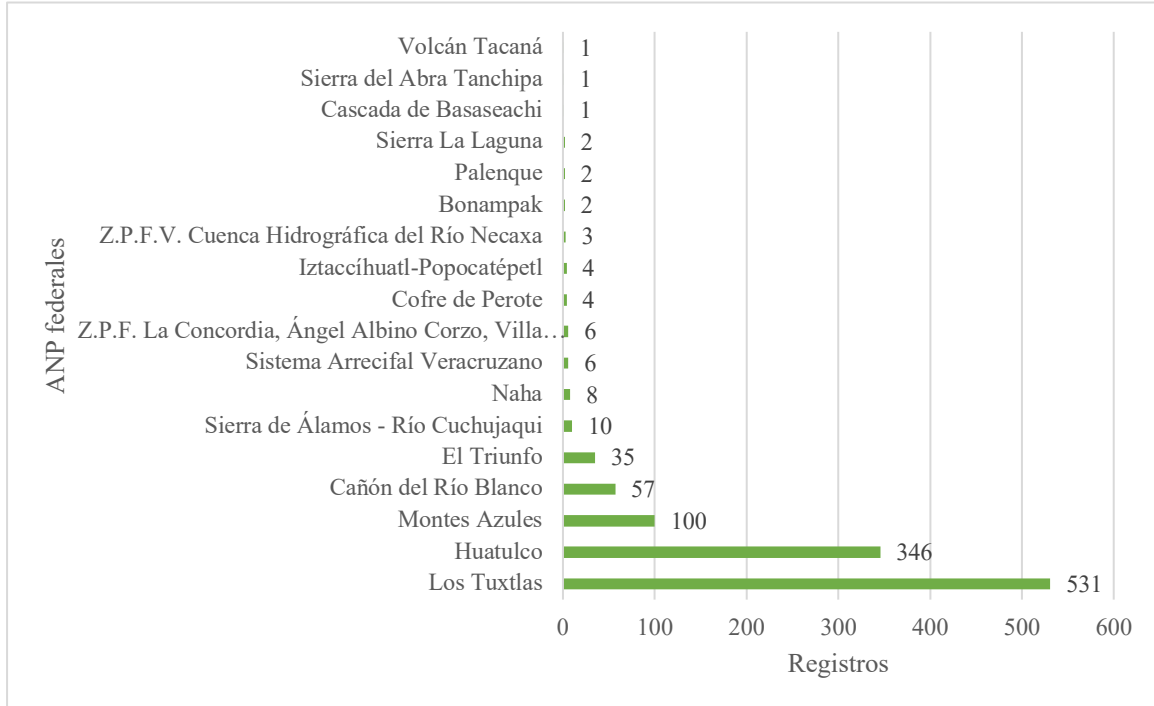
ANP con mayores registros



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

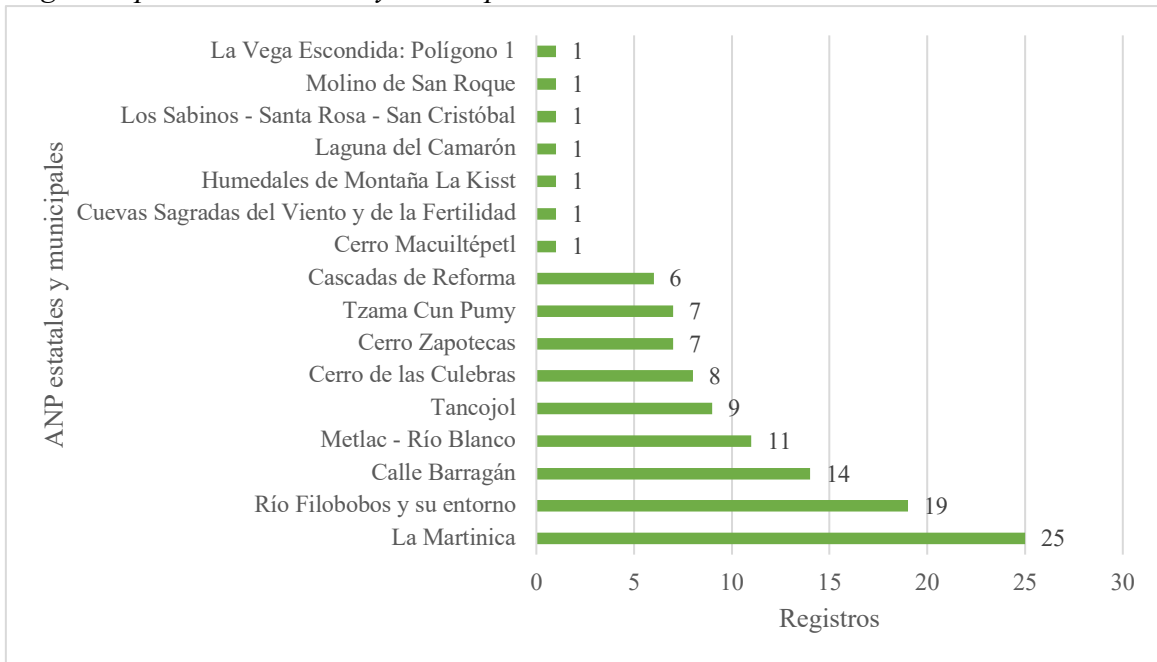
Figura 2.9

Registros por ANP federales



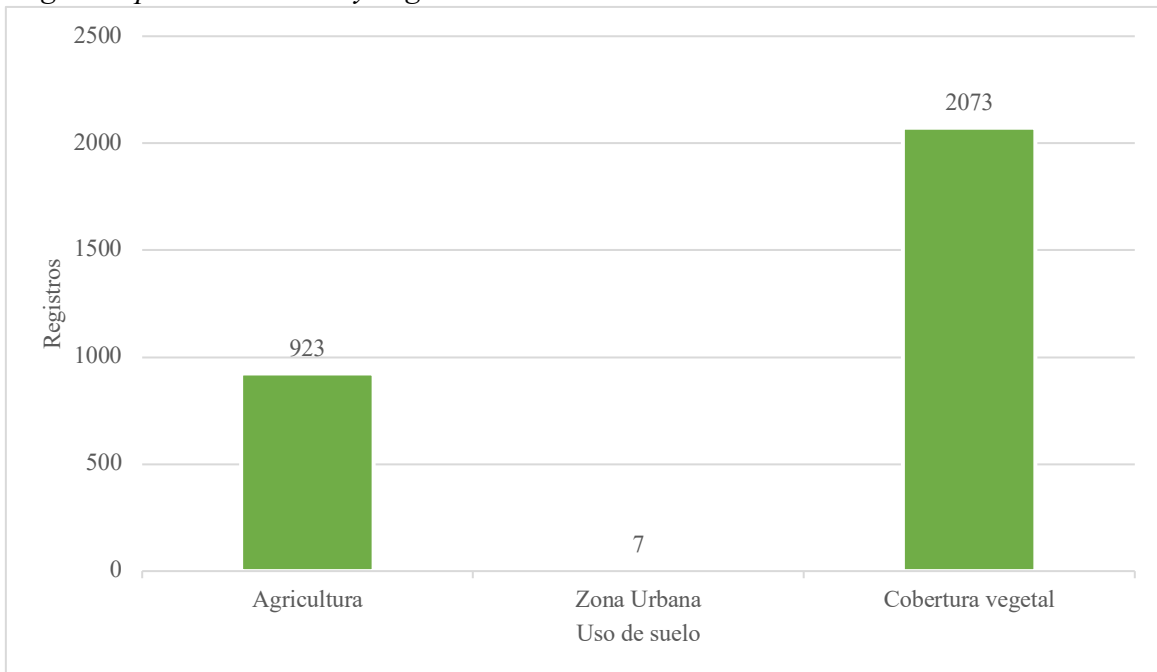
Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

Figura 2.10
Registros por ANP estatales y municipales



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

Figura 2.11
Registros por uso de suelo y vegetación de la serie VI de INEGI.



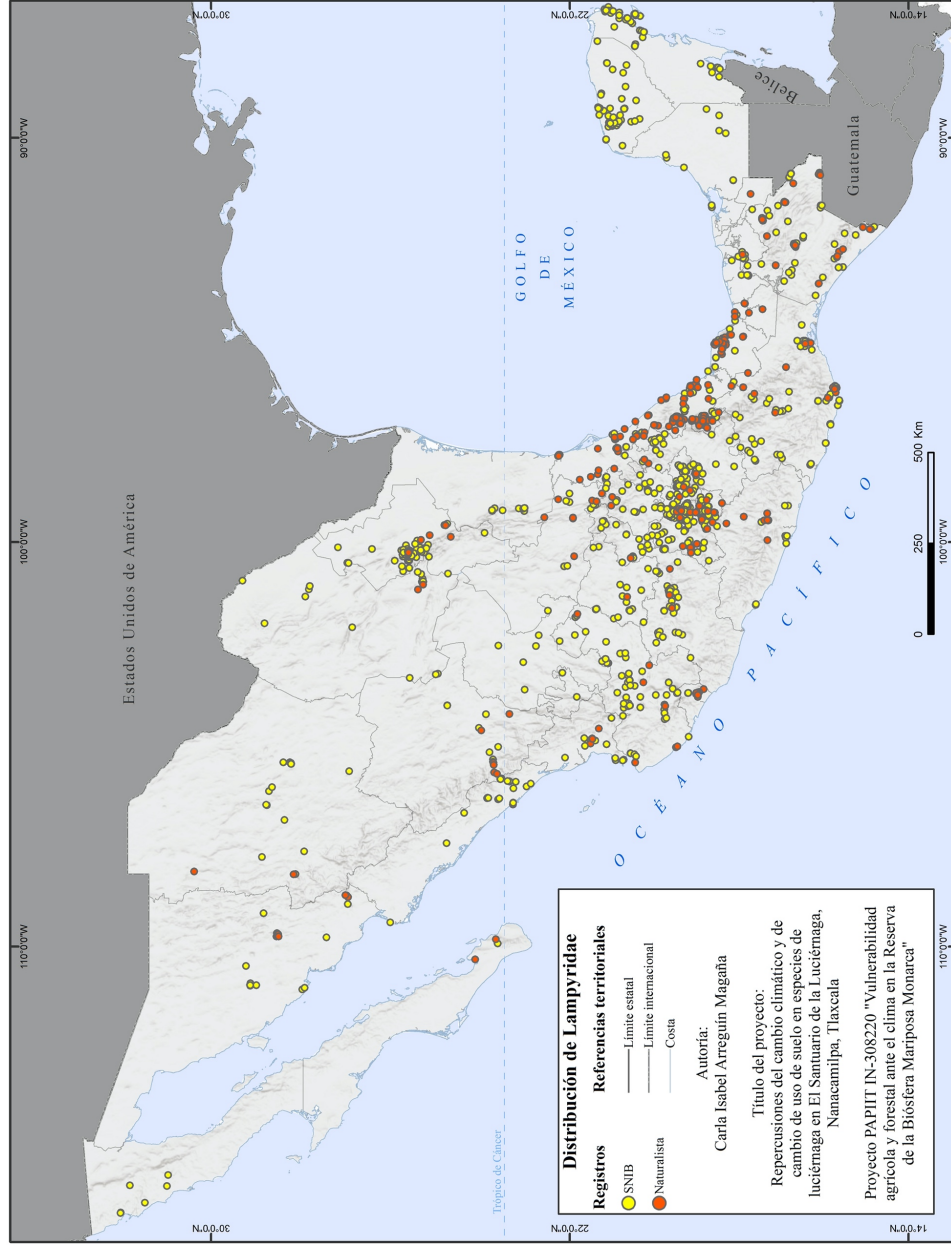
Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>).

De acuerdo con los registros del SNIB y de Naturalista, en conjunto, muestran que, en México, las luciérnagas se concentran en el centro del país, siendo éstas las especies que tienen como hábitat el Eje Volcánico Transmexicano. Cabe destacar que se consideraron estos registros a nivel de familia, por lo que en la figura 2.12, se muestran todos los registros independientemente de su especie. Estos datos fueron procesados bajo el software MaxEnt en la versión 3.4.4, cuya función es generar mapas de distribución potencial de especies. Para el caso en cuestión (figura 2.13), las condiciones adecuadas predichas para la especie se encuentran en las regiones centro y sur del país, con algunos resquicios en Centroamérica. Aun así, los tonos verdes muestran las condiciones típicas donde la especie se encuentra, abarcando casi en su totalidad todo el país a excepción de la península de Baja California y el Altiplano Central, como ya se mencionaba anteriormente. Al igual que en la figura anterior, hay que tomar en cuenta que la base de datos utilizada tiene registros de una familia completa, por lo que se incluyen en el análisis especies distintas. Aun así, los resultados arrojan una extensa distribución en territorio mexicano, que corresponde a las Sierras Madre Oriental y Occidental, así como el centro, sur y sureste de México, con menor probabilidad en las costas del Pacífico. Este patrón se puede explicar mediante las condiciones medioambientales que persisten en estas zonas, ya que en su mayoría se trata de zonas montañosas que poseen ecosistemas boscosos, con bajas temperaturas y alta humedad. La excepción a esta regla sería la península de Yucatán y las costas del Golfo de México, pero se puede tratar de otras especies que sí toleran estos rangos climáticos.

2.4. Antecedentes históricos del Santuario de las Luciérnagas en Tlaxcala

El corte fundamental de los acontecimientos geo-históricos se basa en la caracterización del territorio en cuestión, que van desde tiempos prehistóricos hasta nuestros días. Se

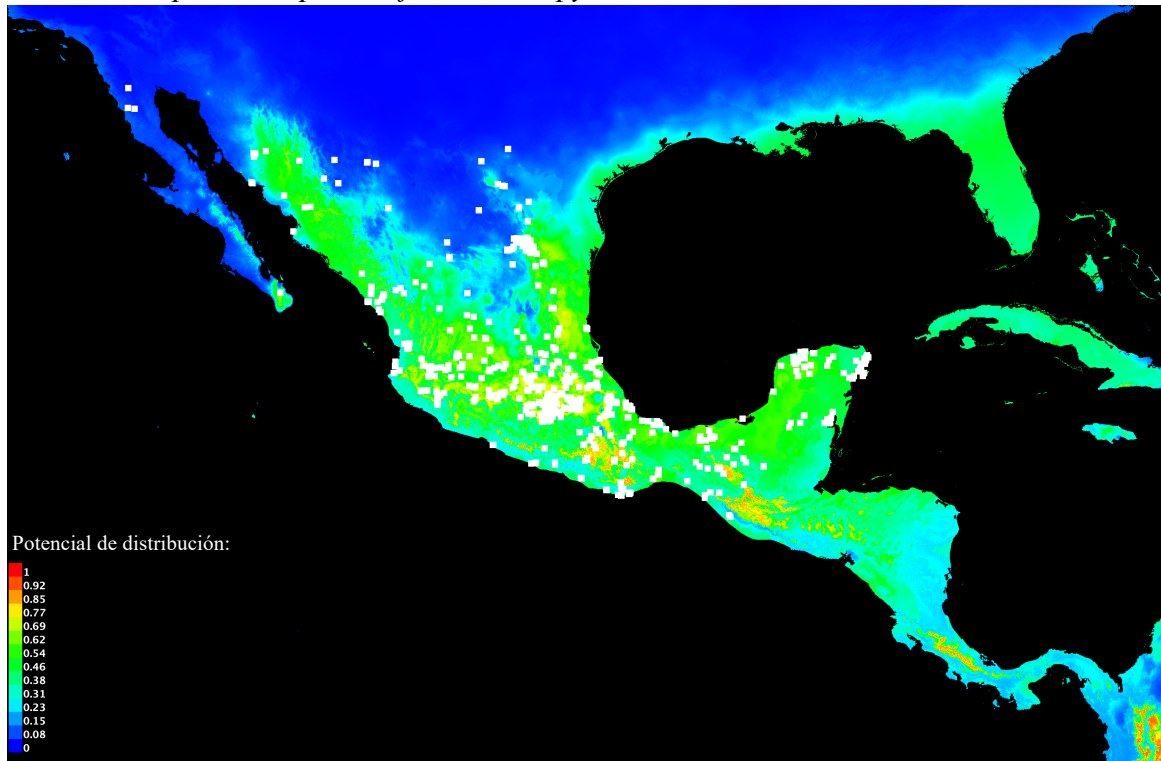
Figura 2.12
Distribución de la familia Lampyridae



Fuente: elaboración propia con base en el SNIB (<https://snib.mx/>) y Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>).

Figura 2.13

Distribución potencial para la familia Lampyridae



Nota. La escala de colores indica las zonas con mayor potencial de distribución. Así, los colores rojos, naranjas y amarillos indican mayor potencial de distribución, mientras que los azules muestran zonas con menor potencial de distribución. Los puntos blancos indican los sitios de presencia de las especies usadas para el modelo. Fuente: elaboración propia con base en Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>).

consideraron todos aquellos factores que influyen en la dinámica territorial desde diversas escalas espacio - temporales. Éstos incluyen las primeras evidencias de la interacción de las luciérnagas con el ser humano, los primeros pobladores de la región, su caracterización político – administrativa y la historia de la creación de las ANP, así como de las instituciones competentes en esta materia. Estos antecedentes fueron agrupados dentro de seis etapas históricas principales que demuestran la conformación del Santuario de las Luciérnagas:

I. Las culturas antiguas y su interacción con las especies de luciérnaga (hasta 1400)

- II. Conformación político-administrativa del territorio del estado de Tlaxcala y legislativa ambiental (1400- 1872)
- III. Designación de las ANP en México y el mundo (1872 - 1980)
- IV. Inicio de la gestión turística del territorio del Santuario de las Luciérnagas (1980 - 2012)
- V. Estructura administrativa y turística del Santuario de las Luciérnagas (2012 hasta la actualidad)

I. Las culturas antiguas y su interacción con las especies de luciérnaga (hasta 1400)

Las especies de luciérnaga, al ser cosmopolita, ha estado presente desde hace milenios en las sociedades humanas y, por lo tanto, en constante interacción. Prueba de ello, es la gran cantidad de nombres comunes que han sido utilizados para referirse a la luciérnaga. Aunque se sabe que los insectos se originaron hace más de 450 millones de años (Bryn, 2014), las primeras evidencias de las luciérnagas en convivencia con el ser humano se remontan hacia el 3500 a.C. en las culturas asiáticas. En la cultura popular China, ya se identificaban las primeras descripciones de la especie en libros de poesía, en particular el clásico Libro de las Odas o Shih Ching (López, 2019). El interés por la luciérnaga también se extendió por la cultura japonesa, la cual ya mostraba los primeros indicios de una dinámica alrededor de su avistamiento (Lewis et al., 2020). En el territorio que actualmente conforma el municipio de Nanacamilpa, los vestigios de sitios arqueológicos se remontan hacia el 150 a.C., cuyos primeros pobladores fueron Teotihuacanos y quienes después fueron desplazados por los chichimecas. Nanacamilpa se configuraba dentro de una dinámica territorial importante, pues se estableció como lugar de tránsito de intercambio comercial entre Teotihuacán y Cholula (Acle et al., 2018).

En América, tanto los nativos americanos como las culturas antiguas mexicanas ya se habían acercado a las especies. La cultura Cherokee designa a las luciérnagas con el nombre de *unitsidaluga*, que significa “bichos de luz” o “insectos con cola de fuego”; sin embargo, no hay evidencia histórica de creencias alrededor de las especies en la cultura antigua Cherokee, a pesar de que su territorio posee una alta diversidad. La cultura Navajo, por el contrario, había concebido leyendas asociadas a su fundación, en algunas de las cuales destacaban las luciérnagas. Los mayas, por su parte, crearon una serie de leyendas y canciones alrededor de estos insectos, los cuales asociaban con las estrellas y los dioses (Frierson, 2017), uno de los cuales es Kawiil, quien se asociaba, entre otras cosas, con la luz. En la figura 2.14, se puede apreciar una pieza arqueológica que posiblemente hace alusión a esta deidad, representada a través de lo que pudiera ser una luciérnaga (INAH, s.f.). Los aztecas, por su parte, identificarían con la palabra *temolín* a los insectos con alas endurecidas (Acle, et al., 2018). En los esfuerzos por reconstruir la historia de los pueblos originarios de México después de

Figura 2.14
Pieza arqueológica con posible alusión a una luciérnaga



Museo de sitio de Toniná, Chiapas. Foto: Ignacio Guevara / INAH. Recuperado de: Vela, Enrique (textos y selección), “Luciérnagas”, *Arqueología Mexicana*, edición especial núm. 86, pp. 68-69.

<https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/luciernagas>

la conquista española, fue que, en la Historia general de las cosas de Nueva España, también conocida como el Códice Florentino, se llegaron a plasmar diferentes especies de luciérnaga con los nombres con los que las denominaban (figura 2.15) (Vela, 2019).

Figura 2.15
Especies de luciérnagas en el Códice Florentino



Luciérnaga *azcapapálotl* y *cópitl*. *Códice Florentino*, lib. XI, f. 107r. Digitalización: Raíces. Recuperado de: Vela, Enrique (textos y selección), “Luciérnagas”, *Arqueología Mexicana*, edición especial núm. 86, pp. 68-69.

<https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/luciernagas>

de plantas medicinales (Paz, 2019).

II. Conformación Político-Administrativa del Territorio del Estado de Tlaxcala y Legislativa Ambiental (1400 - 1872)

Las evidencias históricas demuestran que la conservación de los recursos naturales se traza desde la época prehispánica. En el México antiguo, Nezahualcóyotl, tlatoani de la ciudad-estado de Texcoco, se interesó por la conservación de los bosques, cercando así el bosque de Chapultepec e imponiendo penas a quienes incumplieran con los límites establecidos para la obtención de leña (de la Maza, s.f.). Por su parte, Moctezuma creó el jardín de Oaxtepec, convirtiéndose en el primero de su tipo en América. Éste fue lugar favorito de esparcimiento para la élite mexicana, además de ser lugar predilecto para el cultivo

Posterior a la conquista española, en 1525, el papa Clemente VI ordena la fundación de la ciudad novohispana del estado de Tlaxcala, con lo cual también se funda su capital (Rivera, 2015). Cinco años después, el bosque de Chapultepec se convertiría en el primer bosque protegido por orden de Carlos V (Acle, et al., 2018,) y para 1536, el virrey Don Antonio de Mendoza prohíbe las actividades furtivas (de la Maza, s.f.).

Sin duda, las primeras aproximaciones a la clasificación de las especies de flora y fauna se remontan a los orígenes del lenguaje mismo, dando lugar a un sinfín de nombres para

denominarlas, lo que ahora se conoce como “nombres comunes” o “vulgares”. Gracias a esto y a la dificultad que suponía su reconocimiento, surgió la necesidad de agruparlas bajo ciertas características. Con la sistematización de las especies de Carlos Linneo en boga, las luciérnagas empezaban a tener mayor relevancia estética y científica, cuando en 1758 identifica al orden Coleóptera en el sistema de clasificación binomial (Kohlmann y Morón, 2003), aunque ya desde 1685 un sacerdote francés reportó haber visto miles de individuos cerca de los manglares de Bangkok (Lewis, et al., 2020).

Durante gran parte del siglo XIX, tuvieron lugar diversos cambios en el contexto nacional e internacional en materia territorial y legislativa ambiental. En la primera mitad, se conformó parte de la administración territorial actual del estado de Tlaxcala, declarándose como estado de la Federación en 1824 (Rivera, 2015) y fue hasta 1858 que Nanacamilpa se funda como municipio (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, s.f.). En cuanto a la legislativa ambiental, los cambios se vieron reflejados tanto en el contexto nacional con la expedición del reglamento de tala y conservación de los bosques en 1861 (Acle, et al., 2018) como internacional, pero fue este último el que marcó un hito significativo para las políticas ambientales. Fue durante este siglo que se empezó a identificar el cambio climático como responsable de los cambios en las condiciones naturales y, aunque su atribución hacia el ser humano fue cuestionada, significó un precedente para las investigaciones futuras (Gupta, 2010). En materia de Áreas Protegidas, Estados Unidos fue tomado como referencia al otorgar una parte del Parque Yosemite para el uso público y la recreación en 1864 y en 1872, al fundar el Parque Nacional Yellowstone, el primero en el mundo (Phillips, 2004).

III. Designación de las ANP en México y el Mundo (1872 - 1980)

Con el precedente anterior, diversos países alrededor del mundo tomaron esto como fuente de inspiración para establecer sus propias áreas de conservación, incluyendo México. Así, cuatro años después, comienza la protección al Desierto de los Leones en la Ciudad de México (Acle, et al., 2018). Para casi finales de siglo, la explotación de bosques y terrenos baldíos a nivel nacional tendrían que estar bajo reglamento (Reyes, 2020). Fue en 1917 que, por decreto presidencial, el Desierto de los Leones se convierte en Parque Nacional (Acle, et al., 2018), y casi una década después, el entonces presidente Plutarco Elías Calles estableció los antecedentes de lo que hoy se conoce como ANP al nombrar diversas porciones arboladas distribuidas en la república como áreas forestales, protegidas bajo la Secretaría de Agricultura y Fomento a través de la Ley Forestal, actualmente conocida como la LGEEPA (Acle, et al., 2018). Mientras tanto, del otro lado del mundo y con el comienzo de nuevo siglo, las luciérnagas ya se vislumbraban como un espectáculo para miles de visitantes japoneses, quienes abordaban trenes en las ciudades de Kyoto y Osaka para viajar al pueblo Uji, famoso por iluminarse con las luciérnagas Genji (*Luciola cruciata*) (Lewis, et al., 2020).

Durante el gobierno de Lázaro Cárdenas, hubo un fuerte impulso hacia las políticas de conservación en el país, creando más reservas forestales que ahora conforman, en su mayoría, Parques Nacionales. Los gobiernos siguientes al mandato de Cárdenas se caracterizaron por tener nulo interés en la política ambiental, situación que duró casi cuatro décadas hasta el gobierno de Adolfo López Mateos, cuyas políticas en la materia fueron impulsadas por el Dr. Enrique Beltrán al incorporar los principios de la UICN a su gestión (Reyes, 2020). Fue durante este periodo que la conformación territorial de Nanacamilpa comenzaba a transformarse, con la repartición de tierras y propiedades ejidales.

Con la situación y contexto mundial, el movimiento ambientalista comienza a tomar fuerza en los años setenta. Fue en esta misma década que se crea el programa “El hombre y la Biósfera” de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), que buscaba una base científica sólida para mejorar la relación de los seres humanos con su entorno (Mahtar, 1981). Con ello, el cambio climático aparece en la agenda pública como un problema medioambiental de preocupación internacional, por lo que en 1979 se llevó a cabo la primera conferencia mundial sobre el clima (Gupta, 2010). A nivel nacional, en el sexenio de López Portillo, inicia la protección de los ecosistemas de matorral xerófilo, así como la creación de Reservas de la Biósfera, como Montes Azules, Mapimí y de la Michilía y la Zona de Refugio de Fauna Silvestre (Mariposa Monarca) (De la Maza, 1996; Castañeda, 2006; Carabias y Rabasa, 2017 citado en Reyes, 2020).

IV. Inicio de la gestión turística del territorio del Santuario de las Luciérnagas (1980 – 2012)

Alineándose a los planes internacionales, el gobierno de Miguel de la Madrid no solamente se caracterizó por un aumento significativo en la participación científica en todos los proyectos relacionados con ANP, sino que también se administraron bajo el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP) a cargo de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, creada en ese mismo sexenio. Además, se crearon diversas reservas terrestres y acuáticas y se implementó la reforma que proponía la elevación a rango constitucional la restauración y preservación del equilibrio ecológico obligatorio (De la Maza, 1996; Castañeda, 2006; López-Vallejo, 2014). En esta línea, en 1988 se publica en México la LGEEPA (Acle, et al., 2018). La consolidación de nuevas ANP siguió su curso durante el mandato de Carlos Salinas de Gortari. Sin embargo, es en este periodo que se empieza a

valorar a la diversidad biológica como variable fundamental en las investigaciones relacionadas con la naturaleza, por lo que se crea la CONABIO (De la Maza, 1996; Castañeda, 2006; López-Vallejo, 2014). En materia de cambio climático, se llevó a cabo la Conferencia de Toronto, donde se estableció el IPCC y la primera asamblea general de la ONU sobre el tema (Gupta, 2010).

Fue durante los años ochenta que el Centro Ecoturístico Laguna Azul (CELA) inicia funciones, convirtiéndose en el primero en implementar una lógica turística alrededor de las luciérnagas en el estado de Tlaxcala (Dorantes, et al., 2021). Dando inicio a la década siguiente, la Sociedad de Solidaridad Social Piedra Canteada (SSS) adquirió una superficie de poco más de 600 hectáreas de predios de bosque en miras de establecer un centro ecoturístico (Dorantes, et al., 2021). En el contexto internacional, se llevaba a cabo la segunda conferencia mundial sobre el clima, aunado al primer reporte del IPCC. Así, la asamblea general de la ONU empieza a gestionar las primeras negociaciones climáticas que, en 1992, dan lugar a la primera Convención sobre cambio climático. Durante los siguientes años, prosiguieron los acuerdos internacionales, los cuales dieron paso a la publicación del segundo informe del IPCC y al Protocolo de Kyoto (Gupta, 2010).

Casi adentrándose el nuevo milenio, Ernesto Zedillo modifica la LGEEPA, con lo cual se posibilitaba a distintos actores sociales a las iniciativas de creación de ANP dentro de sus propiedades (De la Maza, 1996; Castañeda, 2006; Fernández, 2014). La CONANP fue creada en el año 2000 (CONANP, 2018) como órgano descentralizado de la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), la cual ese mismo año pasó a llamarse Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Universidad

Autónoma de Ciudad Juárez, 2017). Dos años más tarde, se emite la primera certificación como ADVC (CONANP, p. 4, s.f.) y la SSS logra desarrollar el Centro Ecoturístico Piedra Canteada (CEPC), que ya contaba con algunos servicios para turistas, como cabañas y restaurante. Algunos años después, también se establece el Centro Ecoturístico Villas del Bosque Santa Clara (CESC) (Dorantes, et al., 2021). Mediante las nuevas modificaciones, publicado en el Diario de la Federación el 16 de mayo del 2008, se establecen en la LGEEPA las ADVC como competencia federal (Acle, et al., 2018). Las primeras certificaciones que obtuvo el santuario como ADVC se lograron en el 2010 en el predio de Santa Clara El Corte, con aproximadamente 60 hectáreas en total y al año siguiente, en el predio de Bosque Mágico de Piedra Canteada, con cerca de 635 ha. Mientras se organizaba una dinámica turística alrededor de los avistamientos de luciérnaga, en el 2011, los miembros de la SSS organizan el primer Festival del Hongo y la Luciérnaga (FHYL). Aunque dicho evento fracasó logísticamente, dio paso a la formalización del proyecto turístico de luciérnagas (Dorantes, et al. 2021).

Acercándose al final del Protocolo de Kyoto, en 2007 se traza la Hoja de ruta de Bali, que tiene por objetivo esclarecer las metas a llevar a cabo después del año 2012 (Gupta, 2010). Aunque fue considerada un fracaso en materia de política ambiental, los acuerdos de Copenhagen en el año 2009 ratificaron que el aumento en 1.5°C a 2°C de la temperatura actual significaría una catástrofe ambiental para la Tierra (Gupta, 2010).

En el año 2010, científicos, conservacionistas y demás entusiastas interesados en luciérnagas de diversos países se reunieron en Malasia para celebrar el Segundo Simposio Internacional sobre Luciérnagas para discutir desde distintos ángulos sobre la conservación de esta familia

taxonómica. De aquí, se desarrolló la Declaración de Selangor, documento que insta a gobiernos y público en general a tomar medidas sobre la conservación de ecosistemas y hábitats donde se encuentre la luciérnaga (Fallon, et al., 2019).

V. Estructura administrativa y turística del Santuario de las Luciérnagas (2012 hasta la actualidad)

Tras varios intentos por ampliar sus actividades económicas a través del ecoturismo, el proyecto turístico de luciérnagas significó un paso importante para esclarecer quienes serían sus aliados. Entre los distintos niveles de gobierno, empresarios, socios, investigadores, entre otros, de manera oficial, se tradujo por primera vez este proyecto en el 2012 (Dorantes, et al. 2021). Fue durante este año que se consiguieron la mayoría de las certificaciones como ADVC, considerándose así el inicio del boom turístico con respecto a la luciérnaga. Sin embargo, esto no representó un éxito, pues hubo diversas problemáticas alrededor de la implementación del programa, entre ellas, la malinterpretación de los intereses de la comunidad y la superación de la capacidad de carga del ecosistema, afectando así los recursos del bosque. De esta forma, se optó por implementar un programa de protección, en el que se definía como prioridad la conservación de la luciérnaga y su hábitat. Conforme han pasado los años, los predios destinados al avistamiento de la luciérnaga han ido en aumento y se ha ido consolidando una dinámica turística, la cual ha pasado por diversas reconfiguraciones durante este tiempo debido a las tensiones que persisten en las comunidades locales, así como con los demás actores involucrados en la gestión del Santuario de las Luciérnagas y en el recurso mismo (Dorantes, et al. 2021).

2.5. Condiciones físico-geográficas y socioeconómicas del territorio correspondiente al Santuario de las Luciérnagas

El Santuario de las Luciérnagas se ubica en el municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala (figura 2.16), al poniente del estado. Colinda al norte con el municipio de Calpulalpan, al sur con el estado de Puebla (municipio de Tlahuapan) y al oriente con los municipios de Sanctórum de Lázaro Cárdenas y Españaíta. El municipio se encuentra a una altura de 2800 msnm y cuenta con una extensión de 108.324 km², representando el 2.7% de la superficie con respecto al total del estado. Pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano y a la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac. Posee, principalmente, un clima templado subhúmedo, con un rango de temperatura entre los 12°C y 14°C y de precipitación entre 700 y 800 mm. La mitad del territorio posee un suelo phaeozem, mientras que la otra se distribuye entre umbrisol, andosol, leptosol y durisol, respectivamente de mayor a menor extensión. El uso de suelo está dominado por la agricultura, aunque, gracias a su altura, un gran porcentaje del territorio está cubierto de vegetación conformada por bosques de oyamel, pino y encino (figura 2.17), y solamente una pequeña parte la conforman los asentamientos humanos (INEGI, 2009). El municipio cuenta con infraestructura hidroagrícola llamada presa Pozuelos, con una capacidad de almacenamiento de un millón de metros cúbicos (Dirección de Planeación, 2020). Aunque se trate de una construcción para la agricultura, esto puede ser de vital importancia para las especies que habitan en los alrededores, entre ellos, la luciérnaga. Al respecto, las especies de fauna coinciden con la encontrada en los estados que se encuentran en la misma provincia fisiográfica, adaptados para estas condiciones climáticas (INEGI, 2009).

Figura 2.17

Vegetación del Santuario de las Luciérnagas, conformada por bosques de pino, encino y oyamel.



Créditos: Arreguín, 2022.

La población total municipal es de 18, 686 habitantes, de los cuales 9,062 son hombres y 9,624, mujeres, haciendo que su densidad poblacional sea de 167 hab/km² (INEGI, 2020). Gracias a sus recursos naturales, la principal actividad económica que se realiza es el turismo, específicamente el que se desarrolla a partir de los avistamientos de luciérnaga y, en segundo plano, la tala de especies maderables. Aun siendo una actividad con una derrama económica importante, el turismo de luciérnagas se lleva a cabo de manera estacional, por lo que muchos de los habitantes que se dedican a ello durante el verano, tienen que migrar a otros estados a trabajar durante los demás meses del año. De hecho, se considera que el municipio cuenta con un grado de migración medio (Dirección de Planeación, 2020). Aun así, el Santuario de las Luciérnagas se ha diversificado con el objetivo de realizar otro tipo de actividades de

recreación para así aprovechar los recursos que brindan los bosques y mantener el sector laboral durante el resto del año.

Capítulo 3. Cambios en los patrones climatológicos y de uso de suelo en el Santuario de las Luciérnagas

3.1. Patrones climatológicos distintivos y escenarios de cambio climático

Para el análisis de las condiciones climatológicas, se consideraron aquellas estaciones meteorológicas que cumplieran con dos principales factores: uno, que fuera cercano a la zona de estudio y, dos, que sus datos fueran lo más completos posibles. También se tomó en cuenta el rango temporal de esta investigación; sin embargo, la captura de datos que cumpliera con estas tres condiciones resultó complicado. Por ello, se seleccionaron las estaciones meteorológicas de Nanacamilpa (DGE) y Escuela Agropecuaria Nanacamilpa, dado que cumplían con la mayoría de las características para realizar el estudio. En la tabla 3.1, se puede consultar la información general sobre estas estaciones.

Tabla 3.1
Información general sobre las estaciones meteorológicas

Estación y municipio	Clave	Coordenadas		Altura
		Latitud	Longitud	
Nanacamilpa (DGE), Nanacamilpa de Mariano Arista	00029016	19°29'33" N	98°32'07" O	2720 msnm
Escuela Agropecuaria Nanacamilpa, Nanacamilpa de Mariano Arista	00029039	19°29'53" N	98°31'29" O	2690 msnm

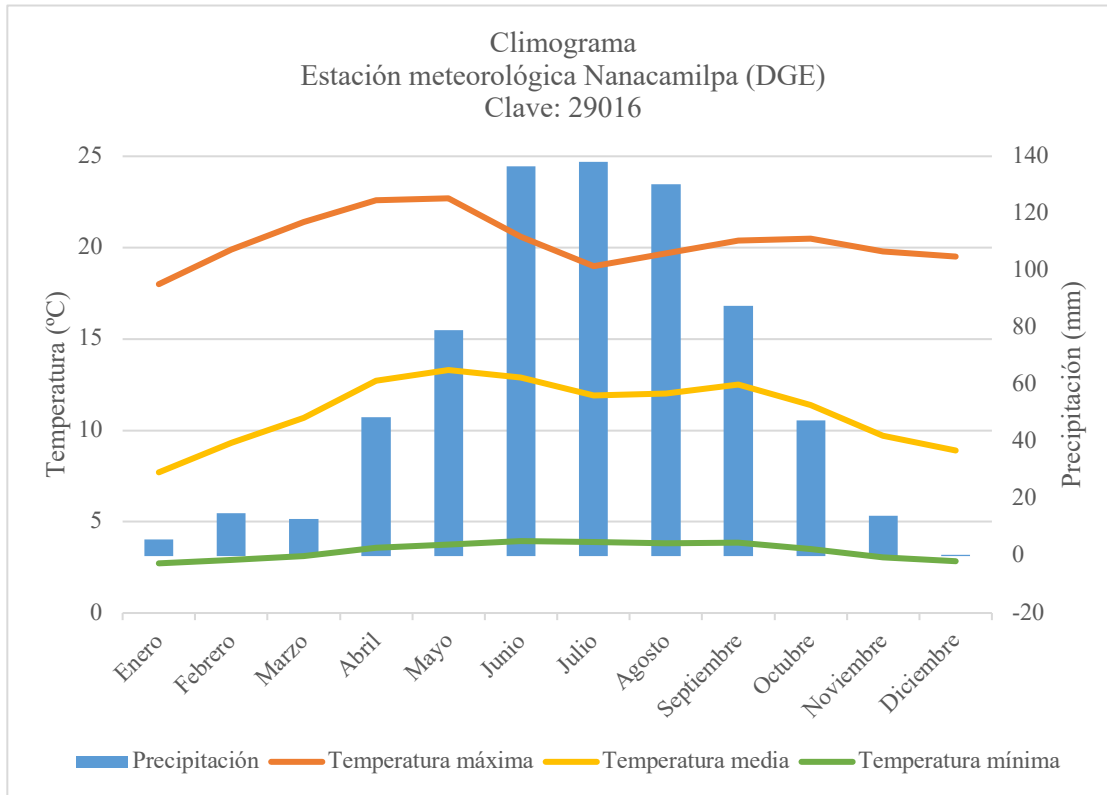
Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Normales climatológicas

De acuerdo con las normales climatológicas entre el periodo de 1981 a 2010 obtenidas de la estación Nanacamilpa (DGE) (figura 3.1 y 3.2), la temperatura máxima normal anual tiene un valor de 20.3°C. La temperatura máxima, la máxima mensual y la máxima diaria con mayores valores se registraron en mayo, con valores de 22.7°C, 27.8°C y 36°C,

Figura 3.1

Climograma anual de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)

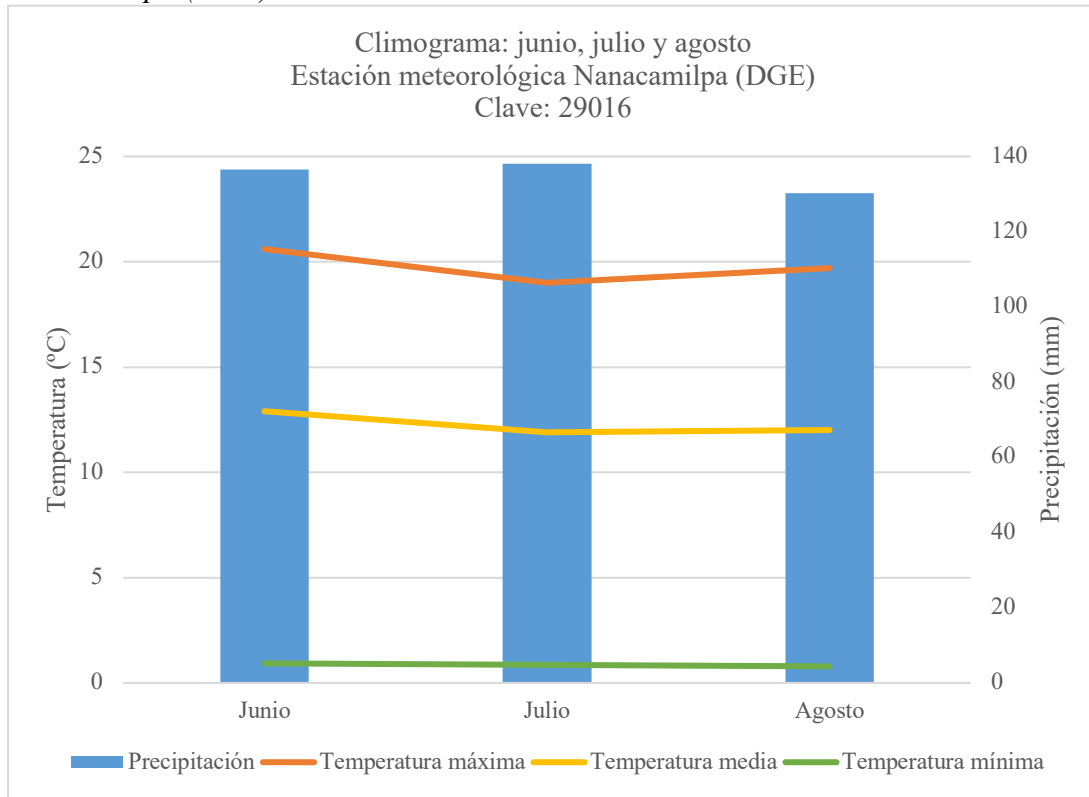


Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

respectivamente. El año de registro para la máxima mensual fue en 2003 y la fecha para la máxima diaria fue el 14 de mayo del 2005. La temperatura máxima normal de menor valor se registró en enero con 18°C, la máxima mensual se dio en julio en 1988 (21.5°C) y la máxima diaria, el 21 de octubre de 1988 (26°C). Para el periodo de reproducción de luciérnagas que comprende los meses de junio, julio y agosto, los valores normales son de 20.6°C, 19°C y 19.7°C, respectivamente. Las máximas mensuales fueron de 25°C en 2008 para junio, 21.5°C en 1988 para julio y 22°C en 1987 para agosto. Las máximas diarias se registraron de 29°C con fecha del 14 de junio del 2005, de 30°C con fecha del 10 de julio del 2005 y 29°C con fecha del 26 de agosto del 2006.

Figura 3.2

Climograma de la temporada de avistamiento de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

La temperatura media normal anual es de 11.1°C, las extremas son en mayo (13.3°C) y enero (7.7°C). Para el periodo de reproducción de luciérnagas, los valores registrados son de 12.9°C, 11.9°C y 12°C, respectivamente para los meses de junio, julio y agosto. En cuanto a la temperatura mínima normal anual, ésta es de 1.8°C, con valores extremos registrados en junio (5.2°C) y enero (-2.6°C). Las mínimas mensuales datan en julio y diciembre con valores de 2.1°C y -8°C, ambas con año de registro del 2008. Los extremos de las mínimas diarias se dieron, con máximo valor, el 11 de agosto del 2009 (-2°C), mientras que con mínimo valor, el 3 de abril del 2006 y el 5 de diciembre del mismo año (ambos con valor de -11°C). Junio, julio y agosto registran normales de 5.2°C, 4.8°C y 4.4°C respectivamente y sus mínimas mensuales fueron de 0.4°C para junio del 2008, 2.1°C para julio del mismo año y 1.4°C para

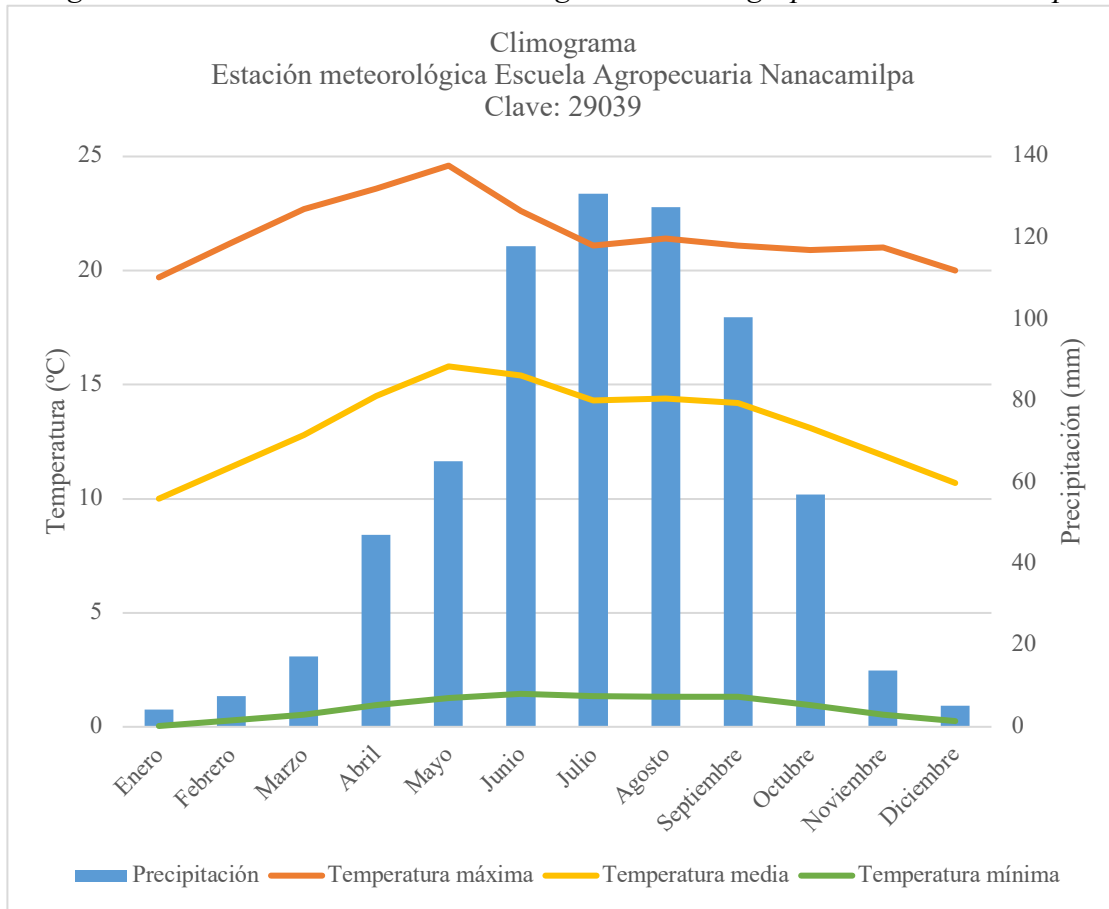
agosto en 2009. Las mínimas diarias registradas para cada mes del periodo de reproducción fueron -2.5°C , -4°C y -2°C , datados el 13 de junio del 2006, 15 de julio del 2003 y 11 agosto del 2009, respectivamente.

La precipitación normal anual registrada en esta estación es de 715.8 mm, siendo las normales extremas 138.1 mm en julio y 0.5 mm en diciembre. Las máximas mensuales tuvieron registros de 237.2 mm en julio del 2005 y 3.5 mm en diciembre del 2007. Las máximas diarias fueron de 72.9 mm con fecha del 9 de julio del año 2005 y 1.5 mm con fecha del 5 de diciembre del 2007. Junio y agosto tienen datos normales de 136.5 mm y 130.2 mm respectivamente. Sus máximas mensuales fueron de 232.8 mm con año del 2003 y 213.9 mm con año del 2007. Por último, las máximas diarias de precipitación para estos meses fueron de 39 mm el 2 de junio del 2003 y de 38.5 mm el 22 de agosto del 2007.

Ahora bien, de acuerdo con los datos obtenidos de la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa con un periodo que abarca de 1981 a 2010 (figura 3.3 y 3.4), la temperatura máxima normal anual es de 21.7°C y sus valores extremos se registran en mayo con 24.6°C y enero, con 19.7°C . Las máximas mensuales extremas fueron de 29.8°C en mayo de 1998 y 21.5°C en enero de 1982. La máxima diaria extrema de mayor valor se dio el 9 de mayo de 1998 con 34°C . La máxima diaria de menor valor fue de 25°C y con fecha de registro del 4 de agosto de 1996. En el caso del periodo de reproducción de luciérnagas, las temperaturas máximas normales son de 22.6°C para junio, 21.1°C para julio y 21.4°C para agosto. Las máximas mensuales fueron de 22.6°C en junio de 1988, 23.3°C en julio de 1999, y 22°C en agosto de 1988. Las máximas diarias fueron de 31°C , 28°C y 25°C con fechas del 15 de junio de 1998, 6 de julio de 1999 y 4 de agosto de 1996, respectivamente.

Figura 3.3

Climograma anual de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa

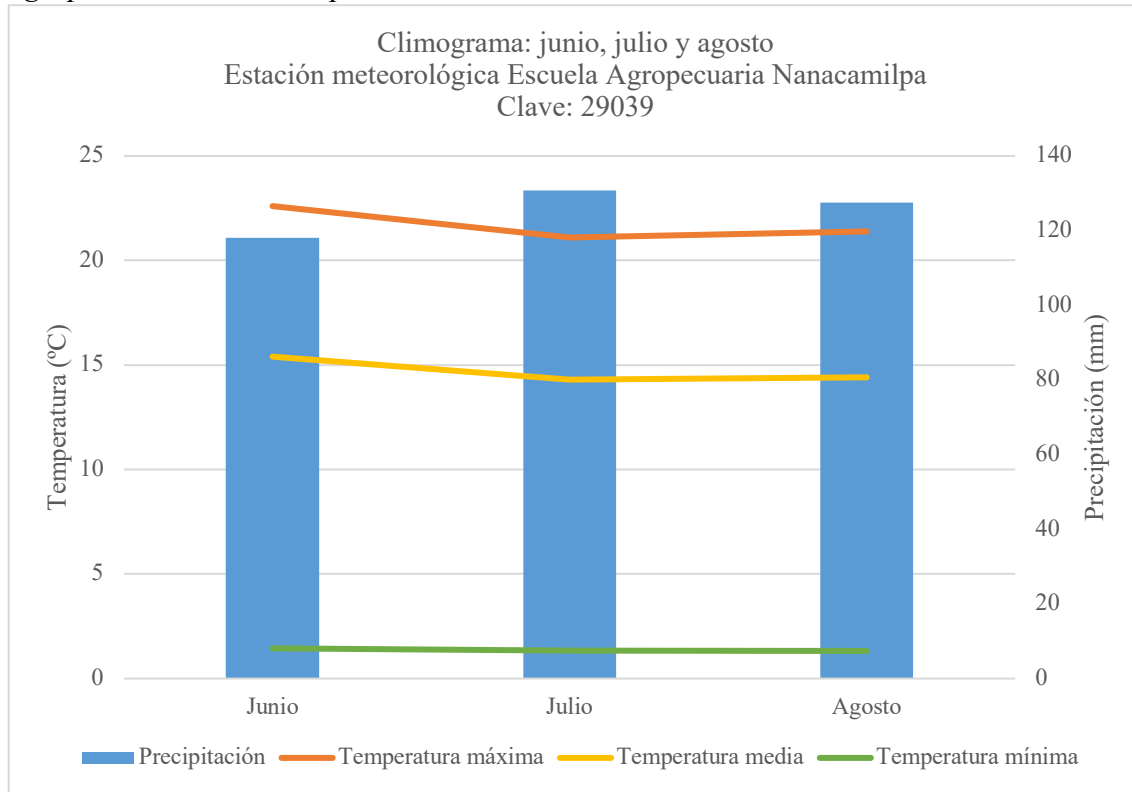


Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

La temperatura media normal anual tiene un valor de 13.2°C, con extremas registradas en mayo con 15.8°C y enero, con 10°C. Durante los meses de junio, julio y agosto, se presentan valores de 15.4°C, 14.3°C y 14.4°C, respectivamente. En lo que concierne a la temperatura mínima normal anual, es de 4.8°C, con extremas en junio con 8.1°C y enero con 0.2°C. Las mínimas mensuales se dieron en junio de 1982 con 6.5°C y en enero de 1986 con -1.2°C. La mínima diaria extrema de menor valor se registró el 27 de enero 1988 con -8°C y la mínima diaria de mayor valor se registró el 17 de julio de 1986 con 2°C. Julio y agosto tienen temperaturas mínimas normales de 7.5°C y 7.4°C y sus mínimas mensuales fueron de 6.2°C y 5.3°C, ambos con año de registro en 1982. Para las mínimas diarias no mencionadas, se registraron 0°C para el 29 de junio de 1986 y 1.5°C el 23 de agosto de 1982.

Figura 3.4

Climograma de la temporada de avistamiento de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



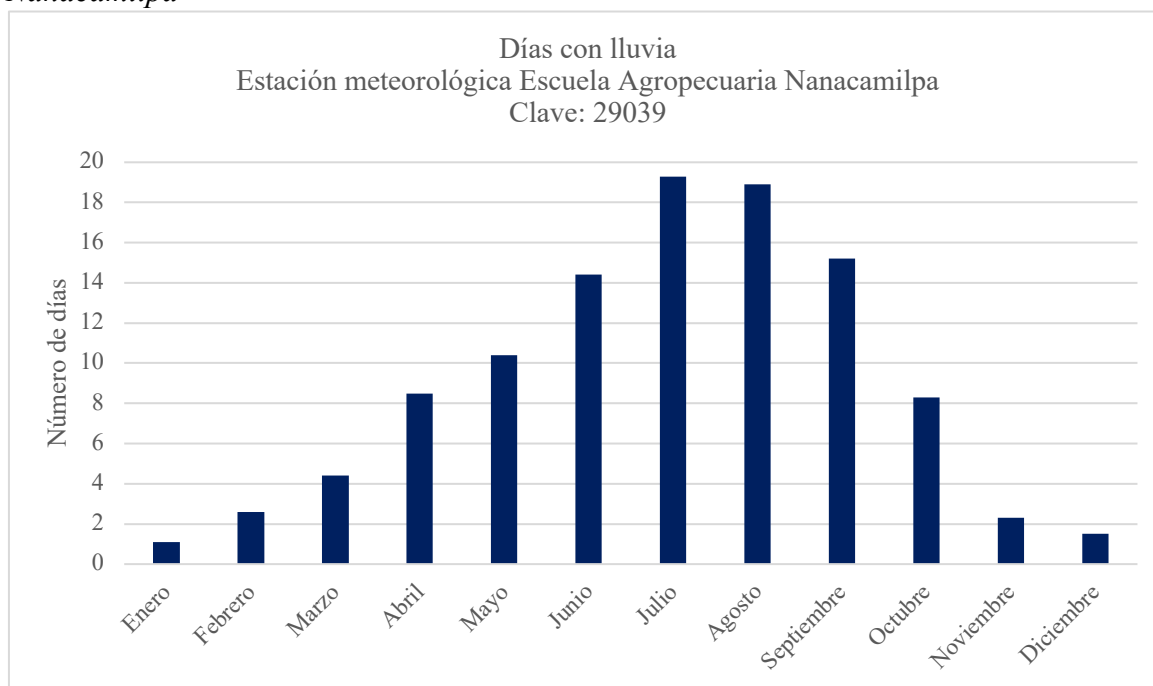
Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

La precipitación normal anual es de 694.2 mm, con valores extremos en julio y enero de 130.8 mm y 4.2 mm, respectivamente. Las máximas mensuales registradas fueron en julio de 1983 con 239.5 mm y enero de 1981 con 18 mm. Las máximas diarias extremas se dieron el 3 de octubre de 1999 con 62 mm y el 23 de febrero de 1981 con 11 mm. Los meses que comprenden el periodo de reproducción de luciérnagas registran, en junio, 118 mm y agosto, 127.5 mm para la precipitación normal. Las máximas mensuales van de 203.2 mm en junio de 1985 y 165 mm en agosto de 1999. Las máximas diarias fueron de 51.1 mm el 27 de junio de 1989, 41.5 mm el 22 de julio de 1996 y 30.4 mm el 24 de agosto de 1985.

Esta serie de datos considera otras variables como el número de días con lluvia (figura 3.5), la niebla (figura 3.6) y la evaporación total (figura 3.7). El valor anual de los días con lluvia es de 106.9 días, con valores extremos en julio con 19.3 días y 1.1 días en enero. Los valores correspondientes para el periodo de luciérnagas fueron de 14.4 días para junio y 18.9 días para agosto. Por otro lado, la niebla obtuvo un valor anual de 5.3 días y sus valores extremos fueron en diciembre con 0.7 días y febrero con 0.1 días. Junio, julio y agosto tienen valores para estos años de 0.2 días, 0.6 días y 0.5 días, respectivamente. Por último, la evaporación total tuvo un valor anual de 1246.7 mm, siendo los extremos en mayo (146.1 mm) y diciembre (68.9 mm). Los valores de esta variable para junio, julio y agosto fueron de 111.9 mm, 102.6 mm y 106.6 mm.

Figura 3.5

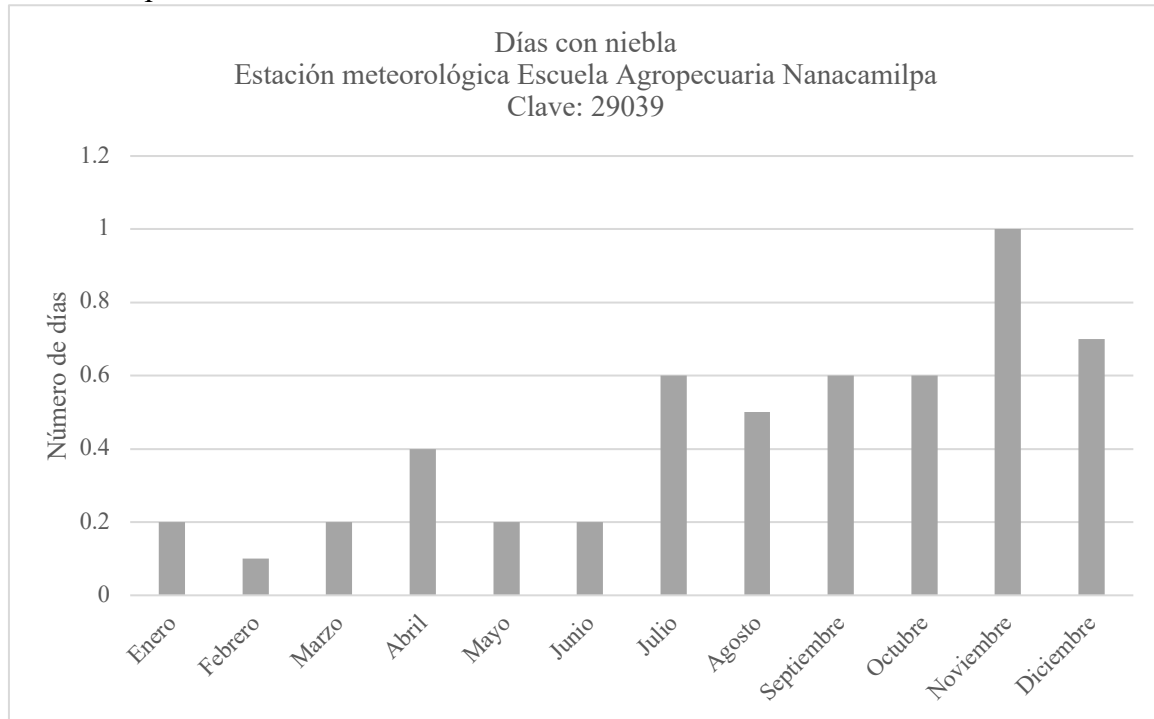
Gráfica de días con lluvia de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.6

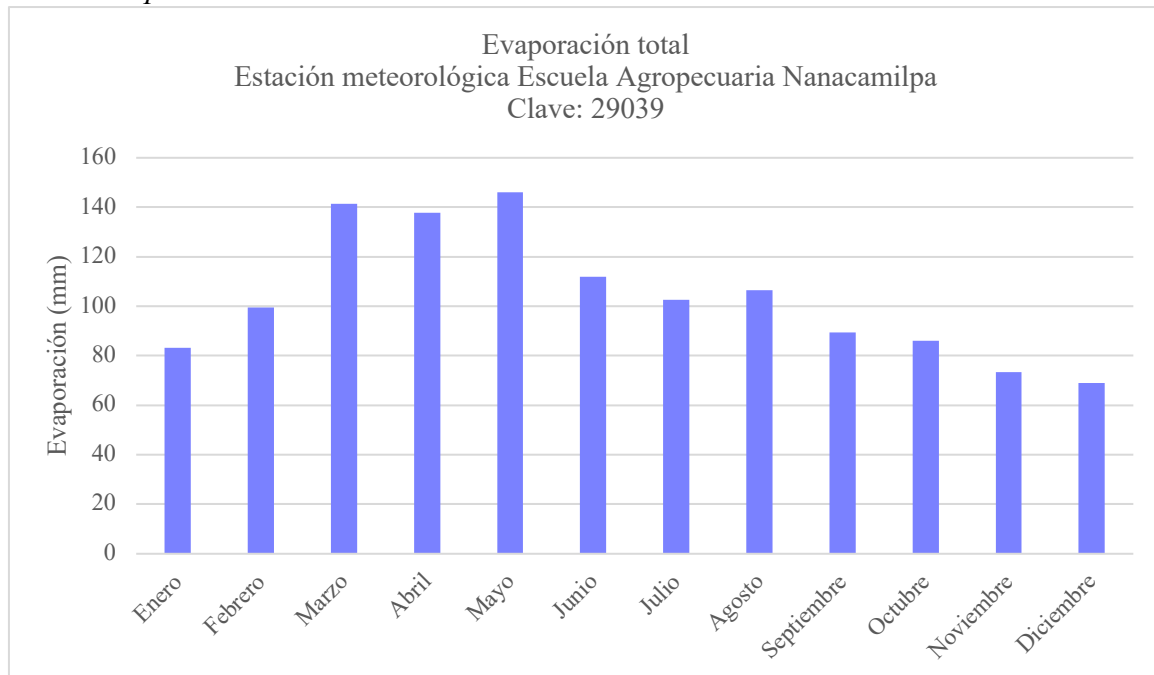
Gráfica de días con niebla de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.7

Gráfica de evaporación total de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



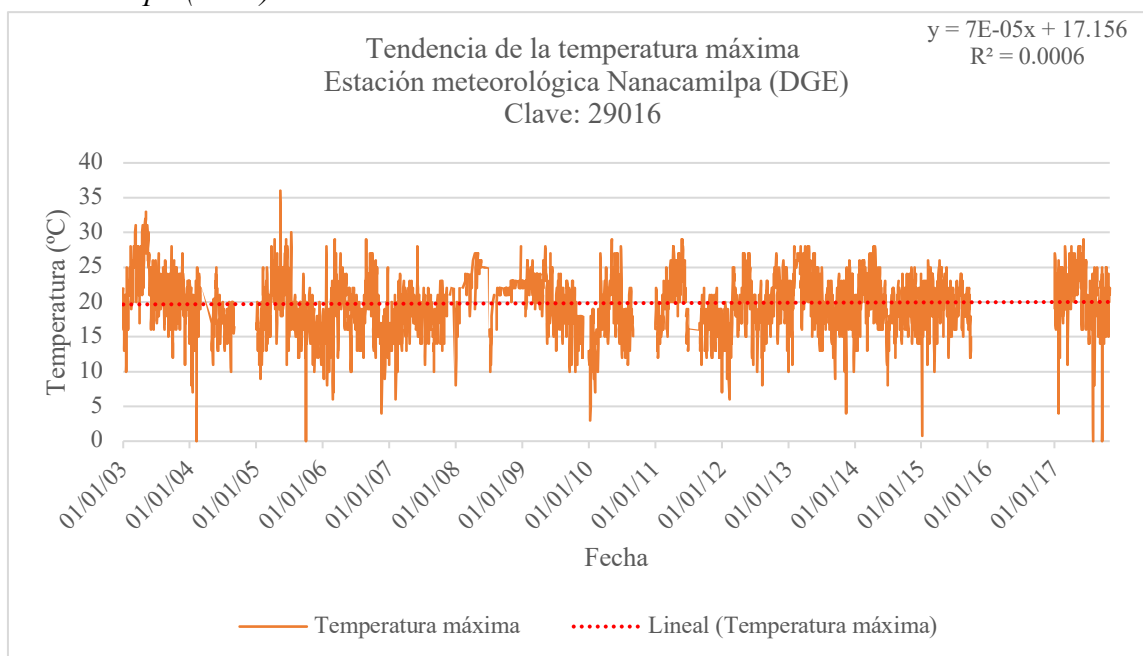
Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Tendencias del clima

De acuerdo con los datos diarios para la estación Nanacamilpa (DGE), la temperatura máxima ha incrementado (figura 3.8), aunque de manera gradual ($R^2 = 0.0006$). Esto también puede significar una estabilización de la variable. De igual manera, la temperatura mínima (figura 3.9) también ha incrementado, sin embargo, su proyección lineal implica un cambio más drástico ($R^2 = 0.0041$). Esto quiere decir que, en los últimos años, las temperaturas mínimas alcanzadas son cada vez más altas.

Figura 3.8

Gráfica de datos diarios para temperatura máxima de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)

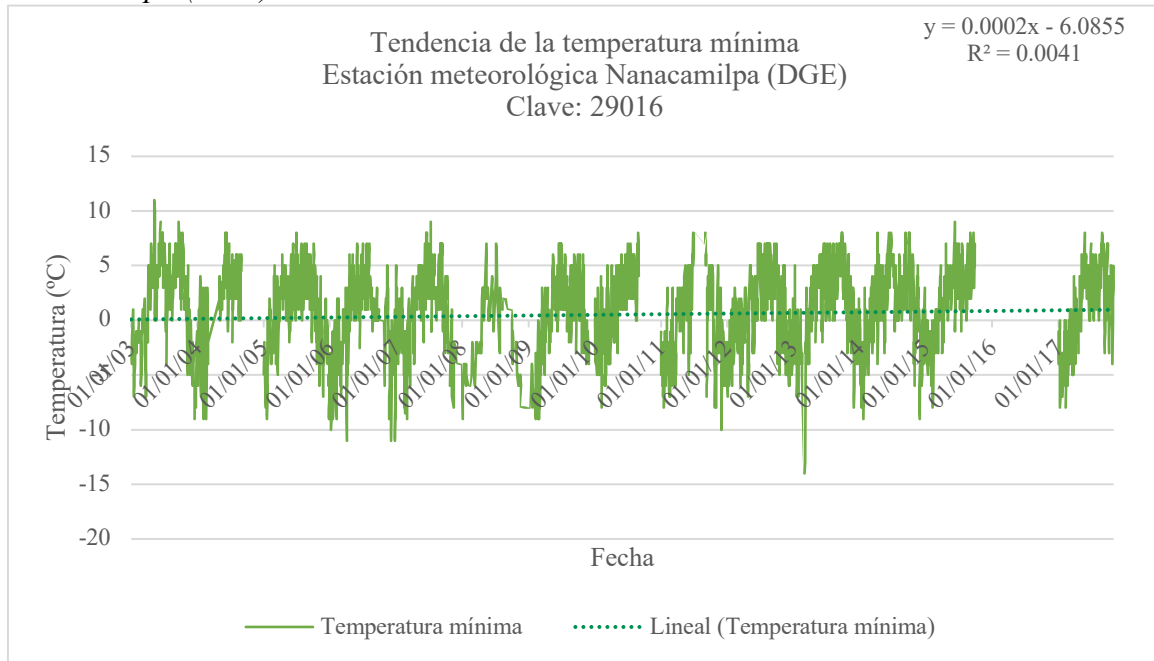


Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Por otro lado, la precipitación (figura 3.10), a pesar de mostrar una tendencia ligeramente al alza ($R^2 = 0.0015$), en los últimos años, ha tenido menores precipitaciones. Esto puede indicar que la precipitación tiene poca variabilidad. Por último, la evaporación (figura 3.11) muestra ser la que mayor cambio ha tenido en su proyección ($R^2 = 0.0085$). Esto quiere decir que la evaporación ha incrementado en los últimos años, con valores extremos máximos en los

Figura 3.9

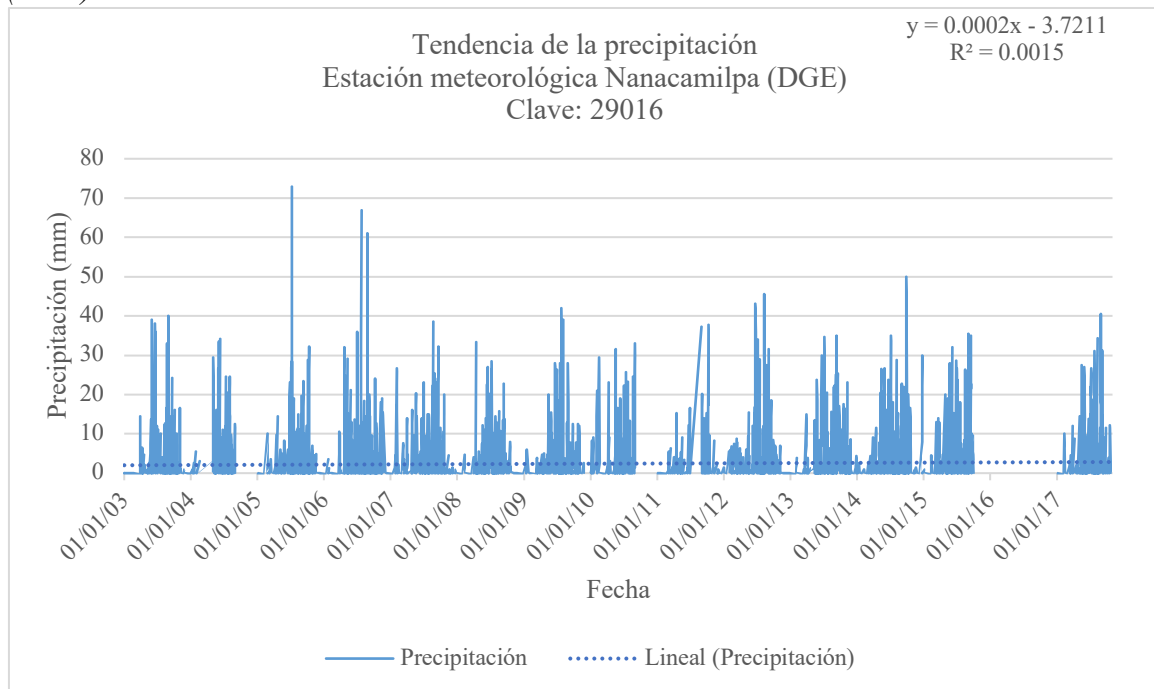
Gráfica de datos diarios para temperatura mínima de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.10

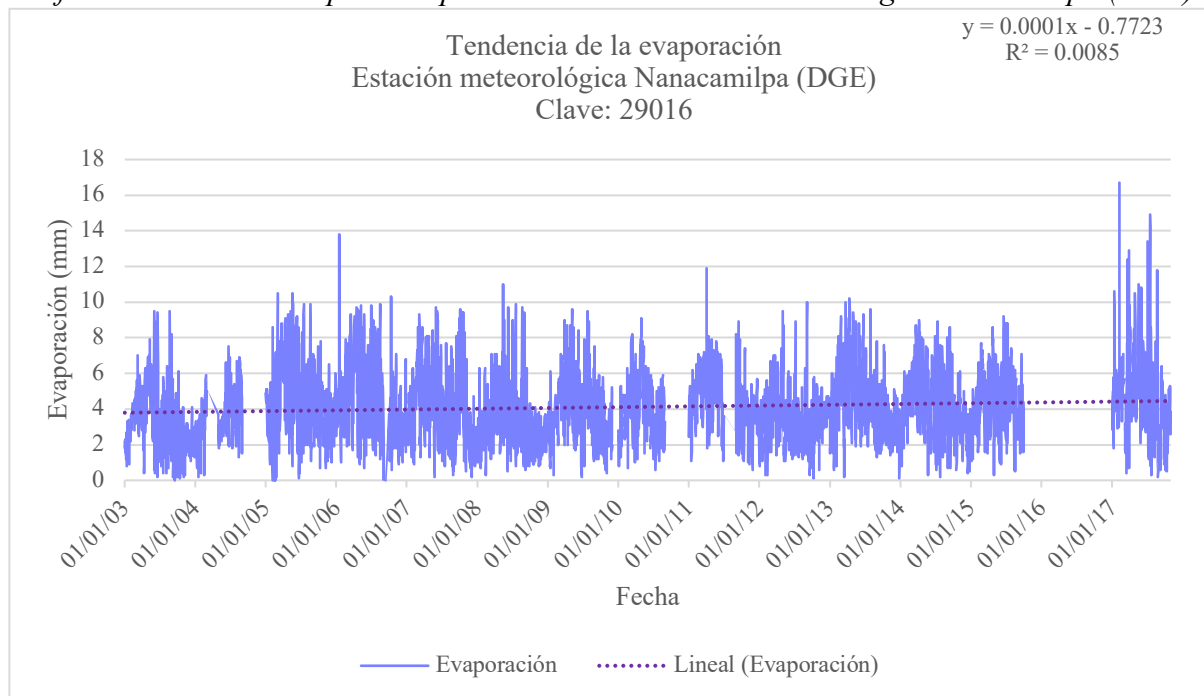
Gráfica de datos diarios para precipitación de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.11

Gráfica de datos diarios para evaporación de la estación meteorológica Nancamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

últimos cinco años.

Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El Índice Estandarizado de Precipitación, también conocido como el Índice Normalizado de Precipitación, representa un valor numérico que calcula las veces que la precipitación se desvía de la media o la normal. Dado que solamente maneja la precipitación para su cálculo, el SPI es muy utilizado en los estudios sobre los periodos y ciclos húmedos y secos a corto y largo plazo. Aun cuando es un método efectivo y sencillo, las estaciones climatológicas tienen que cumplir ciertos requisitos para que los datos puedan ser utilizados en el cálculo del SPI. El SMN considera las estaciones que cuentan con series de datos de más de 30 años, que falte menos del 20% de información en el periodo y que las estaciones reporten información constante y actualizada (SMN, s.f.). Las estaciones meteorológicas de Atlanga

San José y Calpulalpan se encontraban en existencia en esta base de datos y fueron las que se emplearon en el análisis debido a su cercanía a la zona de estudio. En la tabla 3.2, se muestra la información general sobre estas estaciones.

Tabla 3.2
Información general sobre las estaciones meteorológicas

Estación y municipio	Clave	Coordenadas		Altura
		Latitud	Longitud	
Atlanga San José, Atlangatepec	29003	19°33'36" N	-98°12'00" O	2489 msnm
Calpulalpan, Calpulalpan	29035	19°35'24" N	-98°33'36" O	2690 msnm

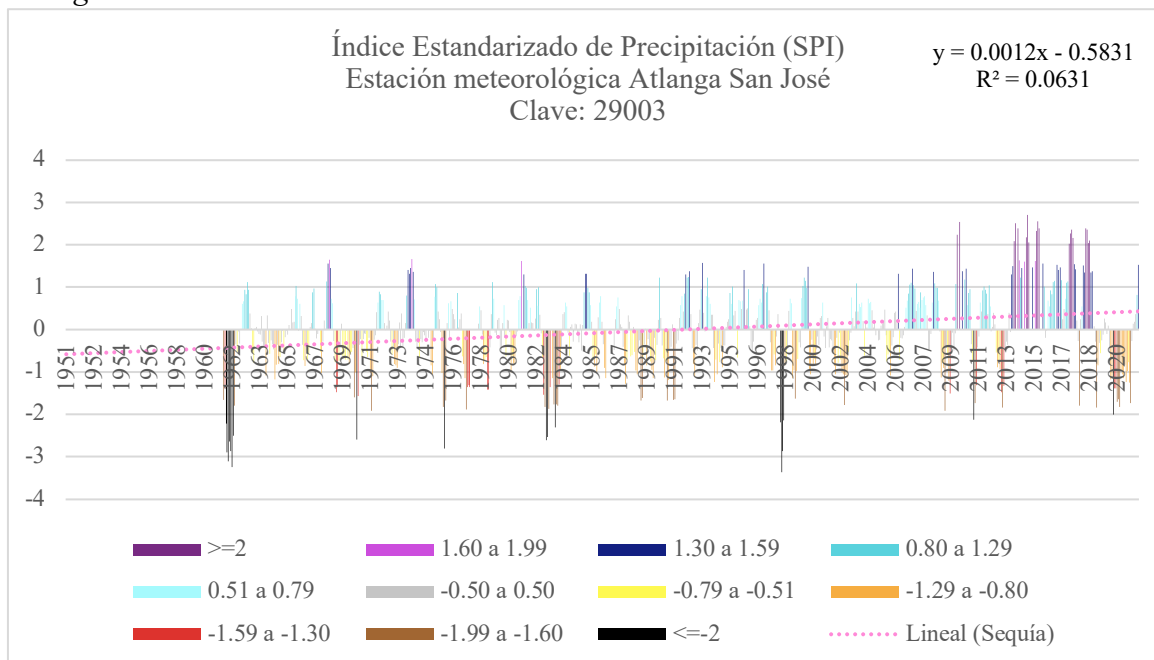
Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

La estación meteorológica Atlanga San José (figura 3.12) mostró condiciones históricas de sequía excepcionalmente secas, aunque también hay algunos años en que las condiciones fueron más húmedas. Sin embargo, los valores que revelan condiciones excepcionalmente secas tuvieron valores más extremos. En el periodo que corresponde al tiempo de los últimos 20 años, las condiciones mostraban ser húmedas con periodos intermitentes de sequía. Aproximadamente del 2013 al 2017, las condiciones fueron húmedas o muy húmedas, donde no hubo extremos de sequía. Fue a partir del 2018 que se observaron valores de sequía extrema y, en los últimos 3 años, se ha vuelto más recurrente, además de ser más extremos. Su proyección lineal indica que las condiciones de humedad van en aumento ($R^2 = 0.0631$).

La estación meteorológica de Calpulalpan (figura 3.13) mostró, también, condiciones históricas de humedad intermitentes, a excepción de algunos años que tuvieron picos o muy altos o muy bajos de humedad. Los picos bajos en humedad se registraron desde la década

Figura 3.12

Gráfica para el índice estandarizado de precipitación (SPI) de la estación meteorológica Atlanga San José



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

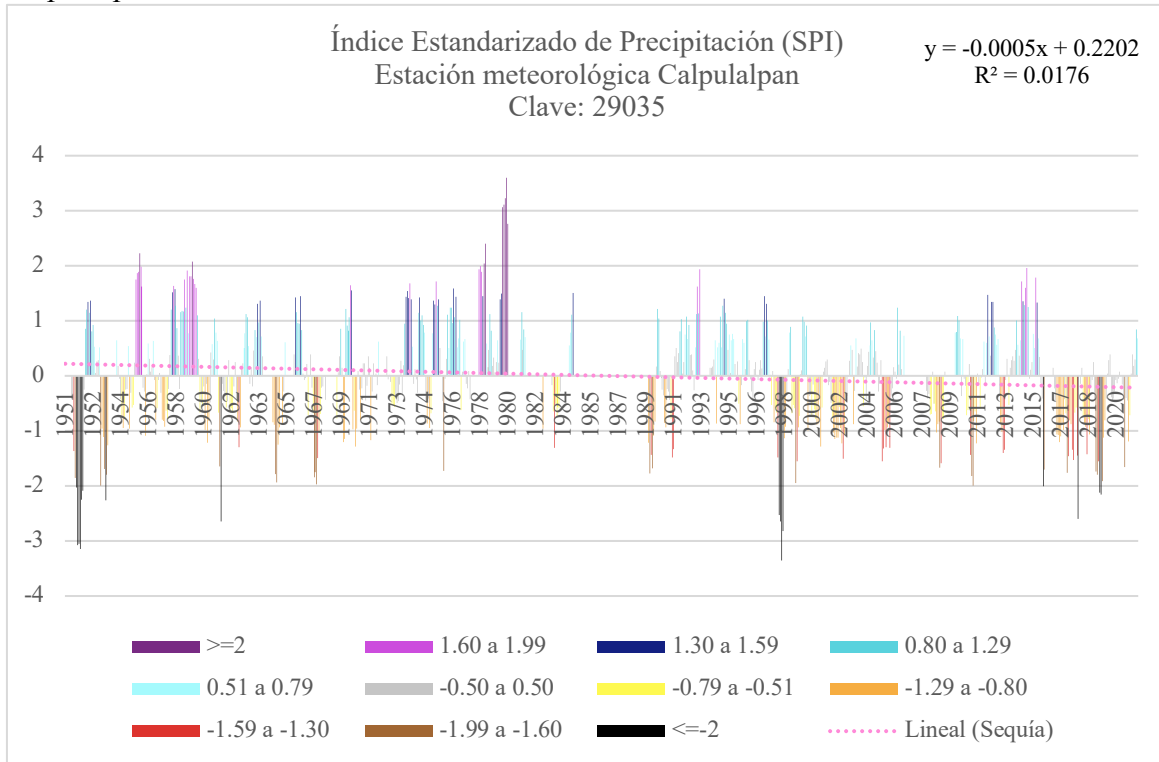
de los cincuenta, con valores de sequía excepcional y, en los años ochenta, se registraron aquellos de humedad excepcional. Así como en la estación anterior, las condiciones de humedad en los últimos 20 años han sido intermitente, pero con valores cada vez más extremos. En los últimos seis años, las condiciones se han mantenido en secas, y van desde ligeramente seco hasta excepcionalmente seco. Su proyección lineal indica que las condiciones de humedad van a la baja ($R^2 = 0.0176$).

Sequías en Nanacamilpa, Tlaxcala

Desde el comienzo de los 2000, las sequías en Nanacamilpa (figura 3.14) han sido notorias. Sin embargo, el municipio muestra una tendencia a mantenerse en condiciones moderadas, con solamente un pico de sequía extrema en el año 2011. Además, estas condiciones son cada vez más recurrentes y se mantienen durante meses o años, es decir, las sequías son más

Figura 3.13

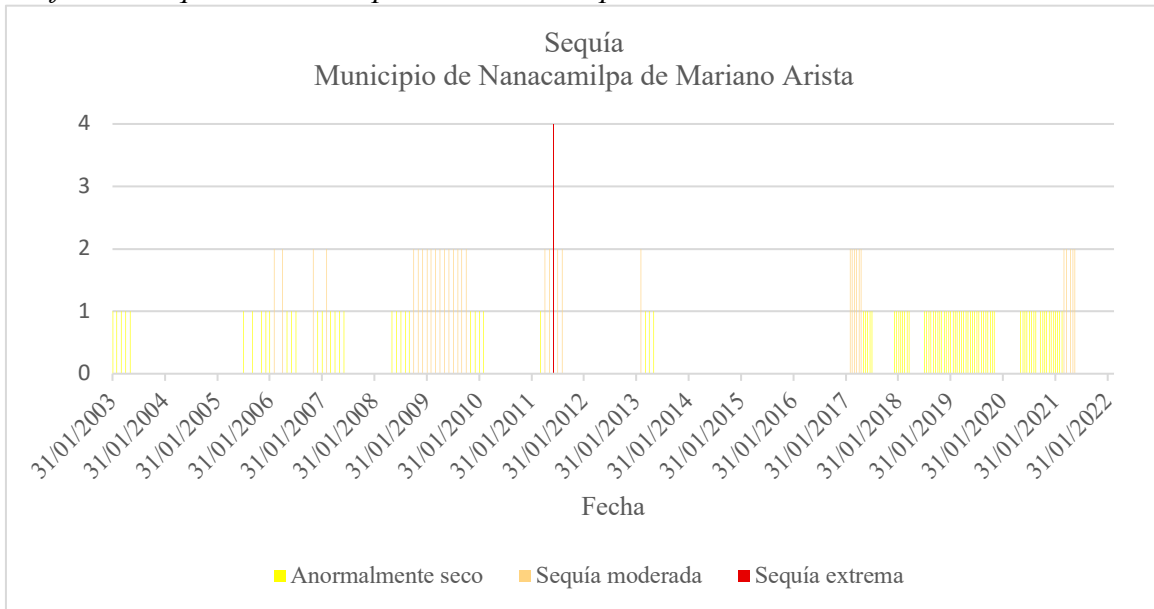
Gráfica para el índice estandarizado de precipitación (SPI) de la estación meteorológica Calpulalpan



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.14

Gráfica de sequía del municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

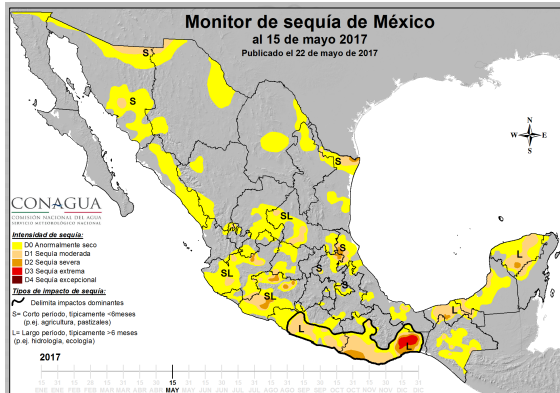
intensas y prolongadas. De febrero a mayo del 2017 hubo periodos con sequía moderada, pero a partir de junio de ese año se mantuvieron condiciones anormales hasta en un periodo de dos años, con periodos cortos donde no se presentó. Los valores pasaron a ser de sequía moderada durante el año 2021. Para inicios del 2022, ya no se presentaron condiciones de sequía.

Los mapas que se presentan a continuación (figuras 3.15, 3.16, 3.17, 3.18 y 3.19) representan las condiciones de sequía a nivel nacional en diferentes años. Se eligieron aquellos años donde Tlaxcala y, en específico, Nanacamilpa presentara condiciones de sequía en meses de reproducción de luciérnagas. Conforme han pasado los años, las sequías se han hecho más recurrentes y graves, pasando de normalmente secas a moderadas en el área de estudio. Fue durante 2020 y 2021 donde las sequías afectaron mayor territorio. Aunque Tlaxcala no tuvo sequías extremas o excepcionales, la experiencia de los guías locales en Nanacamilpa habla de las repercusiones de estas condiciones al desplazar a las luciérnagas a mayor altitud debido a la falta de humedad.

Anomalías climatológicas (1980-2017)

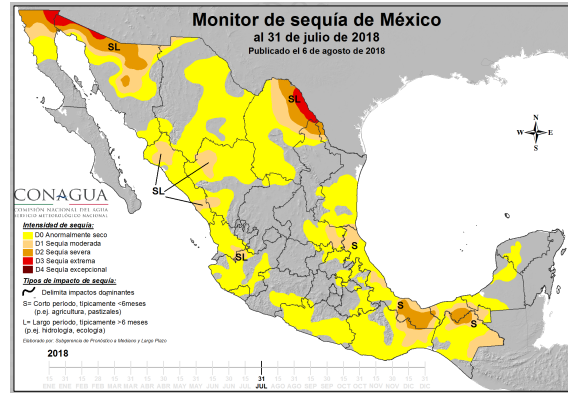
Las anomalías de la temperatura media en la estación Nanacamilpa (DGE) (figura 3.20) han sido positivas desde 1985 con valor extremo de 2.4°C en 1987. Posteriormente, las anomalías fueron negativas en 2005 y 2006, con valores de -1.5°C y -1.9°C, respectivamente. Las anomalías fueron incrementando hasta el 2012, cuando disminuyó ligeramente y 2014 cuando pasó de -0.3°C a -0.6°C. En la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (figura 3.21), la tendencia de la temperatura es positiva. El punto máximo fue en 1989 con valor de 0.9°C, y el más bajo se registró desde 1975 con -1.1°C.

Figura 3.15
Monitor de sequía para México: 15 de mayo de 2017



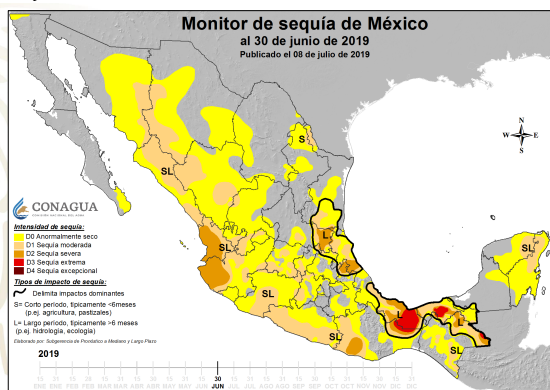
Fuente: Tomado de *Monitor de sequía en México* por SMN, s.f., Gobierno de México, (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>)

Figura 3.16
Monitor de sequía para México: 31 de julio de 2018



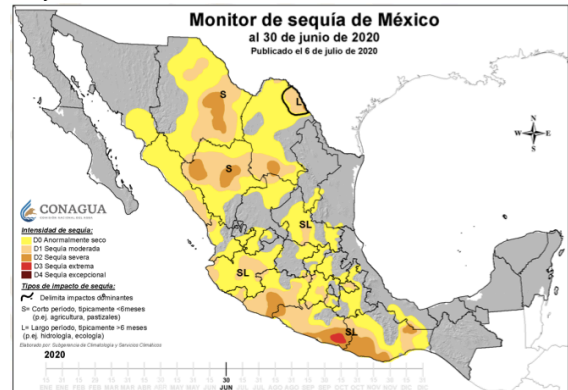
Fuente: Tomado de *Monitor de sequía en México* por SMN, s.f., Gobierno de México, (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>)

Figura 3.17
Monitor de sequía para México: 15 de mayo de 2017



Fuente: Tomado de *Monitor de sequía en México* por SMN, s.f., Gobierno de México, (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>)

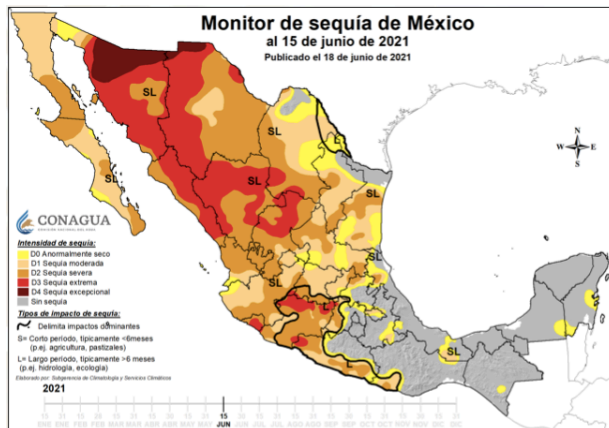
Figura 3.18
Monitor de sequía para México: 15 de mayo de 2017



Fuente: Tomado de *Monitor de sequía en México* por SMN, s.f., Gobierno de México, (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>)

Las anomalías para la temperatura máxima promedio en la estación Nanacamilpa (DGE) (figura 3.22) mostró una serie de altibajos, donde en 1985 hay un incremento significativo y después, un decremento drástico hasta su punto más bajo en 2005 con -1.8°C . De ahí tuvo una estabilidad con un ligero ascenso hacia el 2007, con 1.6°C por debajo de la normal y en 2008, tuvo un ascenso contundente hacia su punto extremo más alto, con 2.1°C por arriba de

Figura 3.19
Monitor de sequía para México: 15 de mayo de 2017



Fuente: Tomado de *Monitor de sequía en México* por SMN, s.f., Gobierno de México, (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>)

la normal. Aun así, en 2012 se registró uno de los puntos más bajos, con -1.2°C .

Los últimos años que tuvieron un registro completo han tenido altibajos, aunque cada vez son menos variables.

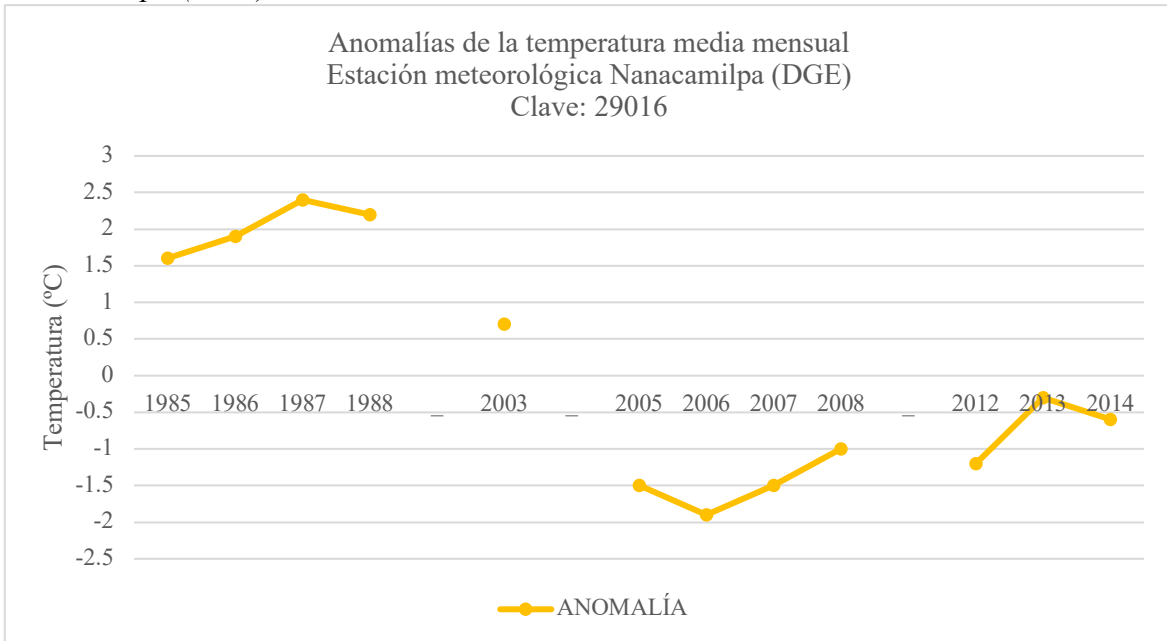
Así como con la temperatura media, las anomalías de la temperatura máxima para la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (figura 3.23) han tendido a un ascenso generalizado, aunque en

1982 se registró un ascenso importante hacia 0.3°C por arriba de la normal y que para 1985 tuvo un decremento hacia 0.9°C por debajo de la normal. En los siguientes años, las anomalías tendieron hacia una estabilidad hasta 1998, cuando registró su punto extremo más alto, con 1.2°C . El último año registró un descenso hacia 0.7°C por arriba de la normal.

Las anomalías de la temperatura mínima promedio para la estación Nanacamilpa (DGE) (figura 3.24) se mostraron relativamente estables en un periodo de 3 años hasta el 2003, cuando se presentó un decremento importante. Desde este punto, siguió así durante los próximos 5 años, con su punto más bajo en 2008 con 3.2°C por debajo de la normal. De aquí siguió un incremento drástico hacia el 2012, donde desde entonces se ha mantenido debajo de la normal entre los valores de 1.1°C y 0.7°C . A diferencia de esta primera estación, la que corresponde a la Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (EAN) (figura 3.25) durante el periodo que capturó datos, se obtuvieron una serie de altibajos en los valores, teniendo pocos periodos de estabilidad. Así, su punto más alto se registró por arriba de la normal en el año 1988 con

Figura 3.20

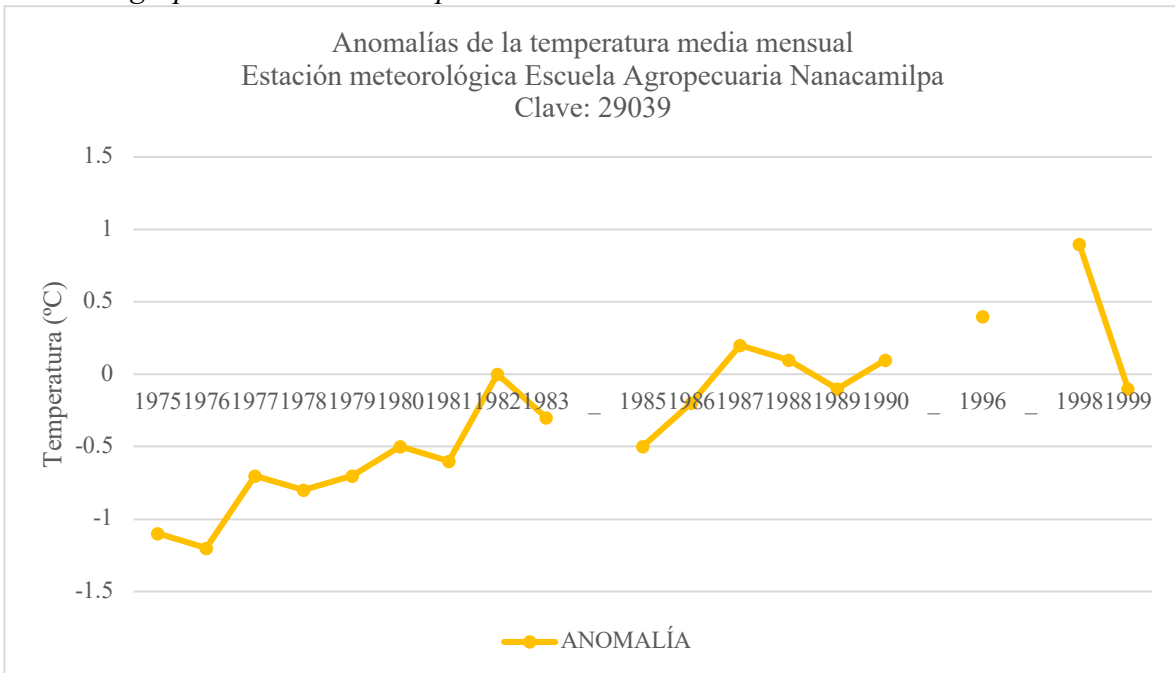
Gráfica de anomalías para la temperatura media mensual de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.21

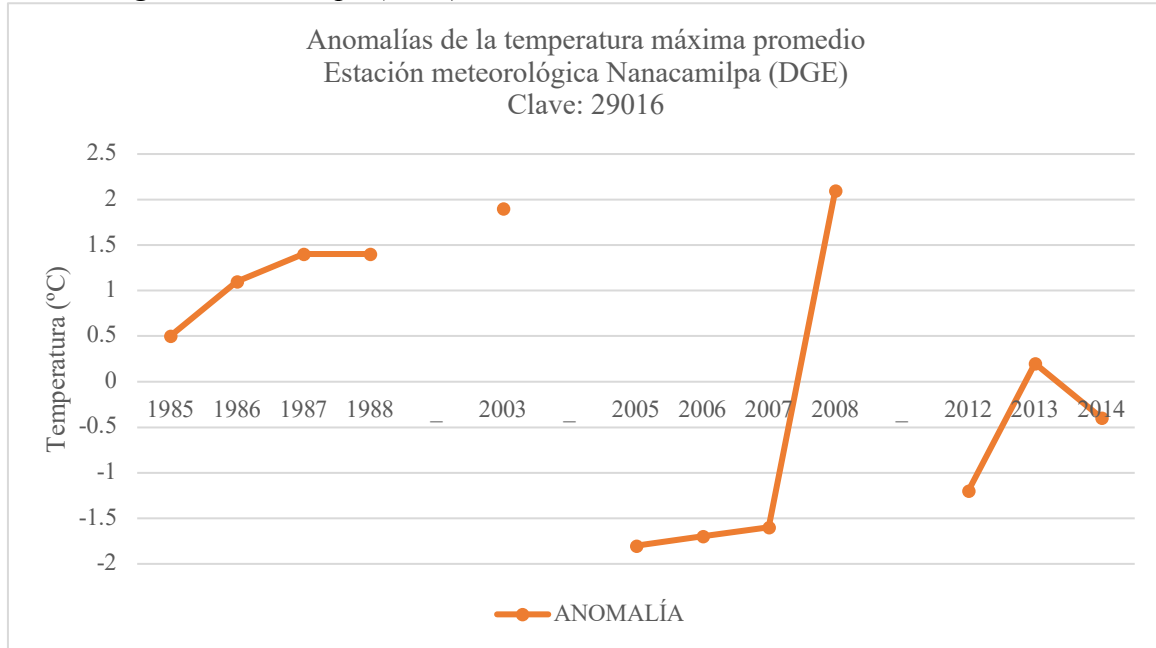
Gráfica de anomalías para la temperatura media mensual de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.22

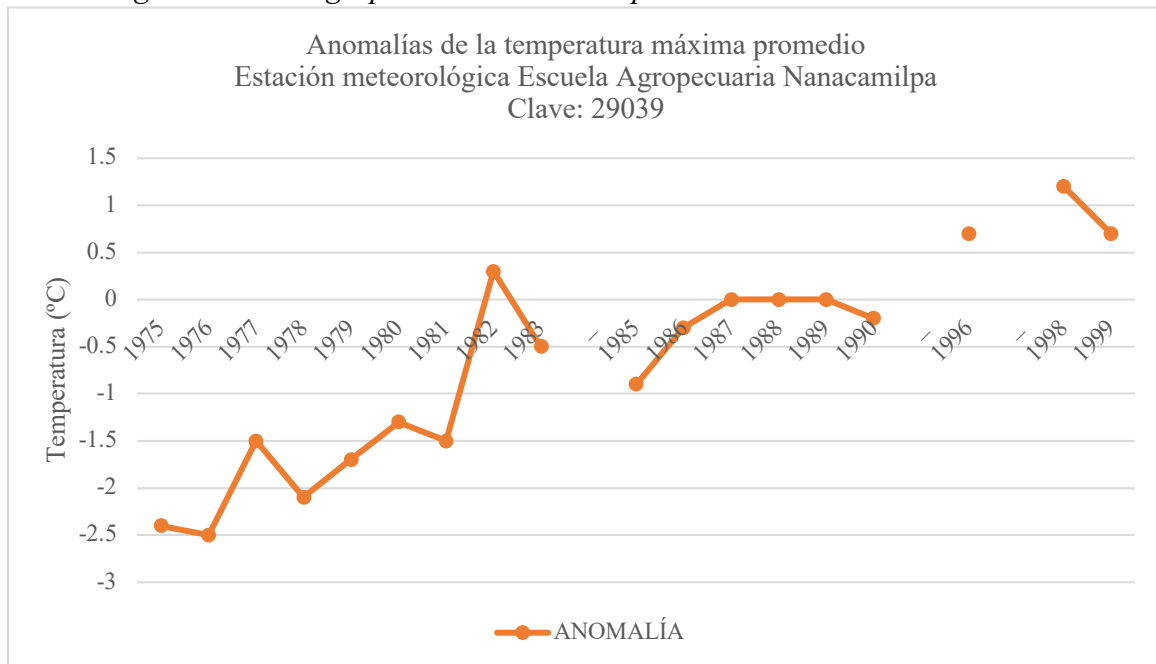
Gráfica de anomalías para la temperatura máxima promedio de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.23

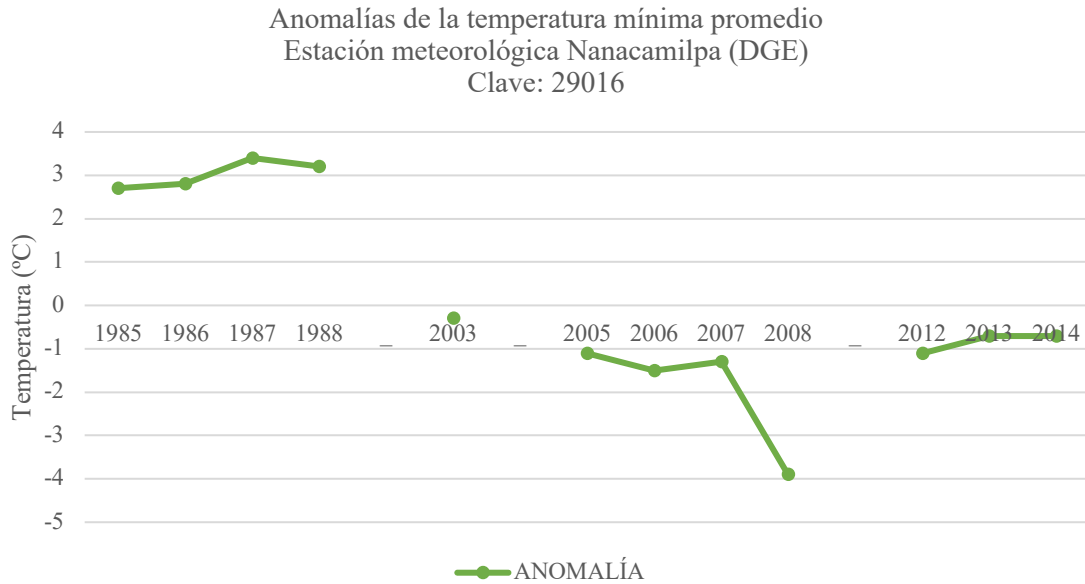
Gráfica de anomalías para la temperatura máxima promedio de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.24

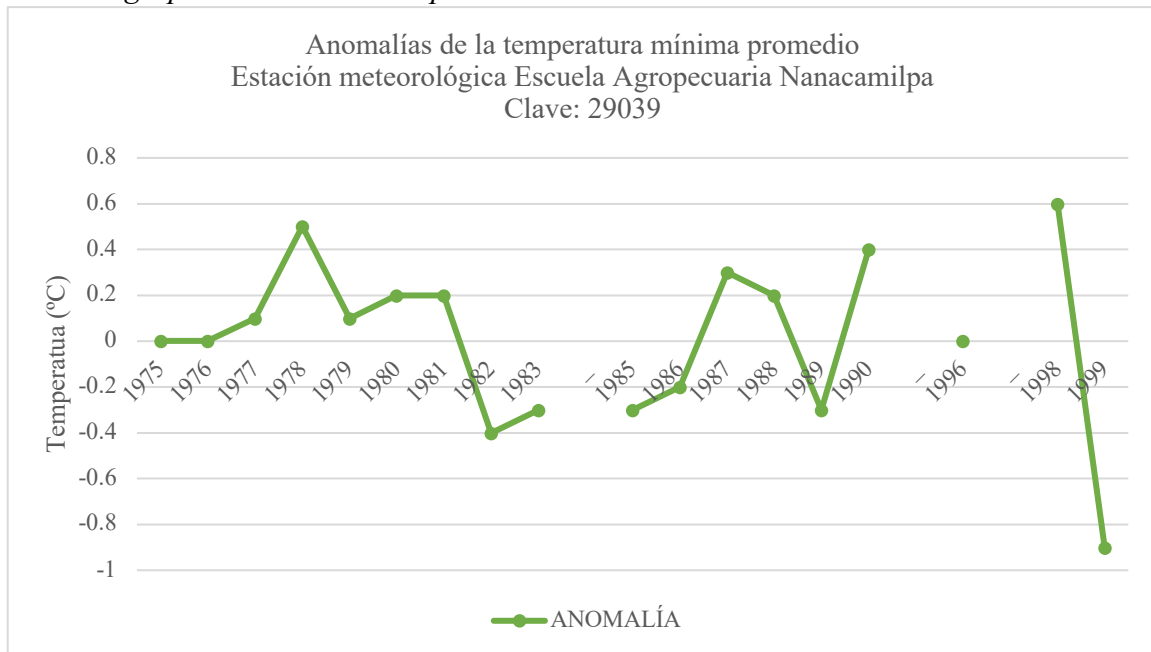
Gráfica de anomalías para la temperatura mínima promedio de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.25

Gráfica de anomalías para la temperatura mínima promedio de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

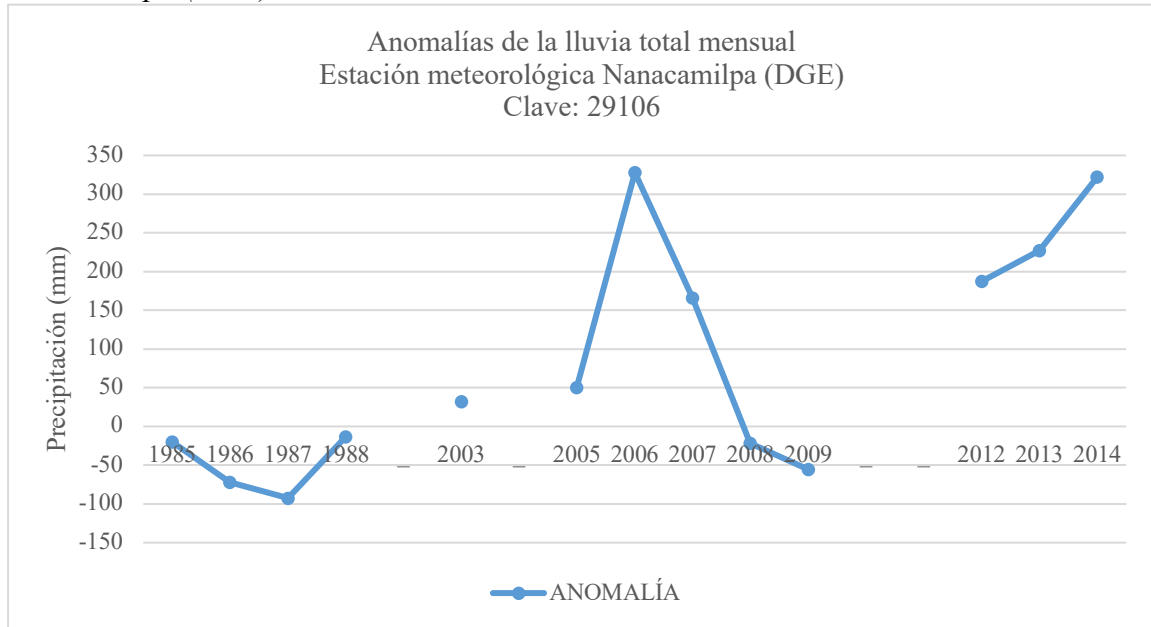
0.6°C, y su punto más bajo, al año siguiente, con 0.9°C por debajo de la normal.

Las anomalías de los valores para la precipitación en la estación Nanacamilpa (DGE) (figura 3.26) mostró periodos de altibajos. De esta forma, desde el año 1985 hasta 1987, la lluvia tuvo un decremento de hasta -92.5 mm. En 1987, las lluvias estuvieron 92.5 mm por debajo de la normal. Sin embargo, después se presentó un ascenso importante, llegando a su punto más alto en 2006 con +327.8 mm. Después la precipitación bajó considerablemente hasta 2009, cuando nuevamente incrementó en 2014. En 2017, la precipitación se vislumbra con un descenso. Ahora bien, en la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (figura 3.27), se presentó una anomalía máxima en 1976 con 239.6 mm por arriba de la normal y el más bajo fue en 1989, con 64.1 mm por debajo de la normal.

Las anomalías para la evaporación total mensual en la Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (EAN) (figura 3.28) muestran que, aunque presenta altibajos, en general, ha tendido a un descenso durante el periodo de registro. Así, su punto más alto data del año 1979 con 331.9 mm por arriba de la normal y conforme han pasado los años, los valores se han registrado menores. Su punto más bajo data del principio de la década de los noventa, con 221 mm por debajo de la normal. Aunque en los últimos años presentó un ascenso importante hasta 1998, con 112.8 mm por arriba de la normal, al siguiente año tuvo un descenso hasta 128.7 mm por debajo de la normal.

Figura 3.26

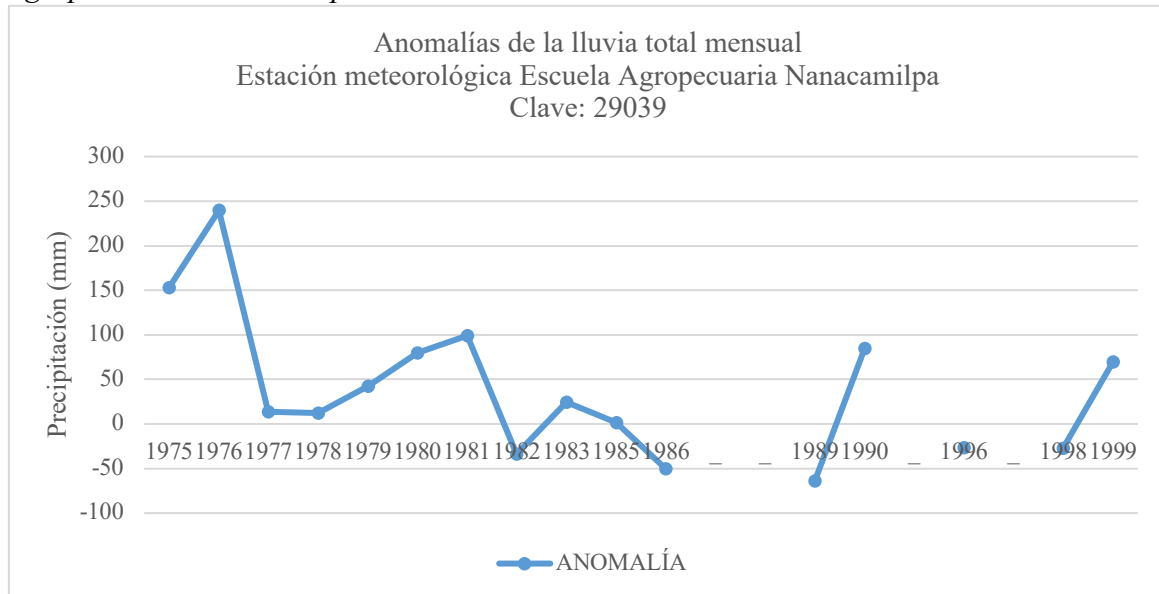
Gráfica de anomalías para lluvia total mensual de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.27

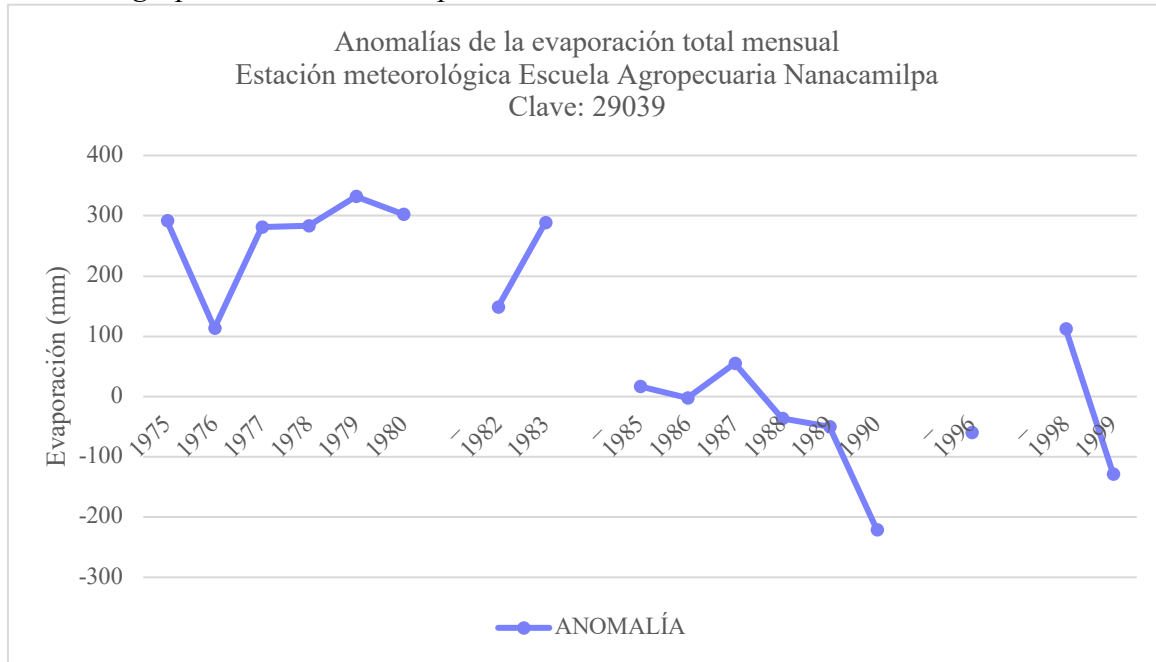
Gráfica de anomalías para lluvia total mensual de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.28

Gráfica de anomalías para la evaporación total mensual de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

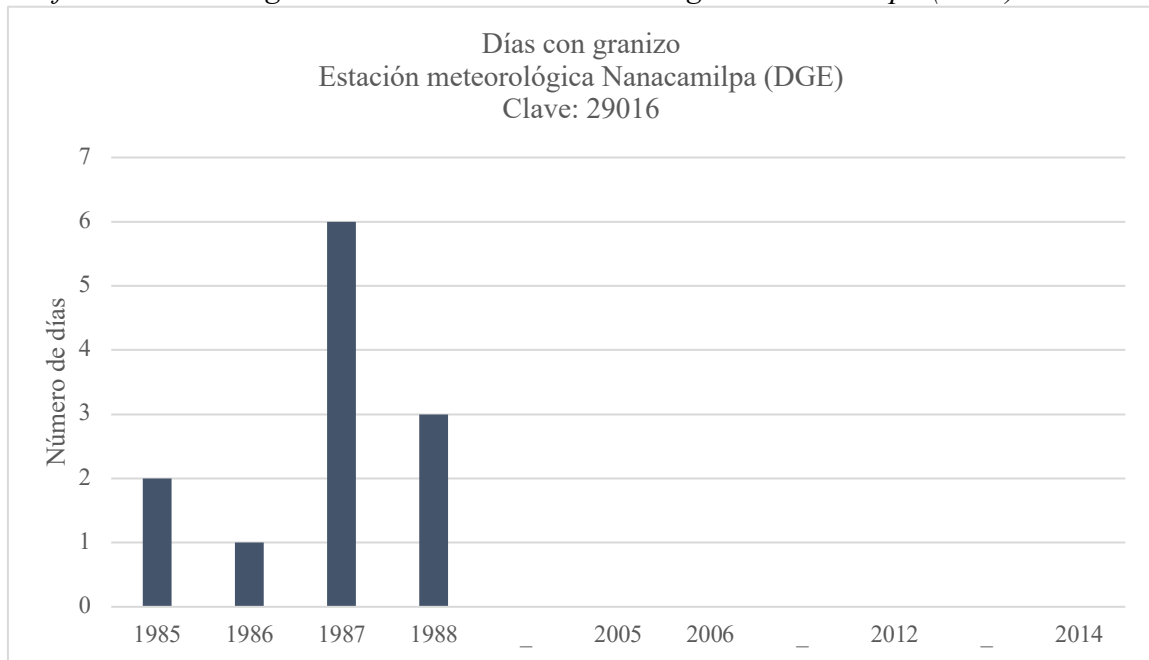
Eventos extremos

De acuerdo con los últimos estudios, los eventos extremos son un ejemplo de las condiciones climáticas futuras y van al alza. Tal es el caso de las temperaturas a nivel global. A continuación, se describen los eventos extremos de días con granizo, días con niebla y días con tormenta.

En la estación Nanacamilpa (DGE), los días con granizo (figura 3.29) se muestran desde el año 1985, con hasta 2 días de granizo en el año. Es hasta 1987 que éstos incrementaron a 6 días, y en 1988, con 3 días. Después de este año ya no se presentó granizo en la zona. Por otro lado, en la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa, los datos históricos de granizo (figura 3.30) antes del presente siglo fueron recurrentes, con un promedio de entre 6 a 8 días de granizo, con un incremento significativo de hasta 13 días de granizo en el año 1978.

Figura 3.29

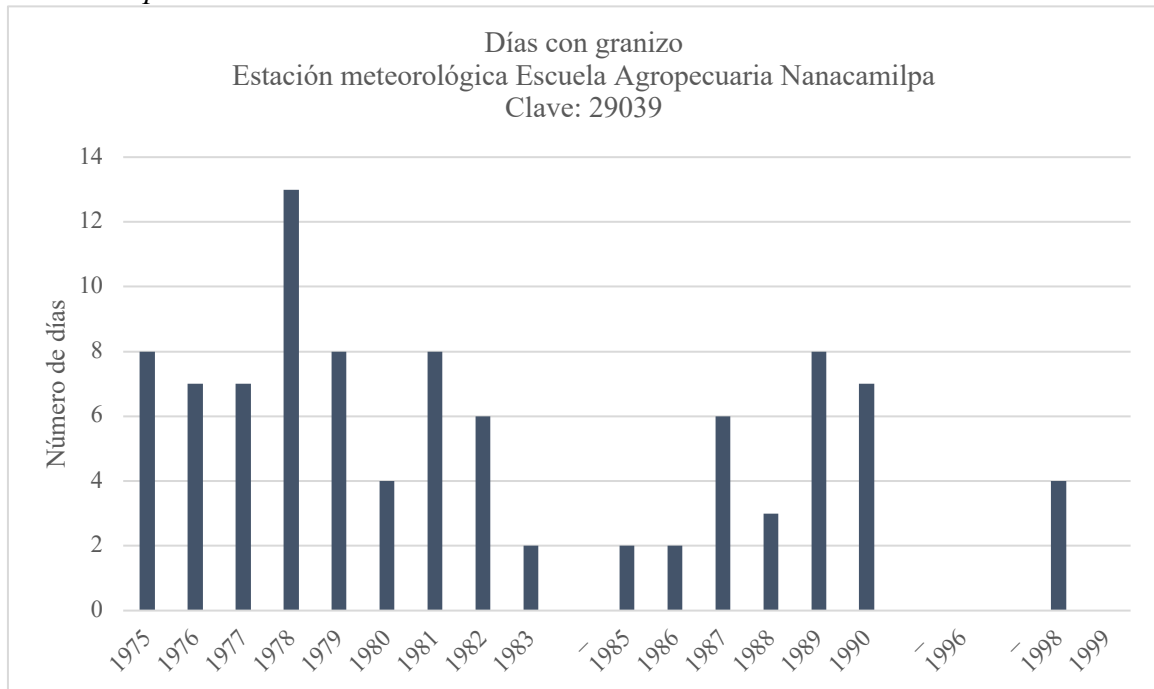
Gráfica de días con granizo de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Figura 3.30

Gráfica de días con granizo de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

En la estación Nanacamilpa (DGE), los días con niebla (figura 3.31) muestran datos desde 1986, con 4 días al año de niebla. Sin embargo, fue nuevamente en 1987 que se obtuvieron hasta 17 días con niebla, con un descenso drástico en 1988. Después de ese año, así como con los días con granizo, ya no se percibió niebla en la zona. Históricamente, la zona presentaba eventos de niebla más recurrentes que en años recientes, solamente con algunos años sin niebla. Esto se puede visualizar en la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (figura 3.32), donde el año con más niebla coincide también en 1987. Después de ese año, los días con niebla ya no se presentaron en la misma cantidad. Aunque históricamente mostró altibajos, en la última década del siglo pasado fueron disminuyendo drásticamente, con nulos o pocos días con niebla.

Figura 3.31

Gráfica de días con niebla de la estación meteorológica Nanacamilpa (DGE)

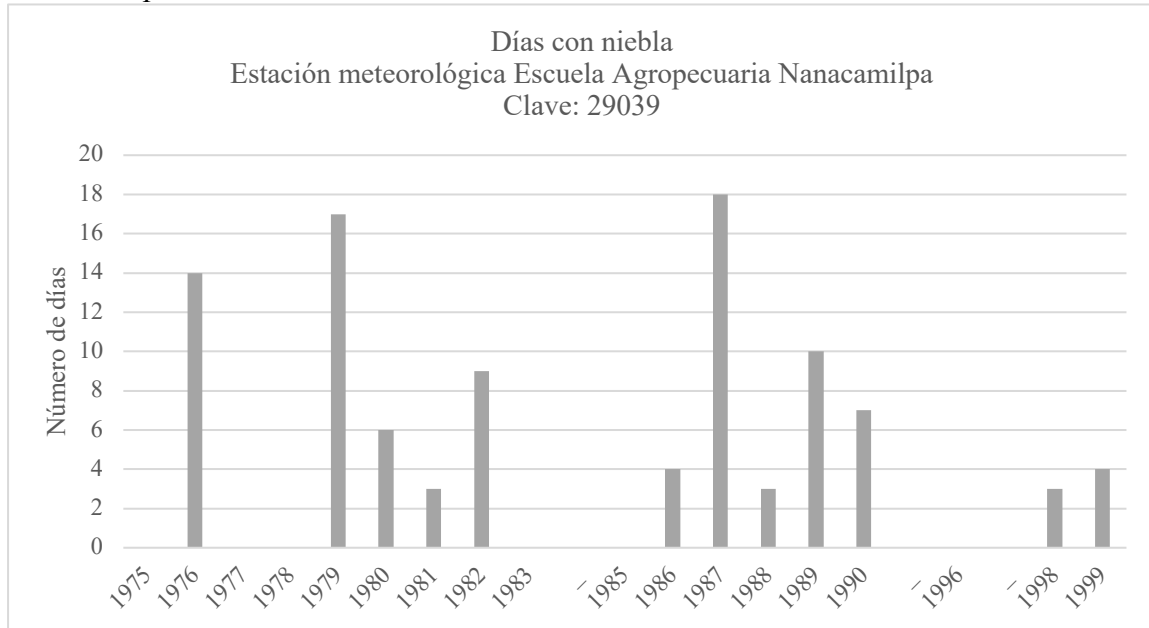


Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

Los días con tormenta, para la estación Nanacamilpa (DGE), nada más mostró para el año 2017 un valor de 3 días con tormenta al año. En años anteriores, no se habían presentado

Figura 3.32

Gráfica de días con niebla de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

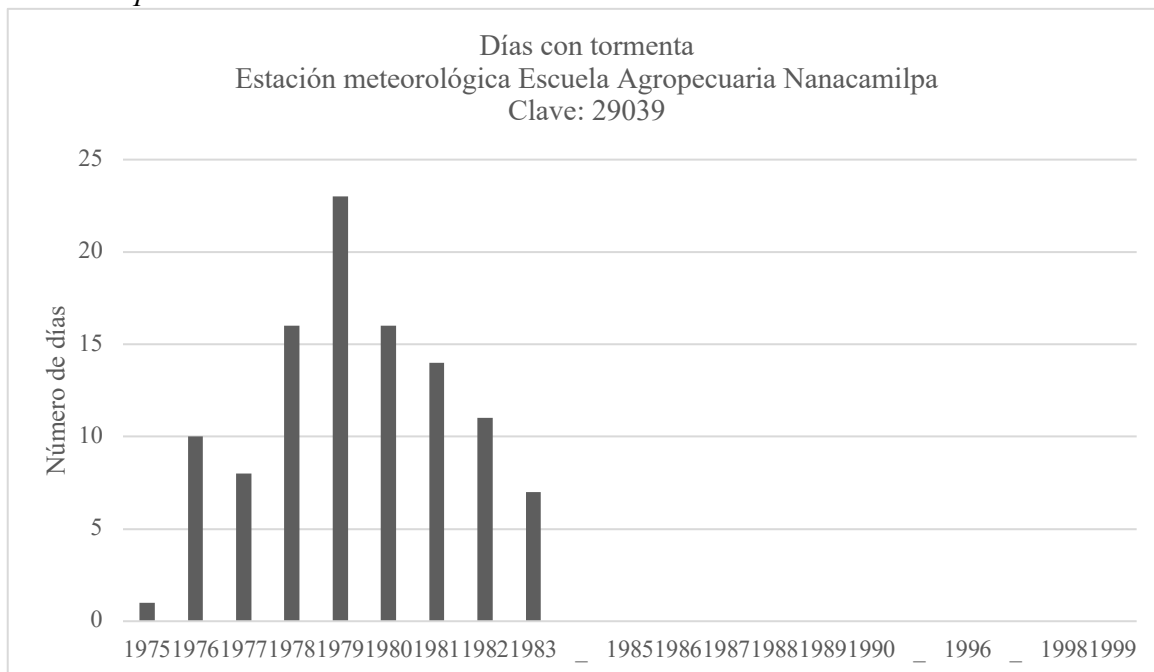
tormentas en la zona. Sin embargo, en la estación Escuela Agropecuaria Nanacamilpa (figura 3.33), las tormentas se presentaron desde el año 1975 hasta 1983, con un extremo de 23 días para el año de 1979. En promedio, los días con tormenta fueron de entre 10 a 16 para esos años.

Escenarios de cambio climático

Las condiciones climáticas históricas y actuales, con ayuda de la ciencia, pueden ser utilizadas para crear modelos climáticos a futuro. Ante la urgencia por caracterizar el cambio climático, científicos se han dado a la tarea de proyectar y tratar de visualizar cómo se verán las variables climáticas en diferentes regiones para los próximos años. Hoy en día, se puede contar con diferentes modelos que enmarcan diversas aproximaciones del cambio climático en las siguientes décadas, los cuales consideran el alza de temperaturas de 1°C a 2°C para

Figura 3.33

Gráfica de días con tormenta de la estación meteorológica Escuela Agropecuaria Nanacamilpa



Fuente: elaboración propia con base en el SMN (<https://smn.conagua.gob.mx/es/>).

generar escenarios leves, intermedios y graves. Estos escenarios están basados en la colección del proyecto de intercomparación de modelos acoplados de la fase seis, la cual contempla para sus proyecciones las posibles vías de desarrollo social y políticas para el forzamiento radiativo designado para fines de siglo (Banco Mundial, 2021). Para este caso de estudio, se tomó como referencia la trayectoria socioeconómica compartida (SSP por sus siglas en inglés) SSP2-4.5, el cual figura como un escenario intermedio en el que las emisiones de gases de efecto invernadero permanecen similares a las que se presentan en la actualidad, antes de que lleguen a bajar a mediados de siglo. Sin embargo, no llega a considerar las emisiones cero para el año 2100. Asimismo, la investigación se hace desde un conjunto multimodelo, el cual se basa en la intersección de variables climáticas desde modelos estructuralmente distintos, enriqueciendo la proyección de las variables utilizadas

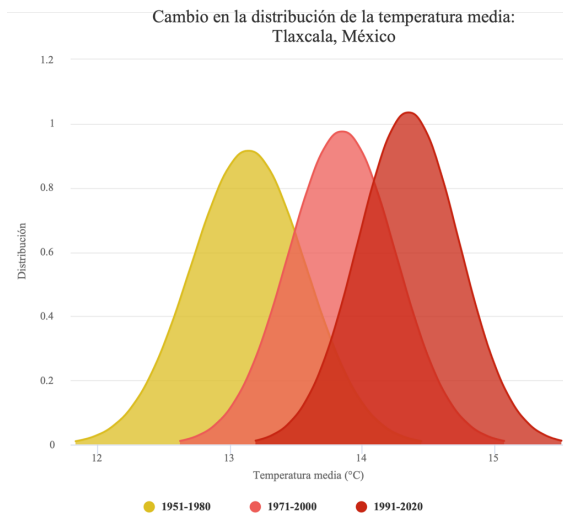
(Tebaldi y Knutti, 2007). A continuación, se describen las proyecciones para el estado de Tlaxcala, en un escenario intermedio de cambio climático y con un conjunto multimodelo, el cual considera once modelos distintos para México.

Dado que los modelos de cambio climático consideran las condiciones históricas, es importante mencionar los cambios de la distribución de las variables a lo largo de las décadas. Las figuras 3.34, 3.35, 3.36 y 3.37 muestran el grado de cambio para la temperatura media, máxima, mínima y precipitación, respectivamente. La temperatura media y mínima apuntan hacia una clara alza en sus valores. Si bien no es tan alta como en la década de los ochenta, la temperatura máxima también muestra un incremento respecto al periodo anterior. Por el contrario, la precipitación, aunque en menor medida, disminuyó en los últimos 30 años.

Ahora bien, pasando a las proyecciones, los modelos de cambio climático para la temperatura media proyectan un incremento generalizado para las siguientes décadas (figura 3.38). Si bien los escenarios leves muestran una estabilidad, los demás muestran una clara tendencia a incrementar. Si se ven las anomalías para cada mes en un escenario intermedio (figura 3.39), también podemos apreciar los valores por arriba de las normales. Los meses de reproducción de la luciérnaga no son una excepción: se estima que la temperatura media estará entre 1°C y 2.5°C por arriba de lo normal.

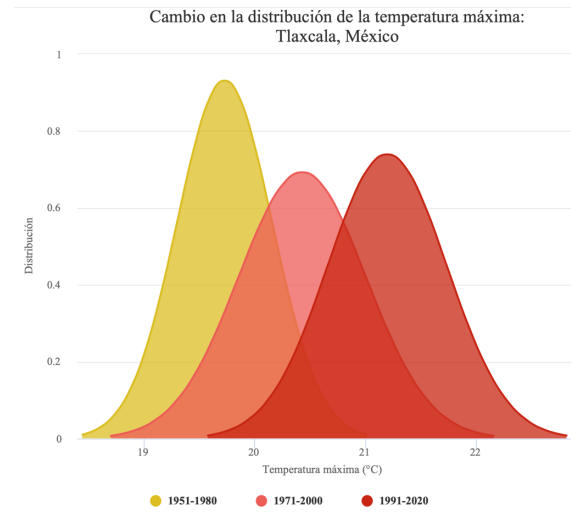
Las temperaturas máximas, al igual que la media, presentará un aumento generalizado, con algunas proyecciones apuntando a cierta estabilidad. Sin embargo, para otras, los valores llegarán más allá de los 30°C dentro de los próximos 80 años (figura 3.40). Las proyecciones para las anomalías en un escenario intermedio llegan a más allá de los 3°C por arriba de lo

Figura 3.34
Gráfica de distribución de la temperatura media en Tlaxcala, México



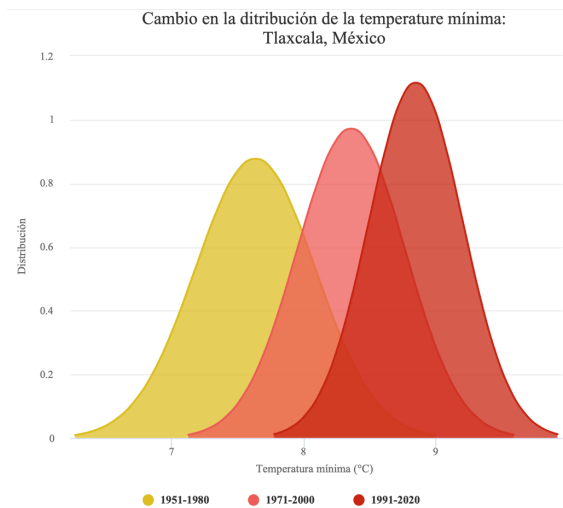
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.35
Gráfica de distribución de la temperatura máxima en Tlaxcala, México



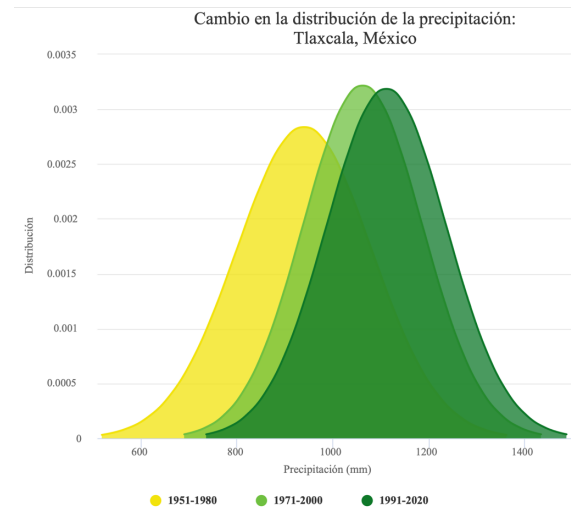
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.36
Gráfica de distribución de la temperatura mínima en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

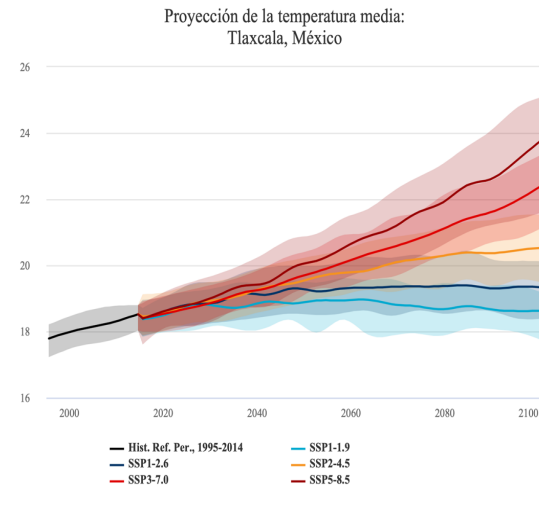
Figura 3.37
Gráfica de distribución de la precipitación en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.38

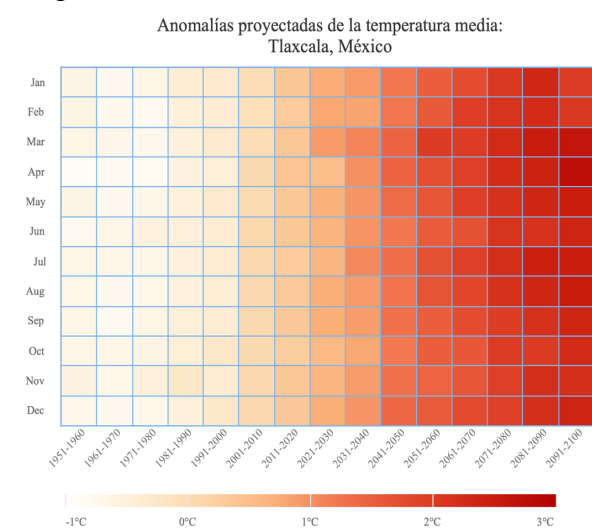
Gráfica de proyección de la temperatura media en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.39

Gráfica de anomalías proyectadas de la temperatura media en Tlaxcala, México

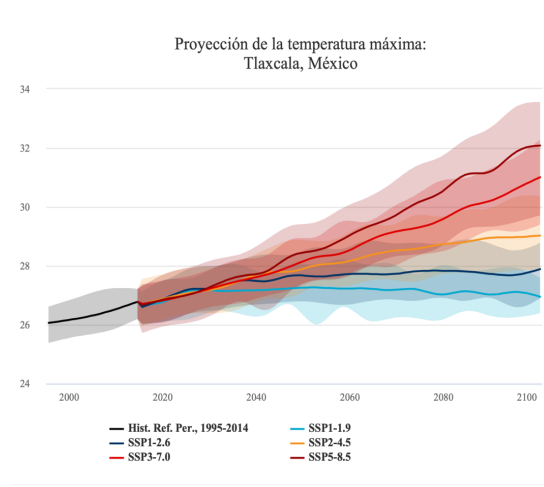


Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

normal, sin dejar de lado los meses de junio, julio y agosto, que están muy cerca de este valor para el mismo periodo de tiempo (entre 2.6°C y 2.8°C) (figura 3.41).

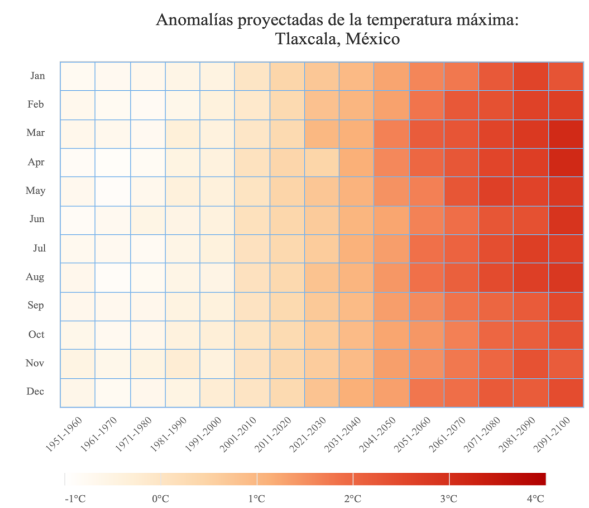
Los casos anteriores no son muy diferentes al de las temperaturas mínimas (figuras 3.42 y 3.43), ya que también muestran un alza generalizada en las proyecciones en diferentes escenarios. En los casos más extremos, se espera que la temperatura mínima alcance promedios arriba de los 16°C. A diferencia de las variables anteriores, el cambio en las temperaturas mínimas por arriba de lo normal será mucho más notorio, pues solamente dentro de las próximas décadas, se espera que la temperatura aumente 0.5°C más de lo que se está presenciando en la actualidad. Para el 2100, se espera que las temperaturas mínimas se encuentren hasta 2°C arriba de lo normal en un escenario intermedio.

Figura 3.40
Gráfica de proyección de la temperatura máxima en Tlaxcala, México



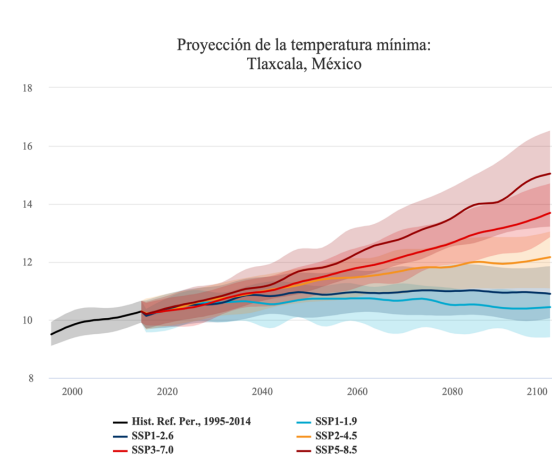
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.41
Gráfica de proyección de la temperatura máxima en Tlaxcala, México



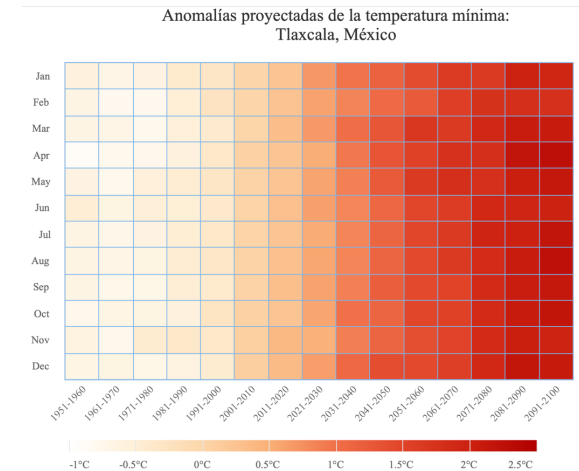
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.42
Gráfica de proyección de la temperatura mínima en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.43
Gráfica de proyección de la temperatura mínima en Tlaxcala, México



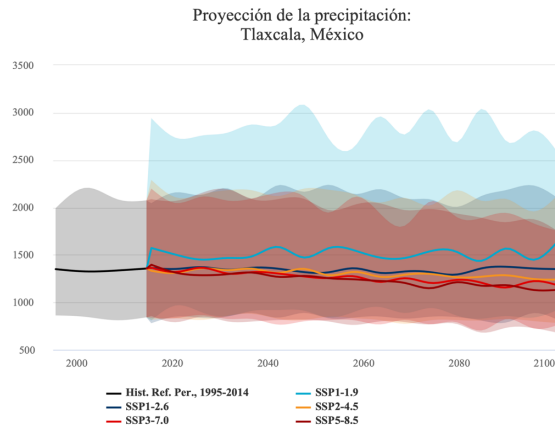
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

La precipitación (figuras 3.44 y 3.45), al contrario de la temperatura, descenderá gradualmente en las proyecciones medias a graves. Solamente en las bajas, se verá reflejado un aumento de la precipitación, aunque hay un rango considerable entre los valores extremos. Si bien no es muy clara la tendencia de la precipitación en cuanto a las anomalías, existe una irregularidad en cuanto a los regímenes de precipitación de Tlaxcala, pues en los meses lluviosos, se presentarán valores por debajo de lo normal, mientras que, para los meses en temporada de sequía, se puede vislumbrar un aumento notorio, sobre todo en el mes de octubre. De hecho, Tlaxcala tiene su estación lluviosa en los meses de junio, julio y agosto, que es justamente la temporada de avistamiento de luciérnagas. Esto también coincide con las tendencias del número de días con precipitación (figuras 3.46 y 3.47) que, aunque en las proyecciones para los siguientes 100 años indican una estabilidad en cuanto a su cantidad, los meses de estiaje presentarán lluvias por arriba de las normales. El número de días con heladas (figuras 3.48 y 3.49) se mantendrá estable. Sin embargo, las anomalías apuntan hacia 0 días con heladas o por debajo de este valor para los meses de diciembre y enero.

3.2. Cambio de uso de suelo

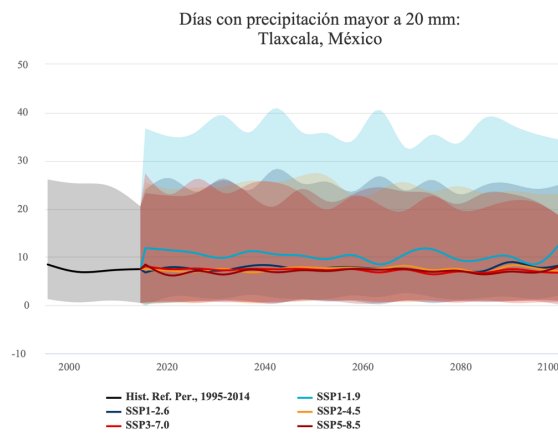
El uso de suelo es la manera en la que se gestiona el territorio para un fin en específico (Lambin y Geist, 2003, citado en Alanís, 2018). Las ANP representan estrategias para la conservación de la cubierta vegetal y de las especies. Como ADVN, el Santuario de las Luciérnagas está bajo el aprovechamiento de los recursos con este objetivo, preservando las áreas boscosas. Sin embargo, esto no es garantía de conservación dada la constante competencia entre distintas actividades, como la silvicultura, agricultura y ganadería. A continuación, se presentan los cambios de uso de suelo en el estado de Tlaxcala y en el municipio de Nanacamilpa en los últimos 20 años. Para ello, se caracterizó el número de

Figura 3.44
Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



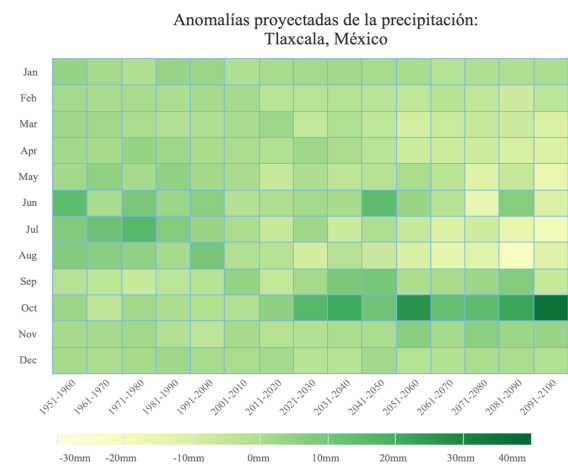
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.46
Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



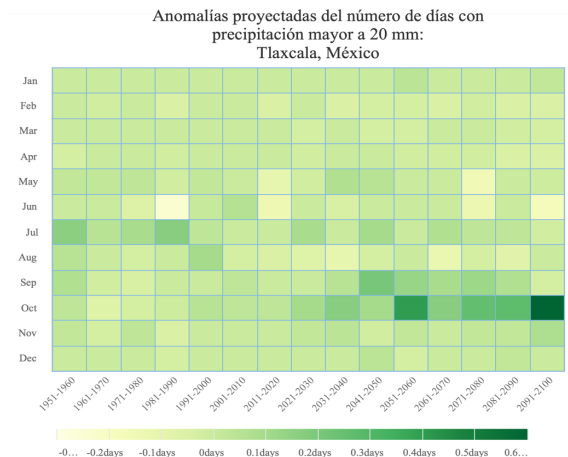
Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.45
Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

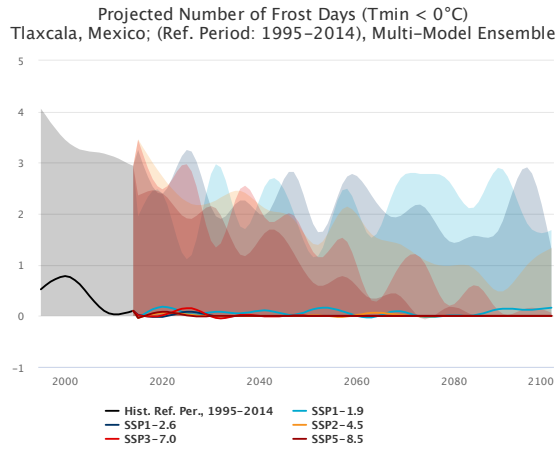
Figura 3.47
Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.48

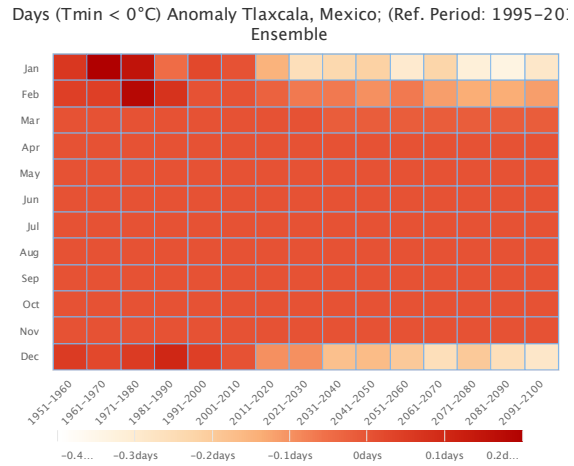
Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

Figura 3.49

Gráfica de proyección de la precipitación en Tlaxcala, México



Fuente: Adaptado de *México*, por Grupo Banco Mundial, 2021, Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>).

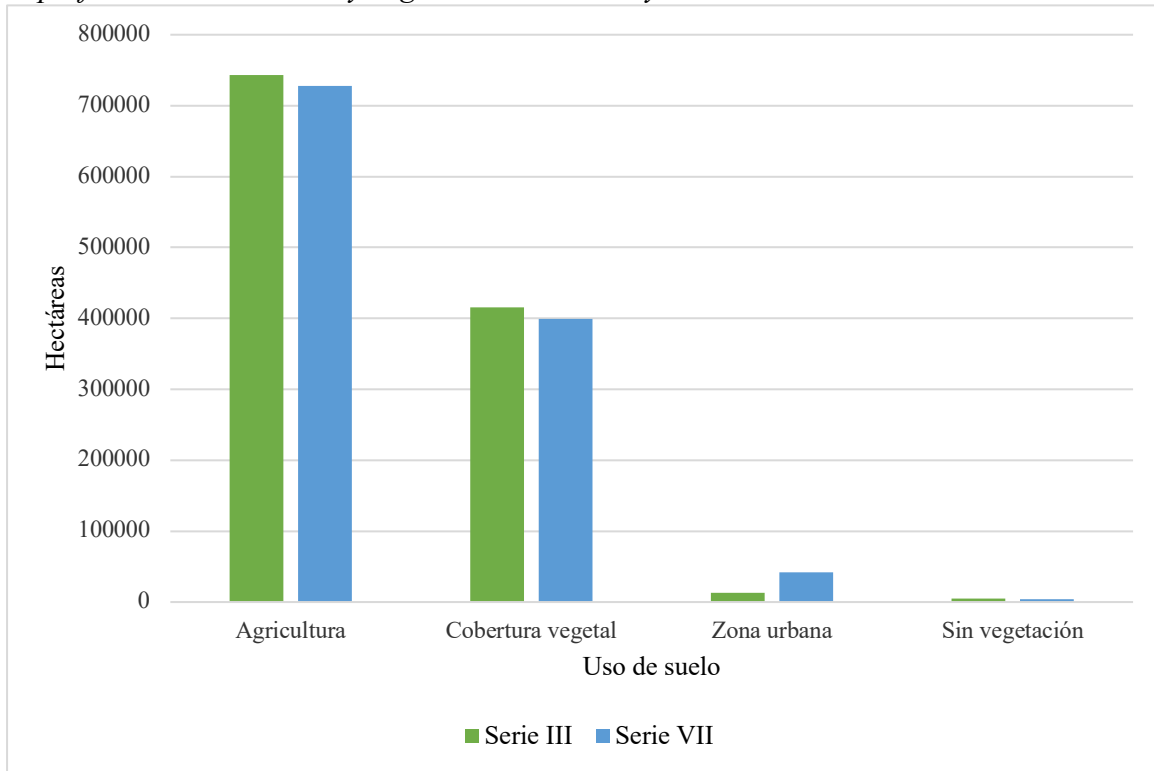
hectáreas para cada uso de suelo en las series III y VII de INEGI, cuyos años de referencia corresponden a los años 2002 y 2018, respectivamente. Con el recorte al área de estudio y con ayuda de Sistemas de Información Geográfica, se aplicó una herramienta de disolución en el campo de uso de suelo para la construcción de la matriz de transición. Ésta constituye un método para la detección de los cambios entre los usos de suelo dados en un periodo de tiempo determinado (Santana y Salas, 2007). Los cambios registrados se clasificaron en ganancia, permanencia o pérdida de acuerdo con el uso de suelo que se quiere preservar que, en este caso, se refiere a la cobertura vegetal propicia para el hábitat de la luciérnaga. Una vez elaborada la cartografía del cambio de uso de suelo y la matriz, se obtuvieron los modelos de sucesión, los cuales representan cada uno de los cambios que se dieron de manera diagramática (SEMARNAT, s.f.). Para este fin, se identificaron y calcularon las áreas que pasaron de un uso de suelo a otro para obtener los porcentajes correspondientes.

A nivel estatal para el número total de hectáreas (figura 3.50 y 3.51), se puede vislumbrar que en la mayoría de los usos de suelo que conciernen a la cobertura vegetal tuvieron una pérdida de aproximadamente 16, 000 hectáreas, representando una pérdida de 4% con respecto a la que se tenía en el 2002. Los usos de suelo concernientes a las zonas urbanas han acaparado el mayor cambio, aumentando en su mayoría para el 2018 en un 234.96%, aproximándose a 42, 000 ha. La agricultura tuvo un descenso, pasando de aproximadamente 742, 000 ha a 727,000, lo que representa el 2.09% con respecto a la extensión inicial. Finalmente, las áreas sin vegetación han tendido a un decremento, con pérdidas de casi 18% y con una diferencia de aproximadamente 800 ha en el periodo del 2002 al 2018.

Como se muestra en la figura 3.52 y 3.53, aunque los procesos de permanencia son mayores, el cambio de uso de suelo presentó pérdidas de hasta 85, 000 hectáreas, lo que representa un 7.32% del total de la superficie. Las ganancias cuentan con 31, 000 hectáreas, siendo el 2.64% del total. Cartográficamente (figura 3.54), las pérdidas se presentan en gran extensión en dirección suroeste a noreste. Muchas de las pérdidas de los bosques son contiguas a las zonas urbanas y a lo largo de las vialidades principales e, inclusive, se identifican dentro de los bordes de ANP. Es sobre todo al sur donde las pérdidas se pueden ver con mayor claridad por su extensión y frecuencia, asociadas con la cercanía con áreas urbanas dentro y fuera del estado, como la ciudad de Puebla o la ciudad de Tlaxcala, la capital del estado. De hecho, las pérdidas provocadas por asentamientos humanos coinciden en localización, concentradas al centro y sur del estado y dispersándose hacia los bordes. Estas pérdidas también se ubican al noreste del estado, tratándose en su mayoría de actividades agrícolas, pastizales inducidos y vegetación secundaria. Sin embargo, la agricultura y la vegetación secundaria también se encuentran dispersas en el centro y sur y, algunas de ellas, son las que se pueden distinguir

Figura 3.50

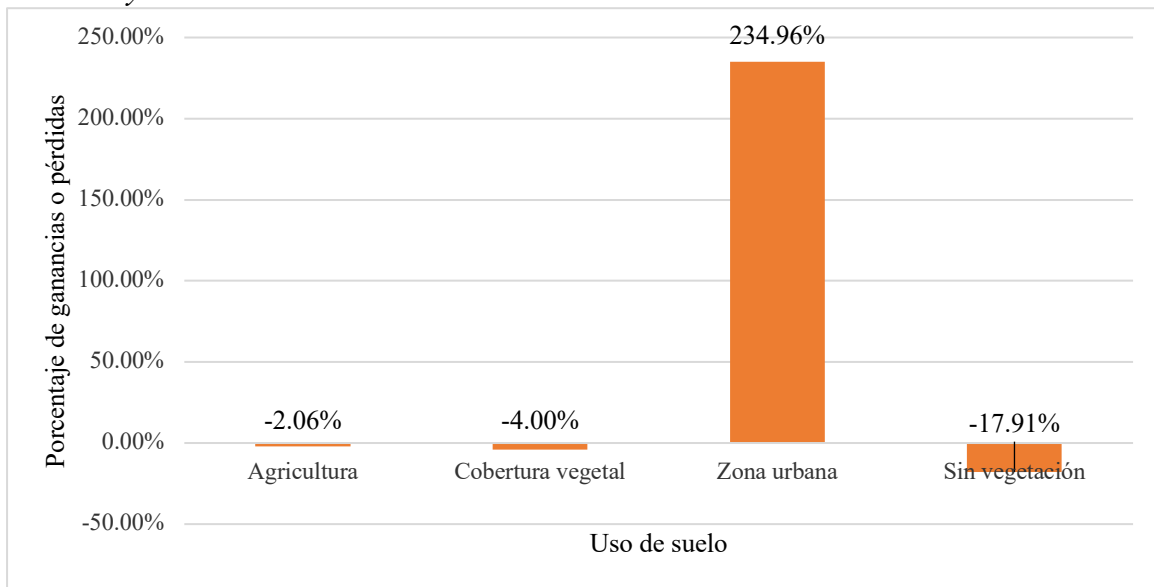
Superficie de uso de suelo y vegetación, Tlaxcala y Alrededores



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.51

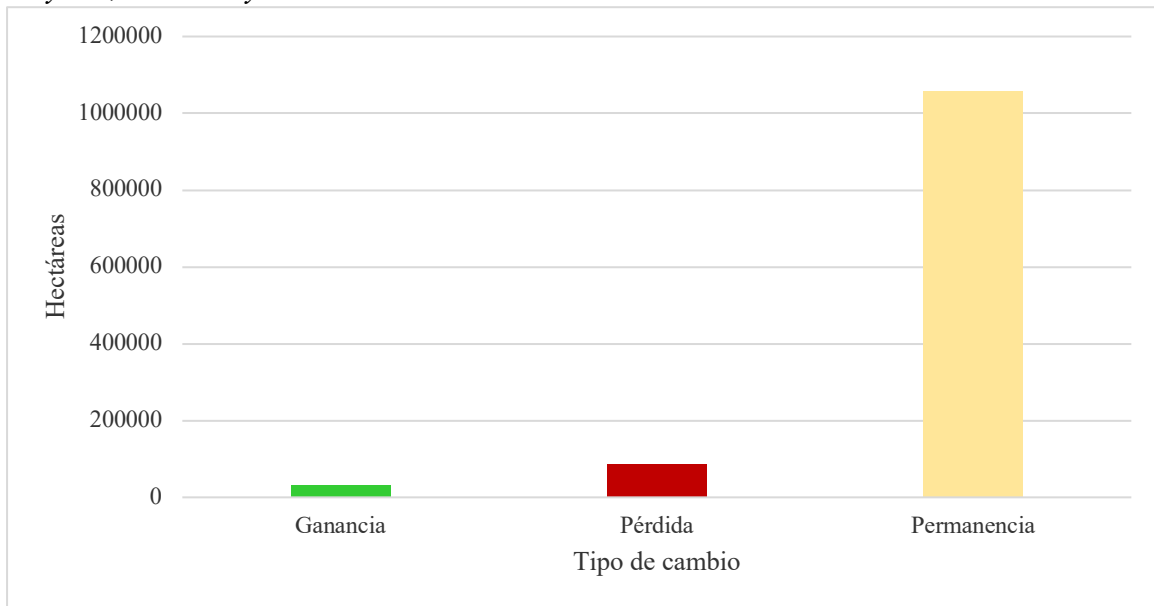
Uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Tlaxcala y Alrededores



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.52

Superficie de uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Tlaxcala y Alrededores



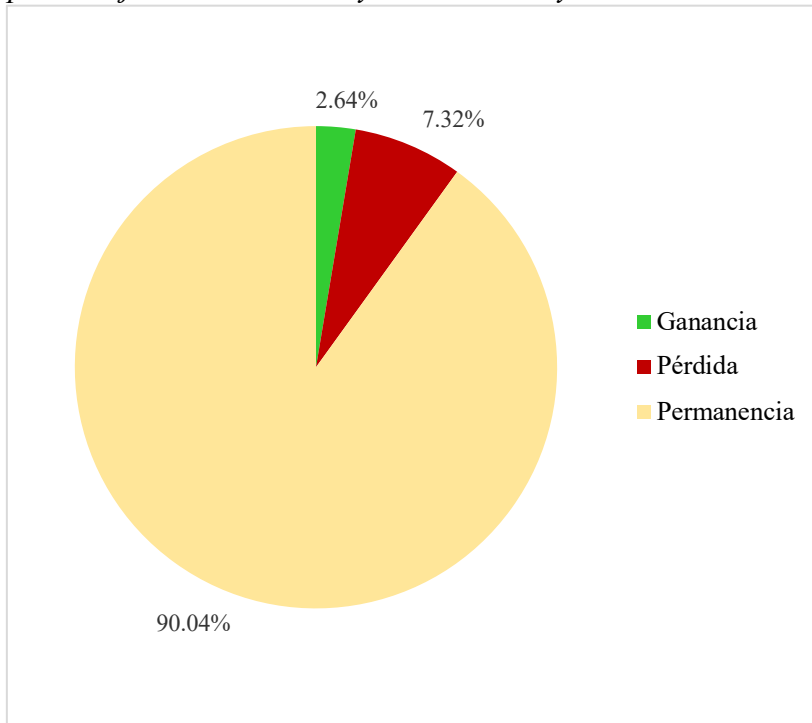
Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

dentro de las ANP. Aunque cuenta con grandes pérdidas, el noreste y sureste del estado presentan ganancias de gran extensión. En la zona de estudio, la superficie de las ganancias por polígono es menor, lo que indica poco cambio en el uso de suelo entre los dos periodos de tiempo.

El modelo de sucesión (figura 3.55) muestra ganancias importantes de bosque primario, sumando un total de 18.77% de ganancia para esta cobertura, mientras que sus pérdidas suman un total de 9.28%. En su totalidad, las ganancias más notables se le atribuyen a aquella extensión que pasó de sin vegetación a bosque primario con 12.61% y de pastizal a bosque secundario con 11.49%. Las menores ganancias corresponden a la superficie que pasó de zona urbana a bosque secundario con 0.002% de la superficie original. Por otro lado, las pérdidas más notables son aquellas áreas que pasaron de pastizal a agricultura con 15.43% y

Figura 3.53

Uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Tlaxcala y Alrededores



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

de bosque secundario a agricultura con el 9.73%.

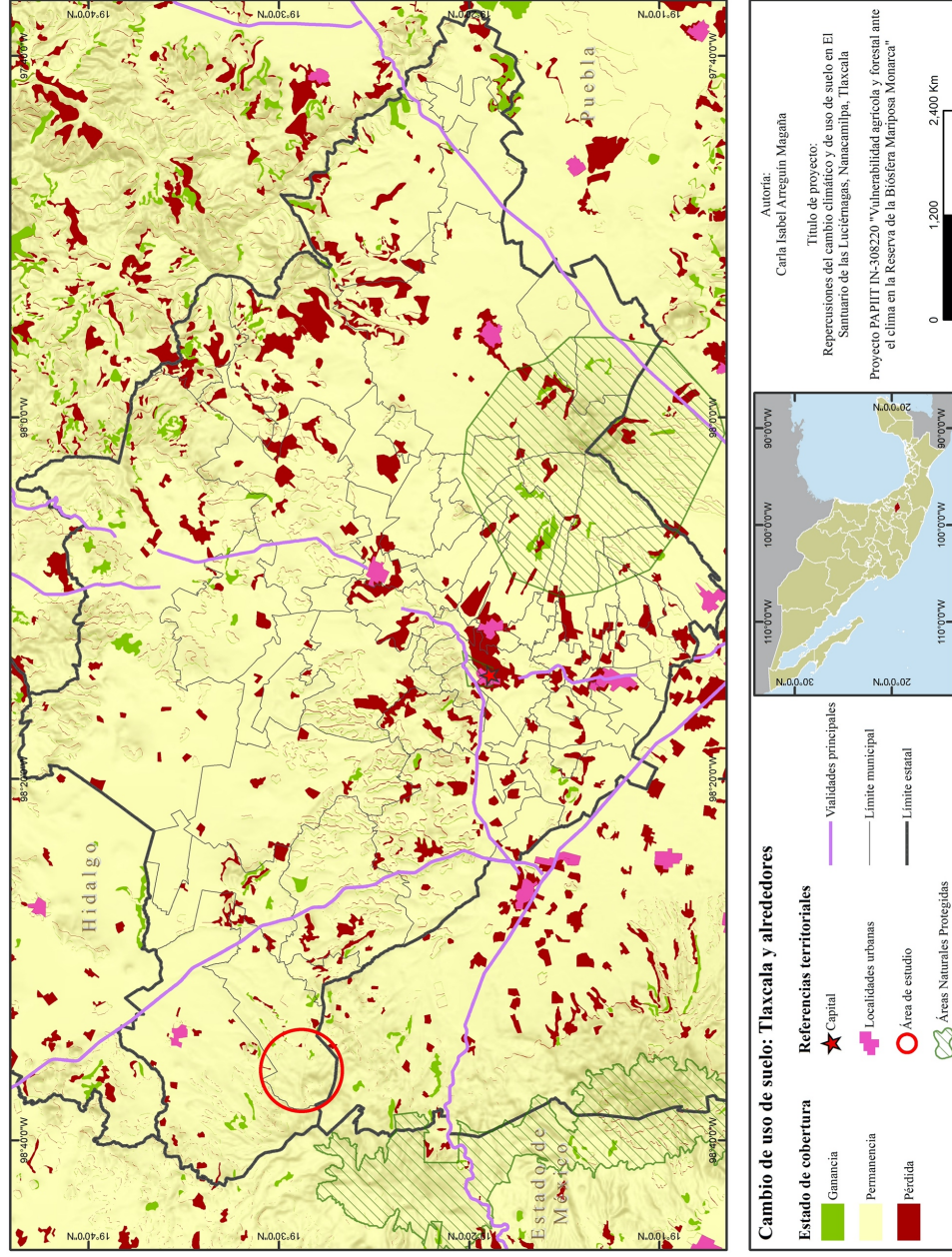
Las de menor cambio son aquellas superficies que pasaron de agricultura y bosque primario a zonas sin vegetación, con el 0.01% y 0.03% respectivamente.

En la región de Nanacamilpa (figuras 3.56 y 3.57), la

agricultura muestra un descenso del 1.29% con respecto a la superficie original, con una diferencia de aproximadamente 100 hectáreas entre los años 2002 y 2018. Por el contrario, la cobertura vegetal tuvo una ganancia pequeña de aproximadamente cuatro hectáreas, siendo el 0.11% de ganancia. La zona urbana destaca con el mayor cambio registrado para los usos de suelo, siendo el 78.12% de ganancia con relación a la inicial y a cuya extensión se le sumaron aproximadamente 100 hectáreas.

Al igual que en el estado y sus alrededores, Nanacamilpa (figuras 3.58 y 3.59) muestra una permanencia generalizada de hasta 11, 000 hectáreas con un 95% del total de la superficie del municipio. No obstante, las pérdidas son de aproximadamente 300 hectáreas, lo que representa el 2.5% de la superficie. Las ganancias son de 200 hectáreas, lo cual corresponde

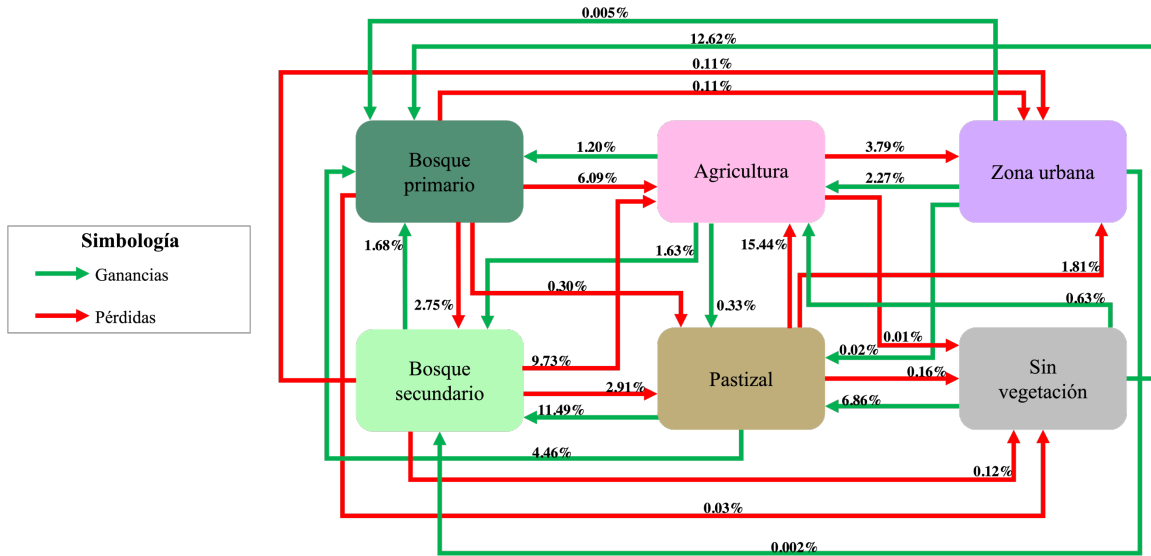
Figura 3.54
Ganancias, permanencias y pérdidas de uso de suelo en Tlaxcala y alrededores



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.55

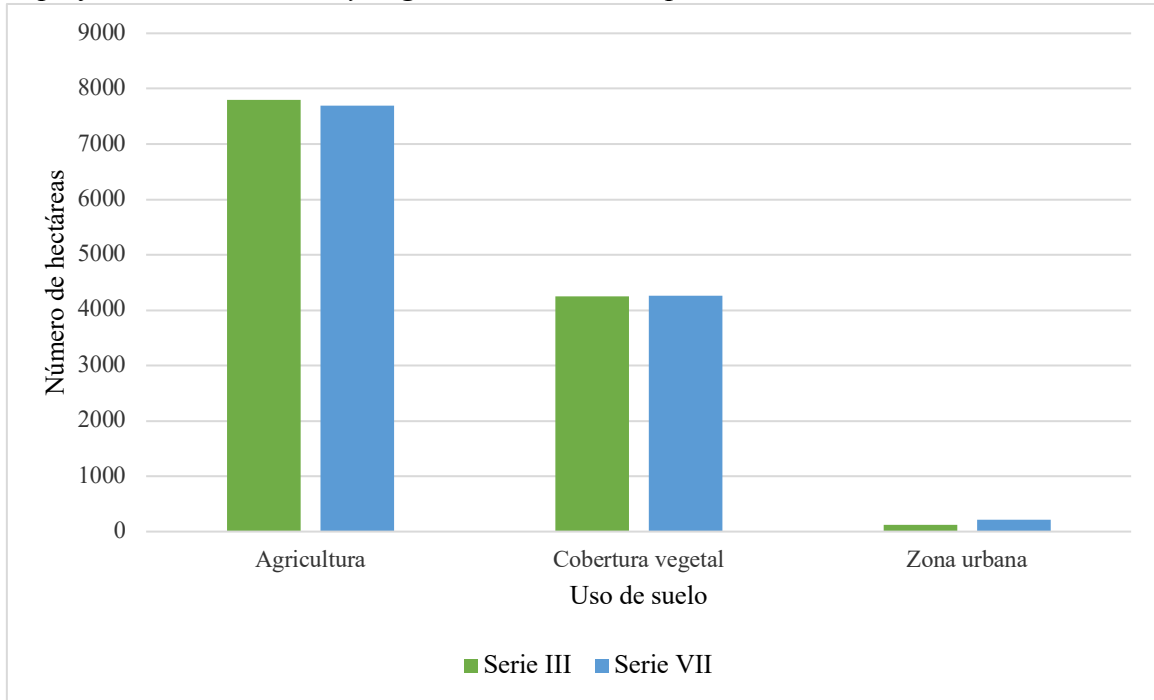
Modelo de sucesión para el estado de Tlaxcala y alrededores



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.56

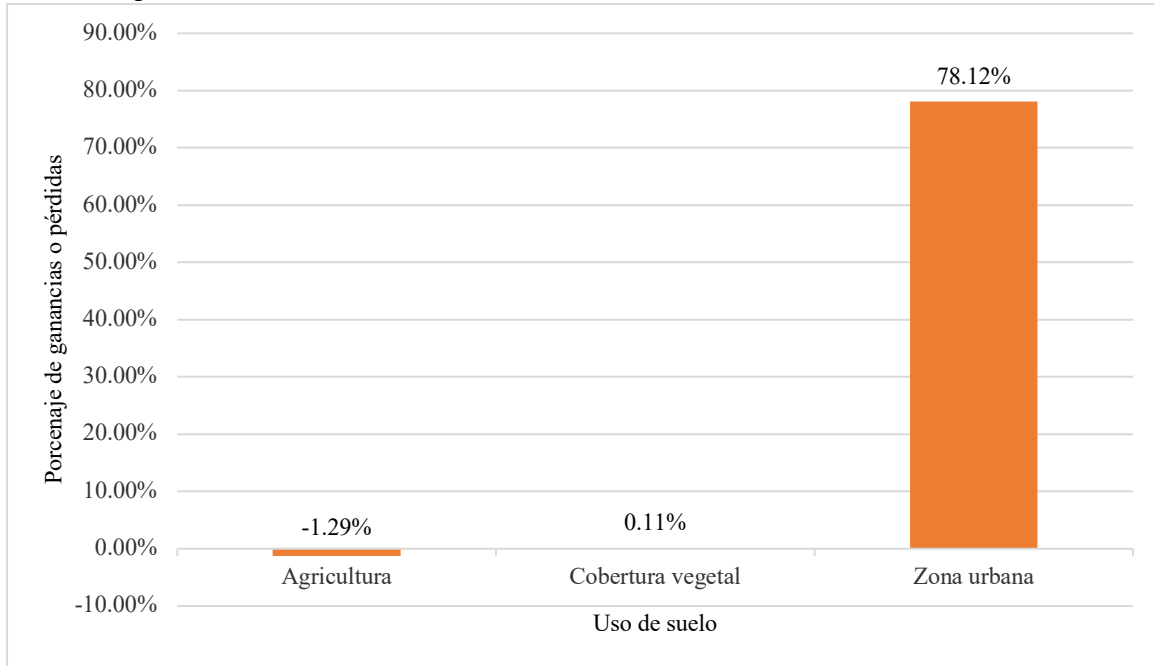
Superficie de uso de suelo y vegetación, Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.57

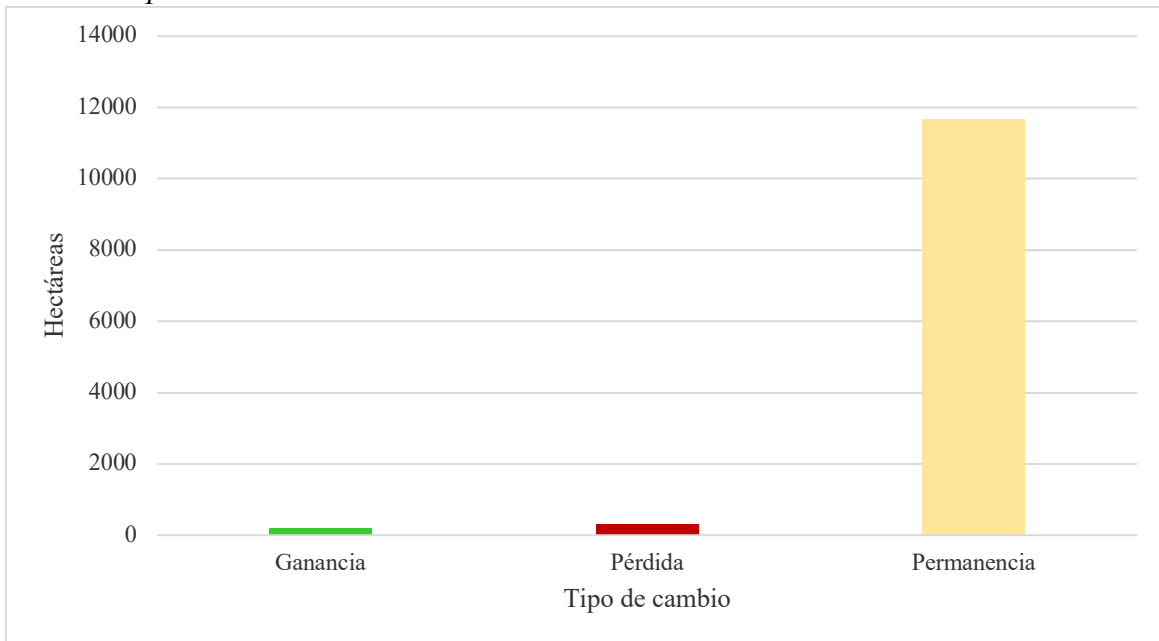
Uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.58

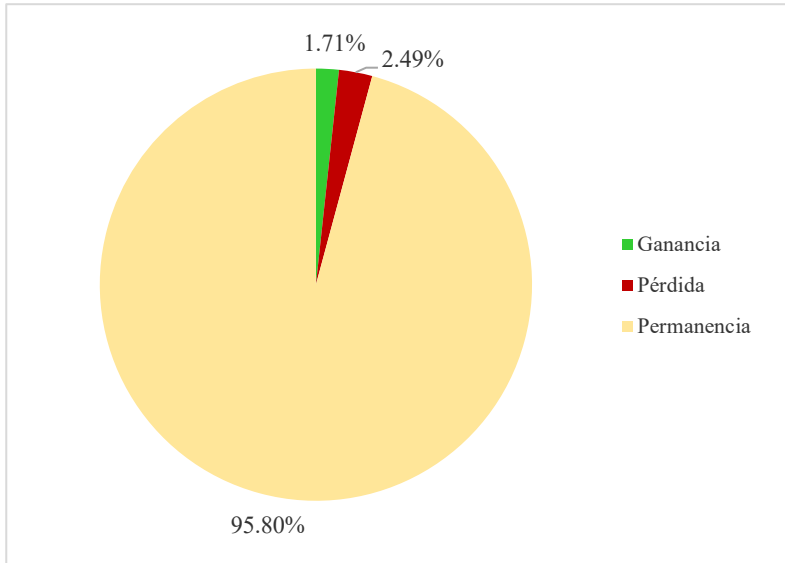
Uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

Figura 3.59

Uso de suelo y vegetación en ganancias o pérdidas en porcentaje de las series III y VII, Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI (<https://www.inegi.org.mx/>).

al 1.71% de la superficie.

Cartográficamente (figura

3.60), se aprecian algunos

parches con ganancias para

las áreas boscosas; sin

embargo, también hay

porciones importantes de

pérdidas contiguas a éstas.

Al igual que en la

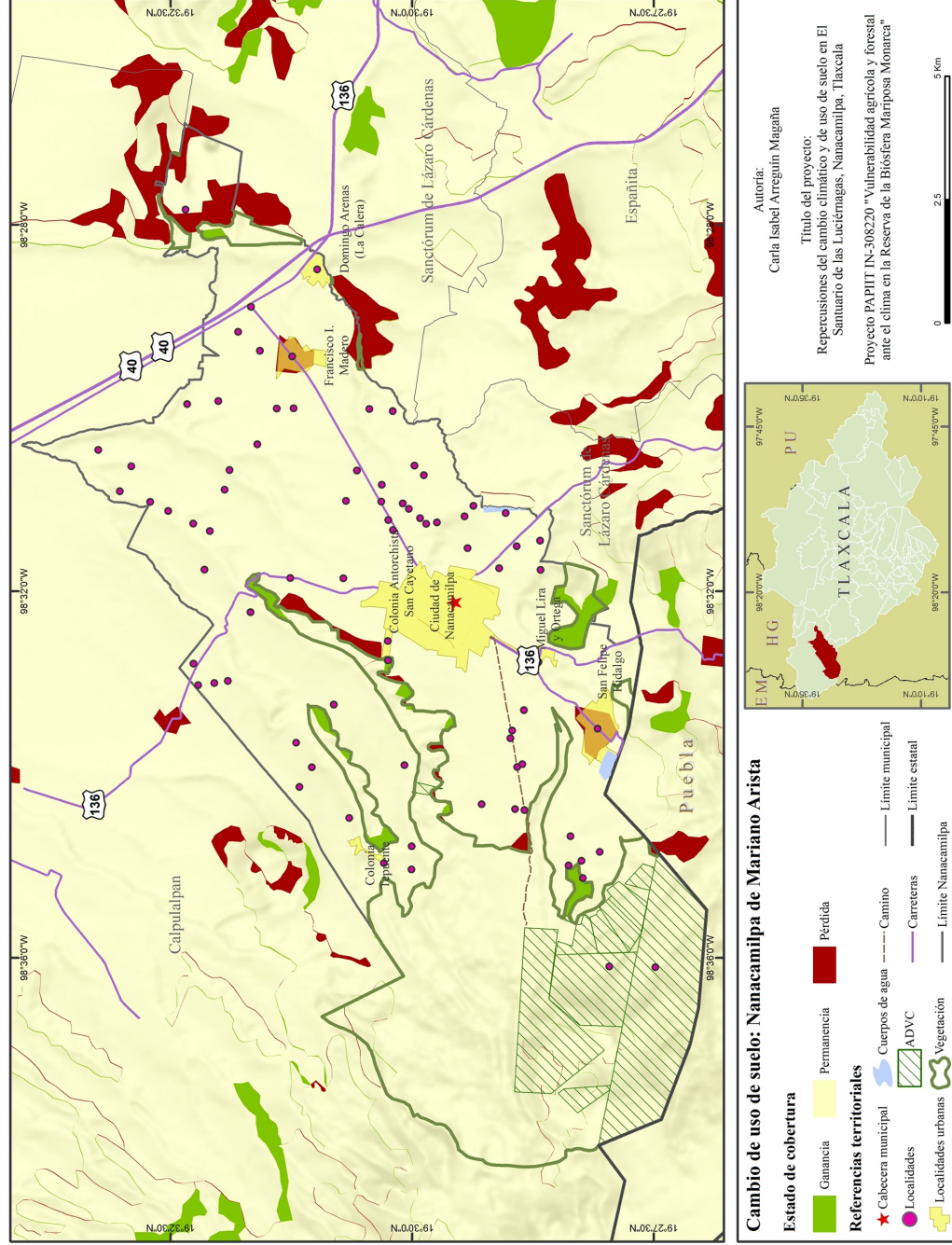
generalidad, las pérdidas

en el municipio están

asociadas a las grandes vialidades y a las zonas urbanas contiguas. Las pérdidas por asentamientos humanos, a pesar de su tamaño reducido, se agrupan al norte y sur. Sin embargo, la mayoría de las pérdidas han pasado a ser un uso de suelo agrícola, exceptuando algunos polígonos extensos de vegetación secundaria al noreste del municipio.

El modelo de sucesión de Nanacamilpa (figura 3.61) muestra una tendencia de decremento en cuanto a superficie destinada a la conservación del hábitat. El mayor cambio registrado fue el cambio de bosque secundario a agricultura, con la pérdida del 35.43% en relación con la superficie original. Se registró también la pérdida del 1.38% de bosque primario que pasó a uso agrícola. Las menores pérdidas también se presentaron en bosque primario, pasando de éste a bosque secundario en un 0.15% y a pastizal en un 0.09%. La mayor ganancia se presentó del paso de pastizal a bosque primario en un 1.33%, mientras que la menor ganancia fue del paso de bosque secundario a bosque primario con 0.38% de la superficie. En resumen,

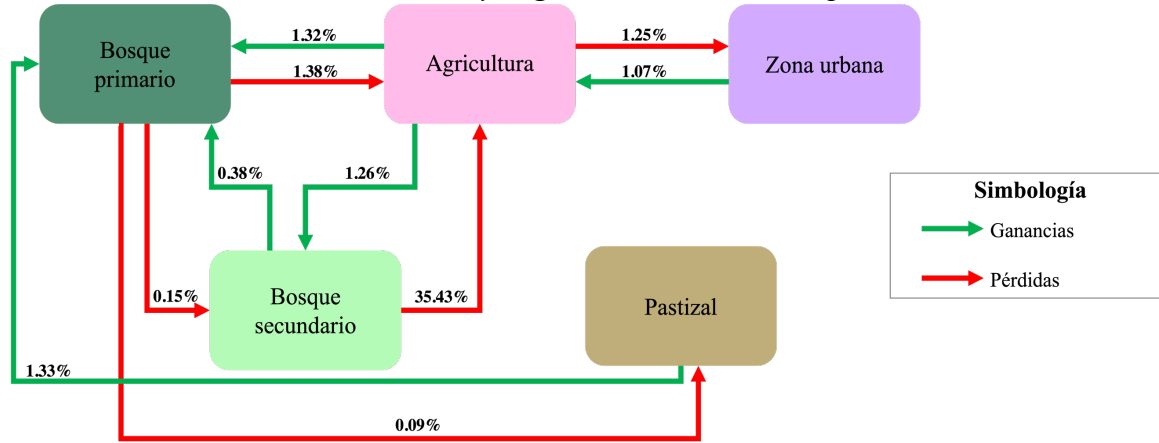
Figura 3.60
Ganancias, permanencias y pérdidas de uso de suelo en Nanacamilpa, Tlaxcala



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI.

Figura 3.61

Modelo de sucesión del uso de suelo y vegetación de Nanacamilpa de Mariano Arista



Fuente: elaboración propia con base en las series III y VII de INEGI

se presentaron más pérdidas que ganancias en la cobertura vegetal.

3.3. Percepción social de la comunidad de Nanacamilpa y de los turistas sobre las condiciones actuales del Santuario de las Luciérnagas

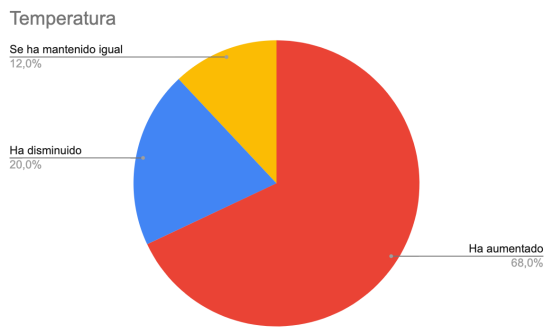
La perspectiva de los ejidatarios y comunidades locales es de vital importancia para cualquier investigación, ya que son ellos quienes experimentan directamente estas alteraciones y se ven afectados por las mismas. De igual manera, incorporar la perspectiva de los turistas que visitan el santuario puede servir en la identificación y caracterización de las problemáticas asociadas. Así, la realización de entrevistas permite visualizar un panorama completo de lo que sucede hoy en día en el Santuario de las Luciérnagas, con preguntas seleccionadas con base en los objetivos de este estudio, siendo los temas principales los cambios en las condiciones ambientales y en las poblaciones de luciérnagas. Dependiendo del público objetivo, se aplicaron dos tipos de entrevistas: una para el personal del santuario y otra para los turistas. La primera fue contestada por 25 personas, quienes fungían como guías, cocineros, personal de intendencia y vigilancia dentro del centro de avistamiento Santa Clara,

mientras que la segunda fue contestada por 34 personas, las cuales se encontraban en el mismo centro de avistamiento durante la segunda salida de trabajo de campo.

De acuerdo con las respuestas obtenidas, la gran mayoría del personal opina que la temperatura ha aumentado y, por el contrario, la precipitación ha disminuido (figuras 3.62 y 3.63). Al tratarse de la percepción del cambio de las variables, los turistas que contestaron a estas preguntas ya habían ido con anterioridad al santuario, por lo que pudieron hacer la comparación con respecto a visitas pasadas. A diferencia del personal, la mitad de los turistas entrevistados opinó que la temperatura se había mantenido igual, seguido de su aumento (figuras 3.64). Para el caso de la precipitación (figura 3.65), las respuestas se polarizaron entre su aumento y estabilidad. Cabe destacar que los turistas, al ser originarios de otros estados y localidades, su percepción y sensación de las condiciones climáticas puede estar condicionada. Sin embargo, y tomando en cuenta los resultados en general, cerca de la mitad de las personas entrevistadas opina que la temperatura ha aumentado y la precipitación, por el contrario, disminuido. Como se ha estado mencionando, estas dos variables son vitales para la reproducción de las luciérnagas, y de hecho su desarrollo requiere que estén sujetas a alta humedad y bajas temperaturas, las cuales son opuestas a las que se han estado presentando.

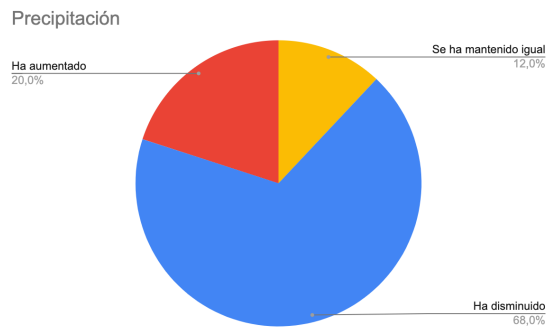
Se ha observado que las poblaciones de luciérnaga han disminuido y su aparición ha tenido atrasos (figuras 3.66, 3.67, 3.68 y 3.69). Al igual que el personal, los turistas también notaron una disminución en las poblaciones de luciérnaga, aunque en la fecha de aplicación de entrevistas donde se preguntó acerca del avistamiento que acababan de presenciar, muchos afirmaron haber visto abundantes luciérnagas. Sin embargo, algunas personas hicieron la

Figura 3.62
Percepción del personal sobre la temperatura



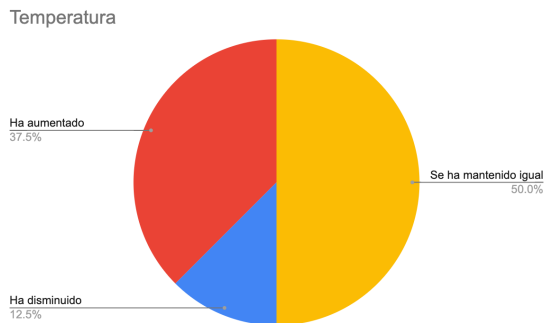
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.63
Percepción del personal sobre la precipitación



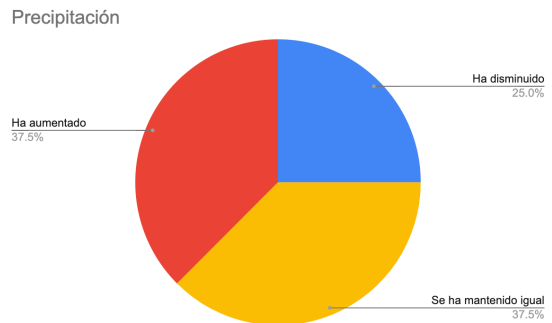
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.64
Percepción de los turistas sobre la temperatura



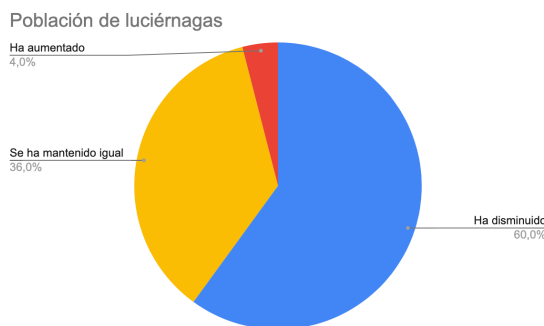
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.65
Percepción de los turistas sobre la precipitación



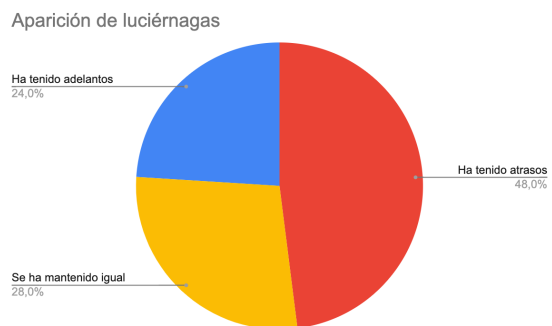
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.66
Percepción del personal sobre la población de luciérnagas



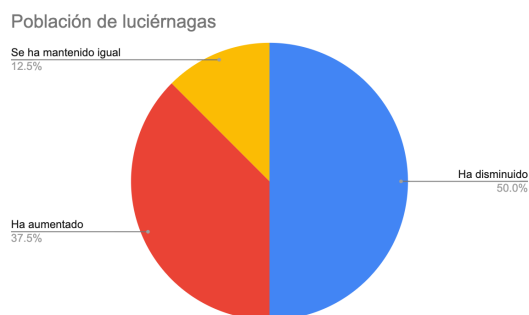
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.67
Percepción del personal sobre la aparición de luciérnagas



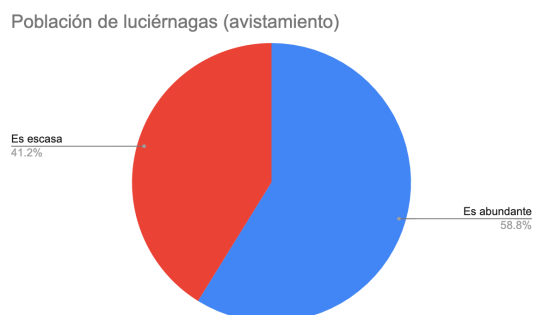
Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.68
Percepción de los turistas sobre la población de luciérnagas



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.69
Percepción de los turistas sobre la población de luciérnagas al momento del avistamiento



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

acotación sobre los avistamientos del año anterior, ya que fueron muy escasos, e hicieron la comparación entre éste y el actual. Aun así, el 60% del personal entrevistado y el 50% de los turistas declaran haber visto pocas cantidades. Al modificarse las variables climáticas discutidas anteriormente, puede que su supervivencia y etapa de apareamiento se vean comprometidas y, por lo tanto, haya menores cantidades de individuos. Los indicios de su manifestación tardía podrían estar vinculados a la espera de las condiciones adecuadas para que se lleve a cabo la reproducción.

A pesar de que es visto como una alternativa al ser una actividad no extractiva, es sabido que el turismo, si no es regulado, puede traer graves consecuencias a los ecosistemas. Aunque hay una heterogeneidad con respecto a la regulación turística de cada uno de los avistamientos (figura 3.70), cuando se preguntó por el tipo de regulación con la que cuentan, las respuestas rondan por la capacidad de carga, reglamentos y la participación de los órganos federales, estatales y municipales competentes. Sin embargo, algunos de ellos no llegan a aplicar estas normas o incluso existen operadores turísticos irregulares, por lo que depende

del turista el cuidado de los bosques. Esto está trayendo consigo un impacto negativo sobre las luciérnagas (figura 3.71), pues el incumplimiento de los reglamentos ha llevado a la afectación de su hábitat, siendo uno de los principales factores la contaminación lumínica, seguido de la interrupción del cortejo y aniquilación de las hembras al estar en el suelo, por lo cual hay menores individuos, así como de presión ambiental y tensión social interna. Aun cuando no hubo actividad turística durante el año 2020 por la pandemia provocada por el COVID-19, la percepción general fue que la cantidad de luciérnagas (figura 3.72) fue menor, siendo solo algunos los que observaron un aumento o una estabilidad, correspondiente a un porcentaje de alrededor del 30% para ambos casos.

Figura 3.70
Percepción del personal sobre la regulación turística



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.71
Percepción del personal sobre el impacto del turismo

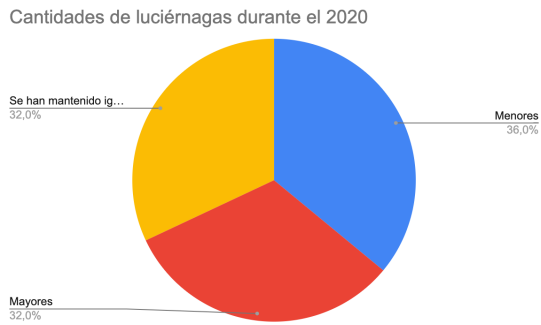


Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

El turismo no ha sido la única actividad que ha demostrado tener graves consecuencias al hábitat de bosques templados, sino también la actividad agrícola, la cual predomina en las áreas circundantes y es la principal actividad económica del municipio. La competencia por el uso de suelo entre la agricultura y el área de conservación (figura 3.73) es claramente notoria. Sin embargo, es difícil compatibilizar ambas actividades, ya que la agricultura

Figura 3.72

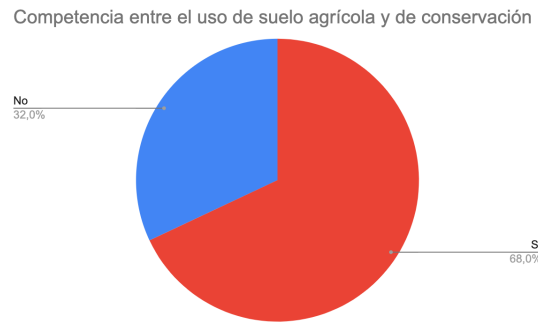
Percepción del personal sobre la cantidad de luciérnagas durante el 2020



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.73

Percepción del personal sobre la competencia por el uso de suelo



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

tradicional involucra la degradación de los bosques (figura 3.74). En este sentido, habría que buscar alternativas a la agricultura que sean adecuadas para el área de estudio y sus condiciones. Siguiendo la línea de los impactos ambientales, los turistas, por su parte, conciben el cambio climático actual como un factor de impacto en las comunidades biológicas de los bosques, el cual está asociado a la alteración de las condiciones ambientales y ecológicas del lugar (figura 3.75).

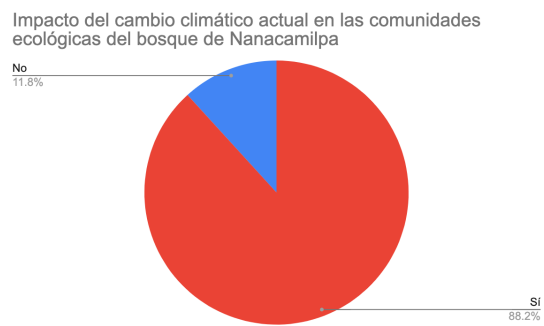
Durante los talleres llevados a cabo en el trabajo de campo en el centro de avistamiento Santa Clara, se pudo apreciar que la reacción por parte de quienes asistieron fue activa, planteando preguntas sobre estos temas y sobre recomendaciones que el equipo de trabajo pudiera hacer al respecto de la conservación, monitoreo de poblaciones del hábitat y del clima. Incluso llegaron a participar contando experiencias propias de lo que habían visto a lo largo de los años, mostrando así su interés. También se pudo reflexionar, en conjunto, la importancia de contar con equipos que faciliten la accesibilidad a datos fiables para poder proponer estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático.

Figura 3.74
Percepción del personal sobre la degradación de los bosques



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Figura 3.75
Percepción de los turistas sobre el impacto del cambio climático actual



Fuente: elaboración propia con base en la aplicación de entrevistas.

Discusión

Impactos del turismo

El turismo sustentable puede ser una actividad con grandes ventajas para las comunidades que viven de él. Sin embargo, se debe de tener una buena gestión para que pueda ser exitoso (del Reguero, 2004). Desde hace ya algunas décadas, el Santuario de las Luciérnagas recibe un flujo de turistas importante durante los meses de junio, julio y agosto. Si bien es una actividad con una gran derrama económica, es crucial que se respeten los límites y la capacidad de carga del hábitat para que pueda seguir siendo rentable.

Durante las salidas de campo, se pudo apreciar que hay un número significativo de turistas por día, sobre todo durante los fines de semana (aproximadamente, 1200 personas por fin de semana). Se hizo un conteo rápido de 600 turistas y 40 guías, aproximadamente, los cuales abarcaban casi todo el espacio de recepción del centro de avistamiento Santa Clara el día 16 de julio del 2022. Esto puede ser perjudicial, pues en un periodo corto de tiempo, se puede producir una gran cantidad de contaminación de distintos tipos, entre ellas lumínica, atmosférica y sonora. La llegada y salida de vehículos en las horas de avistamiento provoca estos tres tipos de contaminación. Los turistas generan cierta contaminación sonora al momento de hablar. Esto es más evidente en el momento en que los guías organizan a los visitantes para llevarla a los senderos designados, pues se requiere que los guías alcen la voz para que todos puedan escuchar las instrucciones. Por otro lado, la infraestructura que se requiere para recibir a los visitantes también es una fuente de contaminación, sobre todo, lumínica, pues se necesita que las cabañas y restaurantes estén equipados con energía eléctrica.

Cabe resaltar que en el santuario prevalecen buenas prácticas de turismo, ya que el personal es muy organizado y claro en cuanto al manejo de los turistas antes y durante el avistamiento. Se realizan buenas campañas de concientización acerca de los problemas ambientales que atañen a las luciérnagas y su hábitat. Esto se ve reflejado en el cuidado y respeto que los turistas, en general, muestran a la hora de presenciar luciérnagas, siguiendo las instrucciones del personal y tomando los senderos designados. Sin embargo, es fundamental que se trabaje más en las pautas de conducta tomadas antes y, sobre todo, después del avistamiento, ya que es difícil dirigir las salidas de los turistas de forma ordenada. Aunado a ello, cabe resaltar que existen centros turísticos circundantes al área que ofrecen servicios sin una regulación avalada por la Secretaría de Turismo (SECTUR). En este sentido, y considerando que estas apreciaciones se realizaron sólo un día y por medio de observación directa, se reitera sobre la necesidad de hacer investigaciones a mayor profundidad sobre la dinámica turística en la zona para que haya un estudio íntegro de las condiciones del santuario y, si es el caso, sobre las medidas a llevar a cabo para la preservación del hábitat de la luciérnaga y sus poblaciones. Éstas pueden ser desde programas de educación ambiental para concientizar a la población sobre su impacto como turistas o hasta sistemas de reservación eficaces para reducir la cantidad de visitantes por día. Un ejemplo característico es el Parque Nacional de las Grandes Montañas Humeantes (Great Smoky Mountains National Park en inglés) en Estados Unidos, el cual cuenta con un sistema de lotería en el que los ganadores son los que pueden ir a los centros de avistamiento. Éste ha mostrado ser eficaz en el manejo del turismo y evitar aglomeraciones para reducir su impacto (The Xerces Society, 2021).

Impactos del clima actual y futuro

Quizá la afectación más significativa hacia las especies de luciérnaga sea el clima gracias a su implicación en la disponibilidad de recursos y en el ciclo de vida mismo. Las condiciones en las que la luciérnaga subsiste tienen que ver con el grado de humedad y, en las especies que se encuentran en el santuario, bajas temperaturas, las cuales se están viendo afectadas por el cambio climático. La estabilización a la que tienden las temperaturas máximas y la precipitación pueden no llegar a afectar en gran medida, pero las tendencias drásticas de temperaturas medias y mínimas, en conjunto con la evaporación, pueden llegar a ser letales. El hecho de que cada vez las temperaturas mínimas sean más altas está comprometiendo los parámetros ambientales ideales para las luciérnagas, provocando que el sitio cada vez sea mucho más cálido. Esto se puede ver reflejado, también, en las temperaturas medias, siendo éstas cada vez mayores. Asimismo, la fuerte evaporación está incidiendo en la cantidad de humedad disponible, la cual es indispensable para el desarrollo de las luciérnagas no solamente en etapa adulta, sino en todos los estadios de su ciclo de vida y, en especial, en la larval. Sin la suficiente humedad, tampoco hay disponibilidad de alimento, pues las presas también la necesitan para desarrollarse. Las constantes sequías son la evidencia de esta inclinación hacia poca o nula humedad. Esto puede agravarse con el fenómeno de El Niño, pues los años bajo estas condiciones demuestran ser mucho más cálidas y secas en bosques templados, provocando un estrés hídrico en la vegetación y haciéndola más vulnerable ante disturbios, como los incendios forestales (Galicia et al., 2013). Las especies más vágiles buscarán los sitios con las condiciones ideales para sus ciclos biológicos en áreas circundantes y cercanas. Esto ya se ha visto en años anteriores; durante el año 2021, guías y locales habían reportado tener pocas lluvias que llevó a una disminución de las poblaciones para los avistamientos de luciérnagas. Cuando visitaron las partes altas del bosque,

observaron una mayor cantidad de luciérnagas y mayor retención de la humedad (D. Morales, comunicación personal, 2022).

Lo descrito anteriormente es lo que pasará fenológicamente si las tendencias siguen esa dirección. A largo plazo, el cambio climático tendrá, indiscutiblemente, repercusiones irreversibles a nivel individual que pueden llegar al ecosistémico. Inclusive en escenarios intermedios, las variables se ven perjudicialmente modificadas a tal punto que se podría ver un cambio en la estacionalidad y su duración. Consecuentemente, tendrán lugar alteraciones en el ciclo de vida de luciérnagas o, en su caso, en su existencia misma. La poca tolerancia de las luciérnagas hacia un medio cambiante provocará un descenso en sus poblaciones y, aquellas que se puedan adaptar, tendrán que buscar en tiempo y espacio las condiciones que se alleguen más a las óptimas. Las proyecciones de cambio climático muestran modificaciones en la estación lluviosa, tomando lugar en el mes de octubre. Además de favorecer condiciones de sequía y plagas (Galicia, et al., 2013), uno de los posibles resultados es que las luciérnagas tendrán que esperar hasta este mes (octubre) para poder reproducirse, si es que logran sobrevivir en su etapa larval. Se ha comprobado que ésta necesita proveerse de gran cantidad de humedad para que, en la etapa adulta, pueda haber gran cantidad de individuos. De esta manera, se espera que las poblaciones en etapa adulta decaigan y haya menores avistamientos.

Tendencias de la pérdida de cobertura forestal e impacto

Una de las mayores amenazas a la biodiversidad es la fragmentación del hábitat, la cual enmarca un proceso de degradación ambiental en el que la extensión del hábitat original se ve transformada a un número de parches más pequeños, aislados entre sí (Franklin, et al.,

2002; CONABIO, 2020). Existen causas naturales y antropogénicas por las cuales el hábitat se puede fragmentar, sin embargo, éstas últimas representan las más extendidas en este proceso, siendo la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano las principales. Las consecuencias se remiten a la disrupción en las condiciones ambientales, denominada efectos de borde, provocando un aislamiento de las poblaciones de flora y fauna, desencadenando modificaciones en los procesos ecológicos. Esto afecta, principalmente, a aquellas especies con poca o nula movilidad, ya que se limita a un menor rango de desplazamiento o de distribución potencial, agravando su situación de amenaza ante otras posibles disrupciones por la incapacidad de adaptarse a las nuevas condiciones (CONABIO, 2020). Si bien hay ganancias para los bosques de Nanancamilpa y, por lo tanto, para el hábitat de la luciérnaga, las pérdidas modifican sus procesos ecológicos. Las luciérnagas, aunque cuentan con individuos adultos capaces de volar, el grado de desplazamiento es poco, pues no recorren grandes distancias. Además, en la mayor parte de su ciclo de vida, esto se acentúa por la ausencia de alas. Así, habrá individuos que tengan menos ventajas para sobrevivir, dependiendo de su sexo y de la etapa de vida en la que se encuentren. Esto también tendrá efecto, particularmente, en aquellas especies que tengan un rango de distribución específico o que sean endémicas de la región, por ejemplo, *Photinus palaciosi*, cuya distribución es limitada a los bosques y, por lo tanto, se ven afectadas por la constante pérdida de éstos, alterando su rango de desplazamiento. Esto también aplica para las especies de las que las luciérnagas obtienen su alimento, como lo son los caracoles, babosas y gusanos. La fragmentación y pérdida de hábitat implica la remoción total o parcial del suelo o de la cobertura vegetal, por lo que involucra la aniquilación de individuos, en este caso, de luciérnagas y de los recursos indispensables para su subsistencia.

La creciente presión urbana que circunda sobre las áreas boscosas tiene una fuerte implicación en las dinámicas ecológicas, no solamente por la pérdida de cobertura forestal para dar espacio a las ciudades, sino también por las necesidades que pide y exige satisfacer. Las actividades económicas son, a final de cuentas, la manera en la que el ser humano hace esto. La agricultura, en primera instancia, tiene por finalidad conseguir alimento, principalmente, para consumo humano. La búsqueda de más y mejores cultivos ha traído problemas que abarcan desde el espectro natural hasta el social, utilizando sustancias o tecnología para lograrlo. Un ejemplo de ello es el uso de pesticidas para proteger cultivos de especies que afectan la producción. A pesar de la poca información que se tiene con respecto a las afectaciones que esto ocasiona en las luciérnagas, su vulnerabilidad ante ello se puede comparar con investigaciones hechas en especies parecidas o en las que son la base de su alimentación. Las luciérnagas pueden estar expuestas a pesticidas de manera directa en su propio habitat, o indirecta con contaminación de sus presas o de la ambiental, la cual se hace efectiva con la fuerza de los vientos que los traen a su hábitat o mediante el agua presente en él. Las más vulnerables a ello son las luciérnagas que apenas están en su etapa larval o aquellas que no pueden volar, ya que no se pueden desplazar muy lejos del sitio contaminado (Fallon et al., 2019). El análisis de la cartografía en conjunto con la matriz de cambio de uso de suelo demuestra que la mayor parte de los usos de suelo cercanos a la zona de conservación son de uso agrícola, lo que podría generar conflictos con la subsistencia de las especies y puede estar asociada a los decrementos en sus poblaciones. Otra de las actividades relacionadas a la agricultura que pueden incidir en las especies son las quemas controladas, sobre todo si se hacen durante la fase pupal, ya que ésta se puede llevar a cabo en la corteza de los árboles, dependiendo la especie (Fallon et al., 2019). Uno de los mayores problemas ambientales que posee el estado de Tlaxcala es la ocurrencia de incendios forestales que,

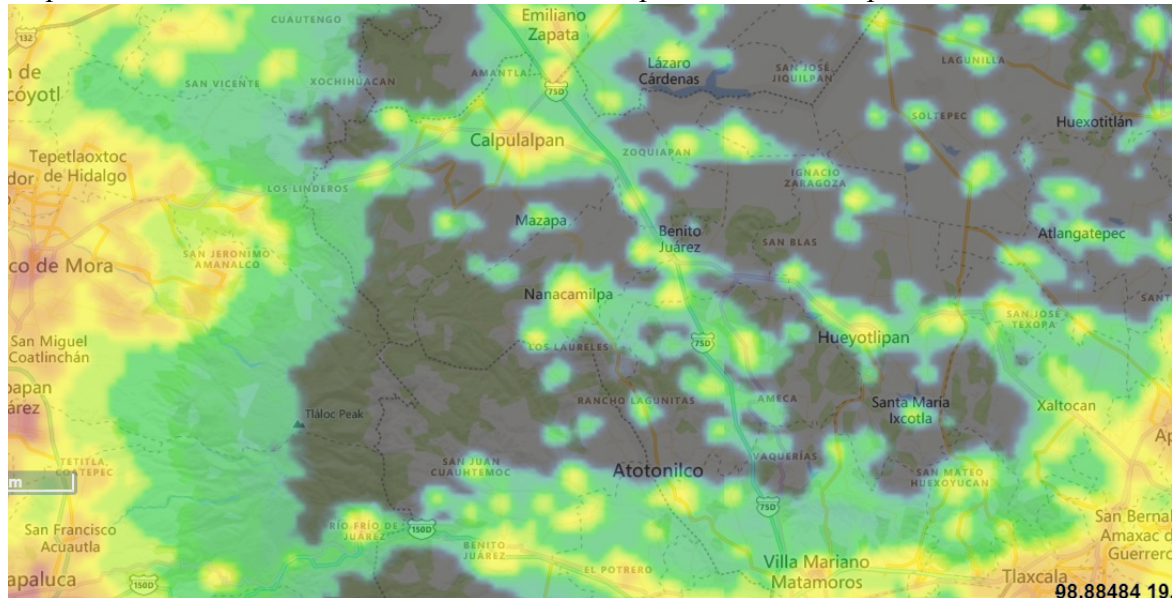
aunque también están asociados a factores naturales, muchos de ellos son por causas antropogénicas. Normalmente, ocurren entre marzo y abril (Galicia et al., 2013), periodo durante el cual las luciérnagas se encuentran en su fase larval o pupal, representando un riesgo para la cadena reproductiva de las especies.

Otro de los resultados más discutidos en la afectación hacia luciérnagas y que conciernen a la presión urbana es el uso de la luz artificial. La contaminación lumínica es una o si no es la causa más importante del detrimento de poblaciones de la especie, ya que compromete su reproducción. Estudios en otras regiones del mundo han demostrado que la luz artificial ha impactado la ocurrencia y comportamiento de luciérnagas, pues se ha especulado que estas fuentes luminosas oscurezcan las señales bioluminiscentes de luciérnagas, haciendo imposible para machos y hembras encontrarse y reproducirse (Fallon et al., 2019). En México, la tendencia sobre la ocurrencia de contaminación lumínica va al alza y, de hecho, la mayor concentración de ésta está localizada en la región centro. La cartografía con respecto a esta temática muestra que los polígonos urbanos enmarcados al territorio de Tlaxcala tienen muy pocas condiciones de cielos nocturnos claros, llegando incluso a aquellas zonas boscosas (figura 4.1) (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica [NOAA], 2022). A pesar de la urgencia de estudiar el fenómeno de la contaminación lumínica, son pocos los que se han interesado en sus implicaciones en los ecosistemas mexicanos.

Las tasas de deforestación en el área de estudio también se han debido a la presencia del descortezador. Éste pertenece a la misma familia de las luciérnagas, ya que se trata de un escarabajo que vive debajo de la corteza de los árboles, principalmente, de las coníferas. Se alimentan de los conductos de nutrientes de los árboles, provocando su muerte. En un

Figura 4.1

Mapa de contaminación lumínica sobre el municipio de Nanacamilpa, Tlaxcala



Nota. La escala de colores indica el grado de contaminación lumínica. Así, los colores naranjas y rojos indican mayor contaminación, mientras que los verdes, azules y grises, menor contaminación lumínica. Tomado de Light pollution map por Stare, J., 2022, <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=10.00&lat=19.5055&lon=-98.5333&layers=B0TFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF>

ambiente controlado, los descortezadores juegan un papel fundamental en los bosques templados, pues ayudan a eliminar árboles enfermos o débiles para así permitir el crecimiento y desarrollo de aquellos que se encuentran sanos. Esto dará paso a árboles con una mejor genética y, por consecuencia, con mayores adaptaciones a las condiciones climáticas. Sin embargo, a causa de los incendios, la tala inmoderada, la sequía y los efectos de cambio climático, así como del cambio de uso de suelo generalizado, el descortezador se ha vuelto una plaga que afecta a los bosques de todo el hemisferio norte del mundo, siendo uno de los principales perjudicados, México. Los mayores brotes del descortezador se han dado a lo largo del Eje Neovolcánico Transmexicano, región a la que pertenece el estado de Tlaxcala. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2017, los métodos de erradicación de la plaga dependerán del tipo de especie que se trate, sin embargo,

invariablemente se debe derribar el árbol con el fin de parar la migración de estos insectos a otros árboles cercanos. Actualmente, el Santuario de las Luciérnagas se encuentra inmerso en esta problemática, por lo que se han tenido que derribar árboles a lo largo del hábitat (figura 4.2). Aunque no se trata de un depredador directo de las luciérnagas, la fragmentación de su hábitat se agrava debido a la presencia del descortezador, aunado a la competencia por el uso de suelo (CONAFOR, s.f.).

Figura 4.2

Grumos de resina provocados por descortezador en tronco derribado dentro del Santuario de la Luciérnaga



Créditos: E. Muñoz, 2022.

A pesar de las pérdidas a lo largo de los años, la cobertura arbórea se ha mantenido estable debido, en gran medida, al esfuerzo de las comunidades y también al carácter federal al que se le adjudica su denominación como ADVC. Al tratarse de una iniciativa comunitaria donde los habitantes tienen el control

sobre sus predios, se puede considerar como una ventaja, ya que cuentan con un plan de manejo concreto y, por lo tanto, puede significar un impedimento para la remoción del uso de suelo de conservación.

Recomendaciones

La información recabada anteriormente demuestra que las luciérnagas son altamente vulnerables a los cambios en su medio natural. Como humanos concientizados ante la

situación de riesgo que viven estos insectos, es posible que se lleven a cabo ciertas medidas para poder propiciar la reproducción y subsistencia de las luciérnagas en todo el mundo. Éstas se enlistan a continuación como resultado de la información recabada en gabinete, en los trabajos de campo y en las experiencias y capacitación recibida en la Red Nacional de Fenología de los Estados Unidos (USA-NPN) durante la estancia de investigación de la autora de este trabajo.

- ***Limitar el uso de luz artificial***

La luz artificial es, probablemente, la principal causa del decremento de poblaciones de luciérnaga, ya que su uso excesivo ha hecho difícil la comunicación entre hembras y machos, comprometiendo así su reproducción. También representa una amenaza al exponer a las luciérnagas de depredadores que, sin esas luces, podrían ser repelados por su bioluminiscencia. Es por ello que limitar el uso de luz artificial sea una de las mejores técnicas de enriquecimiento del hábitat. Una de las medidas más sencillas es apagar luces que no se estén utilizando y reducir aquellas que tengan un uso meramente estético, así como utilizar cortinas o persianas para que la luz no se esparza a zonas no deseadas. Asimismo, es recomendable que los focos no estén expuestos, sino que estén protegidos para dirigir la luz a las zonas que se desea iluminar. Estos focos deberán ser de luz roja o, en todo caso, cubrirlos con filtros color rojo o azul. Es preferible optar por tecnología que ayude a reducir la contaminación lumínica, como los atenuadores de luz, sensores de movimiento para activar ciertos focos y temporizadores que apaguen las luces automáticamente cuando no son necesarias, sobre todo en época de avistamiento (The Xerces Society, 2020a; The Xerces Society, 2020b). Durante los avistamientos, se puede

optar por usar cuerdas de luz roja para dirigir a los turistas en los senderos y apagarlas una vez que hayan llegado al área designada (The Xerces Society, 2021).

- ***Limitar el uso de pesticidas y quemas controladas***

Es sabido que el uso de pesticidas generalizado puede ocasionar alteraciones a las dinámicas ecológicas de los ecosistemas. Aun cuando no se usen dentro de las áreas conservadas, los vientos ocasionan que lleguen a zonas no deseadas. Es por ello que se recomienda que las actividades que involucren pesticidas se lleven a cabo lejos del área que se quiere proteger. En ocasiones, esto puede ser un reto para las comunidades, ya que se trata de actividades económicas establecidas desde hace años e, inclusive, décadas. Si este es el caso, se busca que los pesticidas sean naturales y no químicos. Es importante que entre los miembros de la comunidad se comuniquen los daños provocados por los pesticidas químicos y las alternativas a llevar a cabo (The Xerces Society, 2020). Asimismo, es preferible que, de ser posible, no se hagan quemas controladas con fines agrícolas. Si esto fuera necesario, lo recomendable es conocer y estudiar las especies de luciérnaga que circundan el área para definir en qué meses del año llevan cada fase de su ciclo de vida. Con ello, se puede determinar la mejor época para la prescripción de quemas (Fallon et al., 2019). Considerando la estación lluviosa y las especies que se encuentran en los bosques de Nanacamilpa, podría ser pertinente llevar a cabo las quemas controladas antes de la fase pupal, es decir, durante el mes de abril, aproximadamente.

- ***Aplicar buenas prácticas de turismo sustentable***

Aunque no es una actividad extractiva, el turismo, si no es controlado, puede provocar serios daños a los ecosistemas. Por ello, se recomienda a aquellas comunidades que

subsisten de los recursos naturales y, en específico, de aquellos que conllevan los avistamientos de luciérnaga, que cuenten con buenas prácticas en la dinámica turística. Esto incluye que haya registro de la cantidad de turistas e implementar un número máximo de turistas por día para así reducir, de igual manera, el tamaño de los grupos que van por los senderos designados (The Xerces Society, 2020; The Xerces Society, 2021). En sitios donde el interés rebasa la capacidad, se podría implementar un sistema de reservación o de lotería donde haya más control sobre el número de turistas que arriban a los centros de avistamiento. Se podría considerar instalar infraestructura temporal (en periodo de avistamiento) o permanente que ayude a la preservación íntegra del hábitat, como señalética, bardas o plataformas de observación (The Xerces Society, 2021). En este sentido, es necesario que se hagan más estudios sobre el tema, ya que sería conveniente calcular la capacidad de carga del lugar. De igual manera, es indispensable que se respeten los senderos turísticos y que se les dé su correcta manutenzione. Conjuntamente, es recomendable incorporar programas de educación ambiental a los turistas para concientizar acerca del valor de preservar y proteger el hábitat donde se desarrolla la luciérnaga (The Xerces Society, 2020), así como de los riesgos que implica la introducción de especies no nativas de manera intencional o inintencionadamente mediante el equipaje y vehículos de los visitantes. Para ello, se pueden integrar medidas o puntos de saneamiento. Las normas también deben prohibir el uso de luces celulares, fotografía con flash y linternas de todo tipo (Fallon et al., 2019) o, si es muy necesario, pedir que usen una luz roja y apuntar solamente al camino. En esta línea, es recomendable fomentar la llegada de vehículos antes del anochecer y, para su salida, que se instalen bardas a lo largo de los caminos y estacionamientos para proteger al hábitat de las luces de los vehículos. Se puede alentar a

los conductores a usar las luces de circulación diurna para salir del sitio (The Xerces Society, 2021).

- ***Limitar la remoción de hojarasca y materia orgánica***

Al existir especies que no tienen la capacidad para volar y, por lo tanto, se encuentran en el suelo, es importante mantener la materia orgánica que se encuentra en el hábitat con el propósito de mantener las fuentes de humedad presentes. Esto incluye la hojarasca, troncos y vegetación que se encuentren en el suelo. Los únicos lugares donde se podría remover, sería en los senderos turísticos con tal de prevenir accidentes, sobre todo a la hora de los avistamientos (The Xerces Society, 2020). Se debe evitar el uso de maquinaria pesada, ya que puede aniquilar a luciérnagas jóvenes fuera de la temporada o a las hembras adultas sin alas durante ésta. Cualquier actividad que requiera la remoción de alguna de las capas del hábitat deberá considerar no afectarlo en más de un tercio en cualquier año dado (The Xerces Society, 2021).

- ***Plantar vegetación nativa***

La vegetación con variedad de alturas y presentaciones (pastos, arbustos, árboles, etc.) permiten una mayor retención de la humedad, además de ser escenarios tanto de apareamiento como de transformación durante su ciclo de vida. Así, es recomendable que se mantenga la vegetación nativa del lugar o, en su caso, plantar especies que vayan acorde a las condiciones ambientales donde esté situado. Para el Santuario de las Luciérnagas y otros lugares destinados al turismo de luciérnagas, es vital que no se remueva la cubierta vegetal, pues ello implica los escenarios de apareamiento de los cuales la comunidad subsiste. Esto puede significar un reto, ya que existe una presión importante hacia el

ecosistema, además de la situación actual sobre la plaga del gusano descortezador. Aun así, en la medida de lo posible, se requiere que las formas de vida de la zona queden intactas. Si por alguna razón se llegara a derribar un árbol, tratar de restaurar plantando otro que sea nativo del lugar. La presencia de árboles ayudará también a mantener los servicios ecosistémicos del lugar, entre ellos, la generación de sombra y bloqueo de luces artificiales (The Xerces Society, 2020).

- ***Agregar fuentes de agua***

Aunque en los apartados anteriores se mencionaron medidas para retener y ayudar a formar fuentes de humedad, es deseable que también haya cuerpos de agua cercanos. Si es que ya hubiera, mantenerlos correctamente para que estén limpios o, en su caso y en la medida de lo posible, crear algún almacenamiento de agua. Esto ayudará no solamente a la reproducción de la luciérnaga, sino a mantener el ecosistema sano (The Xerces Society, 2020). En el Santuario de las Luciérnagas, específicamente en el centro de avistamiento Santa Clara, ya se están implementando cuerpos de agua dentro del bosque como medida de mitigación ante las sequías (figura 4.3).

- ***Adoptar o inscribirse a redes de monitoreo***

Las redes de monitoreo pueden ser una gran oportunidad para acercarse a expertos en el tema y saber más acerca del ecosistema. Es aconsejable buscar técnicas que ayuden al monitoreo y de su relación con otras variables ambientales. Buscar el vínculo con algún experto puede elucidar sobre estas técnicas y su viabilidad en el área a tratar. El caso de la luciérnaga, en particular, es un desafío debido a la dificultad que implica hacer conteo de poblaciones. Sin embargo, se pueden aplicar otros métodos que ayuden en su estudio. En la actualidad, ya hay

Figura 4.3.
Poza para almacenamiento de agua dentro del santuario



Créditos: C. Arreguín, 2022.

diversos esfuerzos por hacer monitoreo fenológico con luciérnagas e inclusive, se están implementando protocolos con ciencia ciudadana, alentando a las comunidades a participar (The Xerces Society, 2020). Se debe destacar que, en este rubro, la Red Nacional de Fenología

en México está implementando un sistema de monitoreo con base en los protocolos de registro de otros países. Este fue el objetivo de la estancia de investigación que la que suscribe realizó con expertos en luciérnagas de Estados Unidos.

- ***Participar o promover políticas de protección del ecosistema***

La creación y seguimiento de iniciativas a nivel local y regional pueden ser un gran paso en la resolución de problemáticas en materia ecológica. Por esta razón, se incita a las comunidades que viven de los recursos naturales a participar y promover políticas que ayuden a la salud ambiental y, en este caso particular, aquellas que tengan una incidencia en las especies o hábitat de las luciérnagas. Los tomadores de decisiones se deben involucrar no solamente en la garantía de los derechos y obligaciones de los actores implicados, sino también en promover y hacer que se respeten las normas de comportamiento compatibles con las dinámicas naturales del hábitat. Esto es posible mediante la comunicación con los habitantes para saber sus necesidades y con expertos en el tema que puedan aportar un punto de vista científico para saber las concernientes al ecosistema (The Xerces Society, 2020).

Conclusiones

El Santuario de las Luciérnagas, como centro ecoturístico basado en el avistamiento de estos insectos, tiene una innumerable cantidad de recursos naturales que lo posicionan como un lugar único dentro del territorio nacional, gracias a su belleza paisajística. Los esfuerzos desde hace ya algunas décadas por las comunidades preocupadas por salvaguardar estos ecosistemas han sido arduos y han dejado frutos importantes en materia de conservación. Su denominación como ADVC, además de tratarse de una iniciativa comunitaria, protege a los ecosistemas en el nivel federal, promoviendo su integridad. Sin embargo, las problemáticas ambientales que repercuten globalmente han permeado a nivel regional y local, como es el caso del santuario.

El cambio climático ha traído consigo un aumento significativo de sequías y transformaciones perjudiciales en las variables ambientales que caracterizan las condiciones óptimas para las especies de luciérnaga, situándola en un riesgo inminente. Como resultado, los avistamientos son cada vez más pobres y con atrasos en su aparición. Los modelos climáticos para los próximos 100 años apuntan a una invariabilidad en las condiciones que se están presentando en la actualidad, con valores de temperatura arriba de lo normal y precipitaciones escasas durante las épocas de lluvia. De continuar con esta situación, se avecinan cambios en la fenología de las luciérnagas y, en los peores escenarios, tenderán a desaparecer. Abordar el tema desde la fenología tomó un papel fundamental en la caracterización y proyección del comportamiento de las luciérnagas ante el clima en todo su ciclo vital. Sin embargo, la falta de información sobre éste en distintas especies y de datos climatológicos fiables y completos dificultó la investigación. Es por ello que es necesario revisar, mantener y, en su caso, instalar equipos meteorológicos e instar a científicos en

estudiar especies de luciérnaga desde distintos ángulos. En particular, sería de gran utilidad que se emprendieran investigaciones desde la biología del insecto y de sus poblaciones, así como de los microclimas que toman lugar en el santuario y cómo influyen los avistamientos de luciérnaga. Con la instalación de una estación meteorológica en Nanacamilpa por parte del proyecto PAPIIT IN-308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca" del que es parte esta tesis, se ha procurado contar con registros más cercanos a los sitios de avistamientos y complementar los datos de otras estaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

Aunque se trata de un fenómeno que no está completamente en manos humanas, la implementación de medidas es esencial para combatir los estragos que el cambio climático pueda traer, siendo uno de ellos la permanencia de la cobertura arbórea. El cambio de uso de suelo que hay a nivel local y estatal perjudica los servicios ecosistémicos con los que el santuario cuenta. La remoción de los bosques, hogar de luciérnagas, es un riesgo para éstas durante todo su ciclo de vida, además de representar una menor área para su avistamiento. Esta problemática, en conjunto con el calentamiento global, expondrán el detrimento de las poblaciones de luciérnaga. Aunque la investigación se centra en estas especies, su desaparición implicará toda una serie de cambios en el ecosistema que no han sido evaluados hasta el momento. Así, las actividades humanas, en general, están ejerciendo una presión importante en el medio, por lo que se necesitan establecer medidas de acción y mitigación inmediatas que permitan dar pasos firmes hacia su conservación. De esta forma, se estaría protegiendo no solamente al entorno como tal, sino también a todo el entramado de relaciones que se disponen alrededor de los recursos, incluidas las comunidades que habitan y viven de éstos. Con los posibles resultados que el cambio climático y de uso de suelo puedan acarrear,

se está poniendo en riesgo la economía y sustento del personal y familias que dependen de los bienes que genera el Santuario de las Luciérnagas.

El papel que tomó la geografía en la investigación fue de suma importancia para entender las necesidades del ecosistema y las comunidades y la magnitud de los impactos perpetrados. La geografía como ciencia que estudia el espacio geográfico funciona como un engranaje que remarca las interacciones de los sistemas naturales y humanos, impulsando estudios más integrales y profundos en el territorio. Esto ha permitido que se puedan abordar problemáticas de diversa índole y proponer soluciones basadas en las realidades que se disponen en cada lugar. La geografía en el estudio de los impactos provocados por el cambio climático y el cambio de uso de suelo en el Santuario de las Luciérnagas fue medular para comprender cada una de las interacciones que se entretajan entre el bosque, las luciérnagas y las comunidades, evidenciando así las dinámicas que se plasman en el espacio y las relaciones que existen entre la naturaleza y la sociedad. Fue aquí donde la percepción como elemento de la investigación fungió como un facilitador para revelar las necesidades del santuario y tomarlas como punto de partida en la propuesta de recomendaciones y acciones a llevar a cabo, siempre apegadas al contexto local. Esta inquietud se resolvió con los aprendizajes adquiridos en la estancia académica realizada en la USA – National Phenology Network, los cuales enfatizaron la relevancia de las iniciativas individuales y colectivas, así como de las herramientas que se pueden adoptar a favor de la conservación ambiental.

Esta investigación puede significar un referente para futuros estudios en materia de conservación y ecoturismo de insectos en el país no solamente por la manera en la que se aproxima a problemáticas de interés nacional, sino también en la búsqueda de soluciones

basadas en el territorio. Por lo anterior, se puede considerar este trabajo como una contribución alineada a los principios internacionales del ecoturismo, pues enmarca un antecedente para integrar la sustentabilidad, el desarrollo y la educación ambiental. Las recomendaciones enlistadas en el capítulo anterior, así como el protocolo fenológico de luciérnagas (Anexo 2), tienen un potencial de aplicación a nivel nacional. Éste, como el principal producto que se desprende de este estudio, representa un primer acercamiento al monitoreo de estas especies en México que, en conjunto con el cuerpo de este trabajo, representan herramientas útiles para comprender el comportamiento de las luciérnagas ante las perturbaciones de su hábitat y como complemento en la toma de decisiones para enfrentar el cambio climático y de uso de suelo. En este tenor, de la investigación se desprendió un artículo de divulgación científica en el que se describe a grandes rasgos las características y situación de riesgo a la que se enfrentan las luciérnagas y las maneras en las que se puede ayudar a conservarlas (Anexo 3).

Sin duda, el Santuario de las Luciérnagas ha sido el resultado de los esfuerzos de las comunidades en destinar sus predios a la conservación ambiental. En este sentido, es indispensable reconocer el trabajo que, por muchos años, han mantenido todos los actores involucrados en la gestión del territorio, pues han tratado de mantener un futuro para las luciérnagas y para las futuras generaciones que las desean redescubrir. Todavía es fundamental que instancias gubernamentales, científicos y tomadores de decisiones se interesen y comuniquen con los pobladores para satisfacer sus necesidades y las del medio en cuestión, pues son ellos quienes están en constante interacción. La comunicación, en el uso extendido de la palabra, no solamente se remite a las comunidades humanas, sino también a las ecológicas que habitan en un lugar determinado. Aunque no se trata de su verdadera

intención, las luciérnagas y su situación poblacional están tratando de revelar las condiciones a las que nos enfrentamos y a las que nos enfrentaremos en un futuro. Si se aprende a apreciar estas señales de la naturaleza, así como escuchar a quienes interactúan con ella, las medidas llevadas a cabo se pensarían desde los mejores beneficios para los sistemas naturales y humanos arraigados en el Santuario de las Luciérnagas. Concientizar sobre y ante estas problemáticas ambientales da perspectiva de lo que está pasando en la era actual y tomar pequeñas acciones que ayuden a la naturaleza desde las posibilidades de cada persona.

Referencias

- Acle, R., Valverde, M., Franco, G. y Claudio, A. (2018). Sustentabilidad para la preservación del santuario de la luciérnaga en Nanacamilpa Tlaxcala. *PASOS*, 16(3), 731-744. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2018.16.052>
- Alanís, R. (2018). *Influencia del cambio de uso de suelo en la inestabilidad de ladera en la subcuenca del río Chiquito-Barranca del Muerto, volcán Pico de Orizaba* [tesis de doctorado]. <http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774220/Index.html>
- Alvarado, R. (1990). *Sistemática, Taxonomía, Nomenclatura. Nuevos avances en esos campos del saber*. Universitat de les Illes Balears. http://ibdigital.uib.es/greenstone/sites/localsite/collect/trazos/index/assoc/Trazos_1/990n7pdf.dir/Trazos_1990n7.pdf
- Banco Mundial. (2021). Metadata. Climate Change Knowledge Portal. Recuperado el 26 de enero del 2023 de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/media/document/metatag.pdf>
- Banco Mundial. (2021). *México*. Portal de conocimiento sobre cambio climático. Recuperado el 5 de septiembre del 2022 de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/mexico>
- Bryn, B. (6 de noviembre de 2014). *Science: Insects Evolved With Earth's First Land Plants*. American Association for the Advancement of Science. <https://www.aaas.org/news/science-insects-evolved-earths-first-land-plants>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *ADVCENERO2019* [Archivo Excel]. Gobierno de México. <https://www.conanp.gob.mx/areasdvc/ADVCENERO2019.xlsx>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación*. Gobierno de México. <https://advc.conanp.gob.mx/infografia-que-son/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (s.f.). Memoria Documental: ADVC (otras modalidades de conservación. Gobierno de México. <https://www.conanp.gob.mx/InformeRendicion/Memoriadocumental14.pdf>

- Comisión Nacional Forestal. (2022). *Descortezadores, enemigos de los bosques templados*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conafor/articulos/descortezadores-enemigos-de-los-bosques-templados?idiom=es>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Fragmentación*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/fragmentacion>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares de invertebrados*. Recuperado el 3 de febrero del 2021 de <https://www.snib.mx/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (enero 2022). *Portal de Geoinformación*. Recuperado el 8 de julio del 2022 de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- De la Maza, R. (s.f.). Una historia de las áreas naturales protegidas en México. *Gaceta Ecológica*, 51, 15-18. <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/gacetas/GE51.pdf>
- Del Reguero, M. (2004). 10 estrategias que fomentan la sostenibilidad del ecoturismo. *Centro Nacional de Educación Ambiental*. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/articulos-de-opinion/2004_02reguero_tcm30-163661.pdf
- Diario Oficial de la Federación. (2008). [Secretaría de Gobernación]. *Decreto por el que se reforma y adiciona diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, para fortalecer la certificación voluntaria de predios*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5034451&fecha=16/05/2008#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación. (2019). [SEMARNAT]. *Acuerdo por el que se establecen las reglas de operación del programa de conservación para el desarrollo sostenible (PROCOCODES)*. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5583023&fecha=28/12/2019
- Dirección de Planeación. (2020). *Agenda Estadística*. Secretaría de Planeación y Finanzas. https://www.finanzastlax.gob.mx/documentosSPF/planeacion/estadisticas-estatales/agenda-estadistica/2020/agenda_2020.pdf

- Dorantes, P., Rivera, G. y Espinosa, M. (2021). El desarrollo del turismo de luciérnagas desde la Teoría Actor-Red. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 40, https://www.researchgate.net/publication/349953661_El_desarrollo_del_turismo_de_luciernagas_desde_la_TAR
- Evans, T., Salvatore, D., Van de Pol, M. y Musters, C. (2019). Adult firefly abundance is linked to weather during the larval stage in the previous year. *Ecological Entomology*, 44, 265-273. 10.1111/een.12702
- Fallon, C., Hoyle, S., Lewis, S., Owens, A., Lee-Mäder, E., Hoffman, S. y Jepsen, S. (2019). *Conserving the Jewels of the Night: Guidelines for Protecting Fireflies in the United States and Canada*. The Xerces Society for Invertebrate Conservation.
- Forrest, J., Miller-Rushing, A. (2010). Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365(1555), pp. 3101-3112. [10.1098/rstb.2010.0145](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0145)
- Fournier, A. (2019). *Potencial ecoturístico en el área destinada voluntariamente a la conservación Kolijke en la Sierra Norte de Puebla, México: un enfoque socio-ambiental* [tesis de licenciatura]. <http://132.248.9.195/ptd2019/julio/0791098/Index.html>
- Franklin, A., Noon, B. y Luke, T. (2002) What is habitat fragmentation? *Studies in Avian Biology*, (25), 20-29. <https://thepep.unece.org/sites/default/files/2017-06/what%20is%20habitat%20fragmentation.pdf>
- Frierson, L. (2017). *Fireflies, Glow-worms, and Lightning Bugs: Identification and Natural History of the Fireflies of the Eastern and Central United States and Canada*. University of Georgia Press.
- Galicia, L., Gómez, L. y Magaña, V. (2013). Climate change impacts and adaptations strategies in temperate forests in Central Mexico: a participatory approach. *Springer*, 20, 21-42. 10.1007/s11027-013-9477-8
- García, Z., Almeraya, S., Guajardo, L., Torres, J. (2018). Valoración económica del Santuario de la Luciérnaga en Nanacamilpa, Tlaxcala. *El Periplo Sustentable*, (35), 64-95. <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/9078>

Global Biodiversity Information Facility. (8 de agosto de 2022). GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.bgwfvd>

Gómez, L. (Coord.). (2017). *Clima, naturaleza y sociedad: los retos del cambio climático en los socio-ecosistemas*. Bonilla Artigas Editores.

González, C. y Vallarino, A. (2014). Los bioindicadores: ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente? En C. González, A. Vallarino, J. Pérez y A. Low (Eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 24-25). Edición del Autor. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Bioindicadores-Guardianes-de-nuestro-futuro-ambiental.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2018). Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: *Calentamiento global de 1,5°C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

Gupta, J. (2010). A history of international climate change policy. *Wiley Interdisciplinary Reviews*, 1(5), 636-653. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1002/wcc.67>

Guzmán, A. (2017). *Diversidad y fenología de carábidos (Coleoptera: Carabidae) en una localidad con bosque tropical caducifolio en Sonora, México* [tesis de maestría]. <http://132.248.9.195/ptd2017/septiembre/0764858/Index.html>

Huq, E. y Abdul-Aziz, O. (2021). Climate and land cover change impacts on stormwater runoff in large-scale coastal-urban environments. *Elsevier*, 17(9), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146017>

Hussein, S., Khaled, H., Abed, A., Mohammad, A. y Eid, S. (2020). Climate Change And Its Impact On The Environment Inwadi Musa Using Geographic Information System. *Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17(9), 456-472. <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/4265/4170>

Instituto Nacional de Antropología e Historia. (s.f.). *Insecto, fragmento de estuco*. Mediateca INAH.
https://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/objetoprehispanico%3A23386

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala*.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/29/29021.pdf

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (s.f.). Nanacamilpa de Mariano Arista. En *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Estado de Tlaxcala*.
https://nanacamilpa.ayuntamientodigital.gob.mx/transparencia/nanacamilpa/ayuntamiento_64_I.FV._200324135722_29021-prontuario.pdf

Jantz, S., Barker, B., Brooks, T., Chini, L., Huang, Q., Moore, R., Noel, J. y Hurtt, G. (2015). Future habitat loss and extinctions driven by land-use change in biodiversity hotspots under four scenarios of climate-change mitigation. *Conservation Biology*, 29(4), 1112-1131. <https://www.jstor.org/stable/24483187>

Juárez, L., Hernández, M. y Campos, V. (2020). Las ADVC: una revisión crítica de su implementación para la conservación del patrimonio natural. *Ra Ximhai*, 16(4), 35-66. doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.02.lj

Khoo, V., Nada, B., Kirton, L. y Phon, C. (2012). Monitoring the population of the firefly *Pteroptyx tener* along the Selangor River, Malaysia for conservation and sustainable ecotourism. *Lampyrid*, 2, 162 – 173. https://www.researchgate.net/profile/B-Nada/publication/285742573_Monitoring_the_population_of_the_firefly_Pteroptyx_tener_along_the_Selangor_River_Malaysia_for_conservation_and_sustainable_ecotourism/links/5992ff3b0f7e9b989537b131/Monitoring-the-population-of-the-firefly-Pteroptyx-tener-along-the-Selangor-River-Malaysia-for-conservation-and-sustainable-ecotourism.pdf

Kirton, L., Nada, B., Khoo, V. y Phon, C. (2012). Monitoring populations of bioluminescent organisms using digital night photography and image analysis: a case study of the fireflies of the Selangor River, Malaysia. *Insect Conservations and Diversity*, 5, 244 – 250. doi: 10.1111/j.1752-4598.2011.00157.x

- Kohlmann, B. y Morón, M. (2003). Análisis histórico de la clasificación de los coleoptera Scarabaeoidea o Lamellicornia. *Acta Zoológica Mexicana*, 90, https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372003000300007
- Lewis, S., Thancharoen, A., Hay, C., López, T., Velasco, P., Wu, C., Faust, L., De Cock, R., Owens, A., Harvey, R., Gurung, H., Jusoh, W., Trujillo, D., Yiu, V., Jaramillo, P., Jaikla, S. y Reed, J. (2021). Firefly tourism: Advancing a global phenomenon toward a brighter future. *Conservation Science and Practice*, 3, 1-18. 10.1111/csp2.391
- López, N. (2019). *Luciérnagas en la actualidad: una estrategia de comunicación para su conservación* [tesis de licenciatura]. <http://132.248.9.195/ptd2019/junio/0790401/Index.html>
- Mahtar, A. (1981). El Hombre y la Biosfera: el programa ecológico internacional de la UNESCO cumple diez años. En *El Correo de la UNESCO: una ventana abierta sobre el mundo* 34(4), pp. 4-5. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000044595_spa
- Maquitico, Y. y Carrillo, H. (2019). El sistema reproductivo de *Macrolampis palaciosi* Zaragoza-Caballero, 2012 (Coleóptera: Elateroidea: Lampyridae). *Entomología mexicana*, 6, pp. 580-586. <https://docplayer.es/154075144-El-sistema-reproductivo-de-macrolampis-palaciosi-zaragoza-caballero-2012-coleoptera-elateroidea-lampyridae.html>
- Monterrubio, C. (2019). Formalización de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación en territorios comunitarios e indígenas, avances reverses. *EntreDiversidades*, 6 (1), pp. 70-110. Recuperado de <http://www.entrediversidades.unach.mx/index.php/entrediversidades/article/view/121/249>
- Moyers, R. (2009). *Fenología de mariposas diurnas de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D.F. y su relación con la fenología floral y otros factores ambientales* [tesis de licenciatura]. <http://132.248.9.195/ptd2009/mayo/0643094/Index.html>
- Naturalista. (2021). *Lampyridae*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado el 21 de octubre de 2021 de <http://www.naturalista.mx>.
- Norela, S., Amirul, A., Noraini, T. y Ismail, B. (2020). Leaf ultrastructure of firefly display trees. *Malayan Nature Journal*, 72(1), 93-102. <https://search-ebSCOhost->

com.pbidi.unam.mx:2443/login.aspx?direct=true&db=edseic&AN=edseic.2-52.0-85084862717&lang=es&site=eds-live

Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica. (2022) *Light Pollution – Artificial Sky Brightness*. <https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/light-pollution-artificial-sky-brightness/>

Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Artículo 1, p. 3. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Paz, R. (8 de noviembre de 2019). *Oaxtepec, el primer jardín etnobotánico en América*. Crónica. https://www.cronica.com.mx/notas-oaxtepec_el_primer_jardin_etnobotanico_en_america-1136727-2019.html

Phillips, A. (2004). The history of the international system of protected area management categories. *Parks*, 14(3), 4-14. https://parksjournal.com/wp-content/uploads/2017/06/14_3lowres.pdf

Reyes, E. (2016). *La observación fenológica comunitaria en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca: una alternativa de adaptación ante el cambio climático* [tesis de maestría]. <http://132.248.9.195/ptd2016/octubre/0751736/Index.html>

Reyes, M. (2020). *Análisis de relación entre ejidos y áreas naturales protegidas en México: Estudio de Caso del municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista Tlaxcala* (tesis de licenciatura). Universidad Iberoamericana Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/4777>

Rivera, M. De la historia de Tlaxcala, cuna de la nación, y sus insignes constitucionalistas. En M. Carbonell y Ó. Cruz (Coords.), *Historia y Constitución. Homenaje a José Luis Soberanes, Tomo II* (pp. 399-413). Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4036/22.pdf>

Ruiz, I. (2008). El cambio climático y la preservación del medio ambiente en la historia. *Tendencias*, 20-41. <https://biblat.unam.mx/hevila/TendenciasZapopan/primavera/2.pdf>

- Sanderson, M., Hemming, D. y Betts, R. (2011). Regional temperature and precipitation changes under high-end ($\geq 4^{\circ}\text{C}$) global warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369, 85-98. Doi: 10.1098/rsta.2010.0283
- Santana, L. M. y Salas, J. (2007). "Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes Landsat", *GeoFocus (Artículos)*, 7: 281-313, ISSN: 1578-5157
- Schwartz, M.D. (1999). Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *International Journal of Biometeorology*, 42: 113-118. Doi: <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s004840050093>
- Servicio Meteorológico Nacional. (s.f.). *Información climatológica*. CONAGUA. Recuperado el 28 de enero de 2021 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Servicio Meteorológico Nacional. (s.f.). *Monitor de sequía*. CONAGUA. Recuperado el 1 de abril de 2023 de <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). *Vegetación y uso de suelo*. Paot.org.mx. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/index.htm
- Sierra, G. (1985). *Aspectos biogeográficos aplicados al estudio de la fenología del gusano alfilerillo Diabrotica ssp. (Coleoptera_Chrysomelidae), en los municipios de: Chapa de Mota, Juiquipilco y san Bartolo Morelos, del Estado de México* [tesis de licenciatura]. <http://132.248.9.195/pmig2018/0012776/Index.html>
- Solís, R. y Salvatierra, B. (2013). Percepción social del cambio climático en Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación en comunidades indígenas de Oaxaca y Chiapas. *Temas Antropológicos, Revista Científica de Investigaciones Regionales*, 35(1), 29-53. <https://biblat.unam.mx/hevila/Temasantropologicos/2012-2013/vol35/no1/2.pdf>
- Su Hooi, C. (s.f.). Special ecology feature: habitat enhancement for fireflies. *Citygreen*. Recuperado de <https://www.nparks.gov.sg/>

[/media/cuge/ebook/citygreen/cg4/cg4_15.pdf?la=en&hash=E6D5FF7F0EC364E7191424D442C4E7D7167D0A24](#)

Tebaldi, C. y Knutti, R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365, 2053 – 2075. <https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2076>

The Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2020a). *Conserving the Jewels of the Night* [Panfleto]. Krystal Eldridge.

The Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2020b). *Firefly Conservation: A Guide to Protecting the Jewels of the Night* [Folleto]. Jane Kim.

The Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2021). *A Guide for Site Managers*. https://xerces.org/sites/default/files/publications/21-023_web-print.pdf

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (2017) Importancia de las secretarías: SEMARNAT. *Hojas técnicas de divulgación*, 1-8. <https://www.uacj.mx/ICB/UEB/documentos/14.%20SEMARNAT.pdf>

Vela, E. (textos y selección), “Luciérnagas”, *Arqueología Mexicana*, edición especial núm. 86, pp. 68-69. <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/luciernagas>

Zaragoza, S. (2012). *Macrolampis palaciosi* sp. nov. (Coleoptera:Lampyridae:Photininae), Tlaxcala, México. *Dugesiana*, 19(2), 117-121. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v19i2.4068>

Zaragoza, S., López, S., Vega, V., Domínguez, D., Rodríguez, G., González, M., Gutiérrez, I., Cifuentes, P. y Zurita, M. (2020). Luciérnagas del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91, 1-70. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3104>

Anexos

Anexo 1. Formato de entrevistas para el personal y los turistas del Santuario de las

Luciérnagas

Cuestionario exploratorio sobre las actividades realizadas en el Área Destinada Voluntariamente a la Conservación, la percepción de cambios climáticos en los bosques de Nanacamilpa y la fenología de las especies.

Esta entrevista ha sido elaborada con el propósito de identificar las actividades, necesidades e intereses de las comunidades que interactúan en el santuario de las luciérnagas en Nanacamilpa, Tlaxcala.

Objetivo del monitoreo: Aplicar por medio de ciencia ciudadana un protocolo de monitoreo fenológico para especies características del municipio de Nanacamilpa, Tlaxcala para identificar cambios en los ecosistemas que albergan los santuarios de avistamiento de luciérnagas.

Proyecto PAPIIT IN308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca"

Datos del entrevistado:

1.-Correo: _____

2.-Fecha: _____

3.- Localidad donde vive: _____

Estado: _____ Municipio: _____

4.- Edad: _____

5.- Sexo:

Mujer: _____ Hombre: _____ Prefiero no decirlo: _____ Otro: _____

6.- Santuario al que pertenece: _____

7.- Función dentro del santuario

Guía: _____ Representante del santuario: _____

Otro (especifique): _____

Sobre la percepción de los cambios en el ambiente

1.- Desde su perspectiva, en los últimos años, la temperatura...

Ha aumentado: _____

Ha disminuido: _____

Se ha mantenido igual: _____

2.- Desde su perspectiva, en los últimos años, la precipitación...

Ha aumentado: _____

Ha disminuido: _____

Se ha mantenido igual: _____

3.- ¿Considera que existe una degradación de los bosques en relación con actividades agrícolas y/o de deforestación?

Sí: _____

No: _____

Tal vez: _____

4.- ¿Ha habido competencia entre el uso de suelo agrícola y el de conservación?

Sí: _____

No: _____

Sobre el o los santuarios de la luciérnaga

1.- Aproximadamente, ¿cuántos turistas llegan a la zona en temporada alta?: _____

2.- ¿Existe regulación turística en los sitios de avistamiento?

Sí: _____

No: _____

Si su respuesta fue "sí" o "algunos de ellos", ¿con qué tipo de regulación cuentan?:

3.- Desde su perspectiva, en el 2020, año durante el cual no hubo actividad turística, las cantidades de individuos de luciérnaga fueron...

Mayores: _____

Menores: _____

Se ha mantenido igual: _____

4.- ¿Considera que la actividad turística tiene un impacto sobre la población de luciérnagas?

Sí: _____

No: _____

Si su respuesta fue "sí", ¿de qué tipo de impacto se trata?:

5.- Además de los avistamientos de luciérnaga, ¿qué actividades se realizan dentro de los santuarios y en qué meses del año?:

6.- Cuando no es temporada alta, ¿cómo subsiste la comunidad que depende de este recurso turístico?:

7.- ¿Qué implicaciones tiene la denominación como Área Destinada Voluntariamente a la Conservación (ADVC) para el santuario?:

8.- ¿Qué actividades económicas considera que repercuten en las actividades de conservación del santuario?:

Agricultura: _____

Silvicultura: _____

Ganadería: _____

Turismo: _____

Otra: _____

Sobre la fenología o el monitoreo fenológico

1.- ¿Ha habido algún cambio con respecto a las poblaciones de plantas o animales?:

Ha aumentado: _____

Ha disminuido: _____

Se ha mantenido igual: _____

2.- Desde su perspectiva, en los últimos años, la población de luciérnagas...

Ha aumentado: _____

Ha disminuido: _____

Se ha mantenido igual: _____

3.- Desde su perspectiva, la aparición de luciérnagas...

Ha tenido adelantos: _____

Ha tenido atrasos: _____

Se ha mantenido igual: _____

4.- ¿Qué factores considera que inciden en los avistamientos de luciérnaga?:

5.- ¿Qué medidas se llevan a cabo para la subsistencia de la especie y el hábitat de la luciérnaga?:

6.- ¿Cuentan con algún sistema de registro y/o monitoreo de especies animales?

Sí: _____

No: _____

De ser así, ¿qué especies monitorean?

7.- ¿Qué animales son comunes de ver o encontrar?

8.- ¿Qué animales consideran importantes para su monitoreo?

9.- ¿Ha notado la presencia de animales que anteriormente no eran habituales?

Sí: _____

No: _____

Tal vez: _____

Si su respuesta fue "sí", ¿de qué animales se trata?

10.- ¿Existen especies animales que tienen algún impacto para los bosques de Nanacamilpa?

Sí: _____

No: _____

Tal vez: _____

De ser así, especifique la especie de animal y el tipo de impacto que tiene.

Cuestionario exploratorio sobre las actividades realizadas en el Área Destinada Voluntariamente a la Conservación, la percepción de cambios climáticos en los bosques de Nanacamilpa y la fenología de las especies.

Esta entrevista ha sido elaborada con el propósito de identificar las actividades y percepción social del público en general que ha interactuado en el santuario de las luciérnagas en Nanacamilpa, Tlaxcala.

Proyecto PAPIIT IN308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca"

1.-¿De qué parte de la república o país visita el santuario?:

2.- Edad: _____

3.- Genero:

Mujer: _____ Hombre: _____ Prefiero no decirlo: _____ Otro: _____

4.- ¿Ha venido con anterioridad al Santuario de la Luciérnaga?

Sí: _____

No: _____

Si su respuesta fue "sí", ¿en qué fechas (mes y año)? _____

5.-Si ha venido con anterioridad, desde su perspectiva, la temperatura en el santuario...

Ha aumentado _____

Ha disminuido _____

Se ha mantenido igual _____

6.-Si ha venido con anterioridad, desde su perspectiva, la precipitación en el santuario...

Ha aumentado _____

Ha disminuido _____

Se ha mantenido igual _____

7.- Desde su perspectiva, la población de luciérnagas...

Es abundante: _____

Es escasa: _____

8.- Si ha venido con anterioridad, desde su perspectiva, la población de luciérnagas...

Ha aumentado: _____

Ha disminuido: _____

Se ha mantenido igual: _____

9.- ¿Considera que su presencia como turista tiene un impacto sobre la población de luciérnagas?

Sí: _____

No: _____

Si su respuesta fue "sí", ¿de qué tipo de impacto se trata?:

10.-Considera que el cambio climático actual ha tenido un impacto en las comunidades ecológicas del bosque de Nanacamilpa.

Sí: _____

No: _____

Si su respuesta fue "sí", ¿de qué tipo de impacto se trata?:

11.- Si notó algo significativo, con respecto a los temas que se presentan a continuación, descríbalos.

Degradación o conservación del bosque:

Presencia de especies distintas a la luciérnaga:

Deforestación o reforestación del bosque:

Anexo 2. Propuesta de protocolo de monitoreo fenológico para centros de avistamiento de luciérnagas con base en las recomendaciones de la Red Nacional de Fenología USA – NPN de Estados Unidos



PROTOCOLO DE MONITOREO FENOLÓGICO PARA ESPECIES DE LUCIÉRNAGA NOCTURNAS

Autor: Carla Isabel Arreguín Magaña

Colaboradores:

USA – National Phenology Network

The Xerces Society

El Santuario de las Luciérnagas, predio Santa Clara

Dra. Leticia Gómez Mendoza

Mtra. Erika Rocío Reyes González

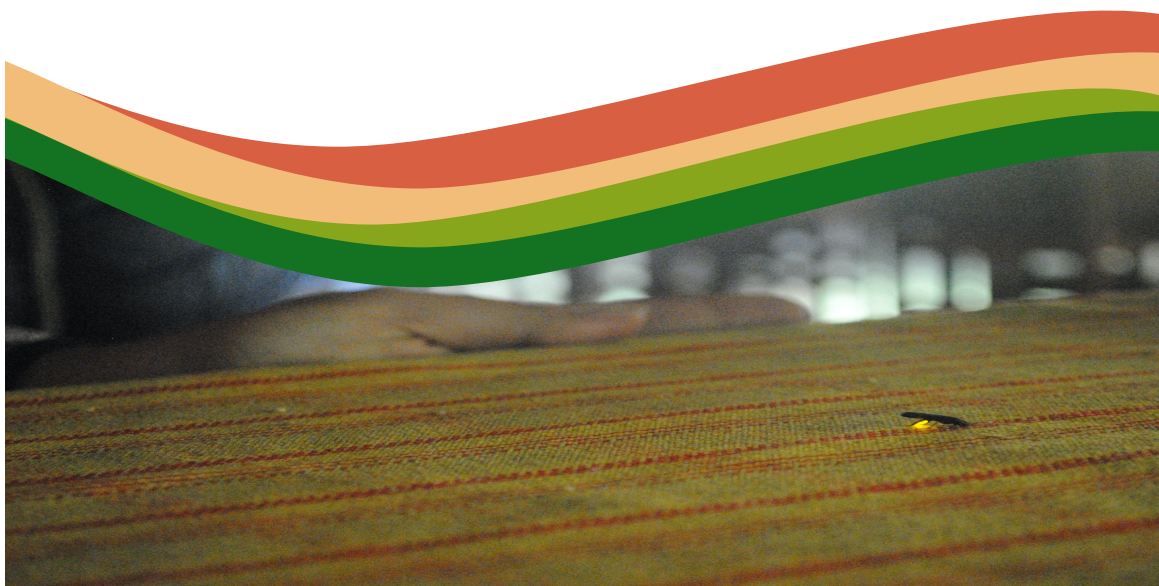
Domingo Morales Juárez

Erin Posthumus

Richard Joyce

Candace Fallon

Agradecimientos: Proyecto PAPIIT IN – 308220 “Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca”



Protocolo de monitoreo fenológico: luciérnagas (Lampyridae)

Información del sitio y del monitoreo

Nombre del observador principal:	Número de observadores:	Nombres de observadores adicionales:	Fecha:
Nombre del sitio*:	Latitud (grados decimales)**:	Longitud (grados decimales)**:	
Precisión de la localización (metros): <input type="checkbox"/> 0-25 <input type="checkbox"/> 26-50 <input type="checkbox"/> 51-100 <input type="checkbox"/> 101-250 <input type="checkbox"/> 251-500 <input type="checkbox"/> 501-1000 <input type="checkbox"/> >1000		Altitud (metros):	Área aproximada de búsqueda (hectáreas):
Hora de inicio del monitoreo:	Hora de fin del monitoreo:	Especies objetivo:	

* Nombre del centro del avistamiento o, en su caso, de la localidad donde se hizo el avistamiento. ** Incluye al menos 5 dígitos decimales.

Condiciones climatológicas y de la luna

Hora del atardecer:	Luz de luna*: <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Brillante	Nubosidad: <input type="checkbox"/> despejado (0-20%) <input type="checkbox"/> parcialmente despejado (21-40%) <input type="checkbox"/> parcialmente nublado (41-60%) <input type="checkbox"/> nublado (61-80%) <input type="checkbox"/> totalmente nublado (81-100%)
Escala de viento (Beaufort): 0 calma, 0 – 1 km/hr 1 ventolina, 2 – 5 km/hr 2 brisa muy débil, 6 – 12 km/hr 3 brisa ligera, 13 – 20 km/hr 4 brisa moderada, 21 – 30 km/hr 5 brisa fresca, 30 – 40 km/hr	Precipitación: <input type="checkbox"/> Seco <input type="checkbox"/> Húmedo (lluvia reciente) <input type="checkbox"/> Lluvia Humedad (%): Temperatura a la hora de inicio (°C): Temperatura a la hora de fin (°C):	Método: <input type="checkbox"/> Medida en el sitio <input type="checkbox"/> Aplicación o página web Método: <input type="checkbox"/> Termómetro <input type="checkbox"/> Aplicación o página web

* Luz de luna parcial = cubierta por nubes, en fase creciente o parcialmente bloqueada por topografía o vegetación; Luz de luna brillante = no obstruida o en fases cuarto creciente, menguante o luna llena

Luz artificial

Tipos (circule todos los que aplican)*:	Resplandor del cielo	Traspasso de luz	Deslumbramiento
Fuente (circule todos los que aplican):	Vehículos	Alumbrado público	Edificios Otro:
Notas:			

* Resplandor del cielo = halo amarillo en el cielo; Traspasso de luz = suelo o vegetación iluminado; Deslumbramiento = luz brillante que causa incomodidad visual

Información del hábitat

Tipo (circule el que mejor se asemeje)	Descripción	Ejemplos
Bosque de Coníferas	Comunidades vegetales de origen septentrional (Holártico), por lo común con mínima variación de especies de coníferas y frecuentemente con pocos bejuco o sin ellos.	Bosques de ayarín, cedro, oyamel, pino, pino-encino, táscate, matorral de coníferas
Bosque de Encino	Comunidades vegetales integradas por múltiples especies del género Quercus.	Bosque de encino, encino-pino
Bosque Mesófilo de Montaña	Presencia de vegetación arbórea de densa a muy densa, con epífitas y helechos.	
Selva Perennifolia	Comunidades arbóreas de origen tropical que crecen en lugares con alta precipitación y cuyos componentes vegetales mantienen su follaje verde la mayor parte del año.	Selva alta perennifolia y subperennifolia, mediana perennifolia y subperennifolia, baja perennifolia y subperennifolia
Selva Subcaducifolia	Comunidades arbóreas de origen tropical que crecen en lugares con precipitación estacional y cuyos componentes vegetales pierden las hojas del 50% al 75% durante la época seca del año.	Selva mediana subcaducifolia, baja subcaducifolia
Selva Caducifolia	Comunidades arbóreas o subarbóreas de origen tropical que crecen en lugares con precipitación estacional y en donde más del 75% de sus componentes vegetales pierden las hojas durante la época seca del año y las especies que la forman tienen espinas en sus tallos.	Selva mediana caducifolia, baja caducifolia, matorral subtropical
Selva Espinosa	Comunidades arbóreas o subarbóreas de origen tropical que crecen en lugares con precipitación estacional y sus componentes vegetales pierden las hojas más del 75% durante la época seca del año y las especies que la forman tienen espinas en sus tallos.	Selva baja espinosa caducifolia y subperennifolia, mezquital tropical
Pastizal	Comunidades herbáceas en las que predominan las especies de gramíneas o graminoides	Pastizal natural, halófilo, gipsófilo, pradera de alta montaña, sabana
Matorral Xerófilo	Comunidades arbustivas, ocasionalmente subarbóreas, que en general presentan ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con altura variable, pero casi siempre inferior a 4m.	Vegetación de desiertos arenosos, vegetación gipsófila, matorral desértico rosetófilo, crasicaulo, sarcocaulo, sarcocasicaulo, sarcocasicaulo de neblina, rosetófilo costero, espinoso tamulipeco, submontano, chaparral, mezquital xerófilo
Vegetación Hidrófila	Comunidades vegetales que habitan en terrenos pantanosos o inundables de aguas salobres o dulces poco profundas.	Selva y bosque de galería, vegetación de petén, manglar, vegetación de galería, vegetación halófila hidrófila, popal, tular
Vegetación Inducida	Comunidades vegetales que son favorecidas al interrumpirse el proceso natural de sucesión vegetal.	Pastizal, palmar y bosque inducido, sabanoides
Otros tipos de vegetación	Comunidades vegetales diferentes en su caracterización ecológica a las formaciones citadas anteriormente.	Bosque de mezquite, vegetación de dunas costeras, palmar natural, vegetación halófila
Cuerpo de agua	Extensión con cubierta de agua.	Lagos, lagunas, zonas costeras, ríos / naturales o artificiales
Sin vegetación	Áreas en donde no es visible o detectable alguna comunidad vegetal o donde algún factor ecológico no permite o limita el desarrollo de la cubierta vegetal.	Eriales, depósitos litorales, bancos de ríos, áreas con falta de suelo, elevado nivel de salinidad o sodicidad y climas extremos
Zonas urbanas, asentamientos y actividades humanas	Diferentes sistemas manejados por el hombre o conglomerado demográfico.	Actividades agropecuarias, urbano construido
Notas:		

Gestión del hábitat

Veo evidencia o sé de la ocurrencia dentro o junto al sitio de las siguientes actividades:	Notas:		
Poda (para heno, estética o manejo de vida silvestre)	Sí	No	Sospecha
Pastoreo de ganado	Sí	No	Sospecha
Cultivo	Sí	No	Sospecha
Quemas preescritas	Sí	No	Sospecha
Tala	Sí	No	Sospecha
Uso de herbicidas	Sí	No	Sospecha
Uso de otros pesticidas (insecticida, fungicida)	Sí	No	Sospecha

Notas sobre el monitoreo general (opcional):

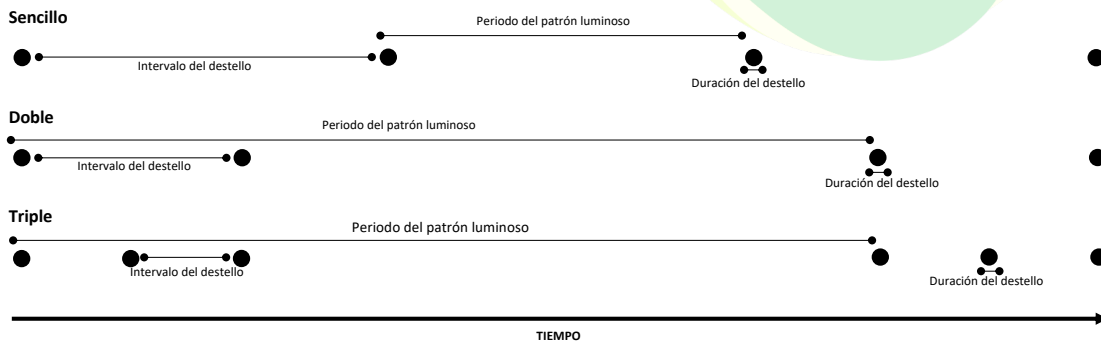
Autoría: Carla Isabel Arreguín Magaña
Título del proyecto: "Repercusiones del cambio climático y de uso de suelo en El Santuario de las Luciérnagas, Nanacamilla, Tlaxcala"
Proyecto: DGAPA-PAPIIT IN-308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca"
Responsable: Dra. Leticia Gómez Mendoza

Observaciones de luciérnagas (use otra hoja de datos para cada especie)

Especie de luciérnaga:					
Número aproximado de especies observadas: <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2-10 <input type="checkbox"/> 11-50 <input type="checkbox"/> >50					
Notas:					
Patrones de luz					
Hora del primer destello observado:		Hora del último destello observado:		Número de destellos en el patrón:	
Temperatura del aire (°C):		Temperatura del aire (°C):		<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> >4	
Color del destello (círculo uno):					
Amarillo Verde Naranja Blanco Azul Desconocido					
Periodo del patrón de luz (segundos):		Duración del destello (segundos):		Intervalo del destello (segundos):	
Altura a la que ocurrió el avistamiento (seleccione todas las opciones que apliquen): <input type="checkbox"/> Bajo (< 1 metro) <input type="checkbox"/> Medio (1 – 3 metros) <input type="checkbox"/> Alto (> 3 metros)					
Descripción del lugar donde están los destellos:					
Descripción del comportamiento del destello del macho:					
Descripción del comportamiento del destello de la hembra (demora del destello), si observado:					
Identificadores de fotografía (número u hora):					

Red Nacional de Fenología

Patrones de luz: ejemplos y términos



Fuente: Traducido y adaptado para México de The Xerces Society (2022). *Survey Data Sheets*. The Firefly Atlas. <https://www.fireflyatlas.org/get-involved/data-sheets>

Referencias:

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación: escala 1:250,000: versión 3. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825063443.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie VI. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

Autoría: Carla Isabel Arreguín Magaña
 Título del proyecto: "Repercusiones del cambio climático y de uso de suelo en El Santuario de las Luciérnagas, Nanacamilpa, Tlaxcala"
 Proyecto: DGAPA-PAPIIT IN-308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca"
 Responsable: Dra. Leticia Gómez-Mendoza

Anexo 3. Artículo de divulgación científica: “Encendiendo las luces: una llamada para salvar a las luciérnagas”

Revista Digital Universitaria
Vol. 24, Núm. 2, marzo-abril 2023

Encendiendo las luces: una llamada de acción para salvar a las luciérnagas

Turning on the lights: a call to action to save fireflies

Carla Isabel Arreguín Magaña y Leticia Gómez Mendoza

Resumen

Dentro de los efectos más discutidos sobre el cambio climático está su repercusión en la pérdida de biodiversidad. Uno de los grupos más olvidados en este aspecto son los insectos, vulnerables debido a su alta sensibilidad a las variaciones en el clima y en su hábitat. Las luciérnagas no son la excepción, pues requieren de alta humedad y rangos de temperatura específicos para poder desarrollarse. En este trabajo te contamos los impactos del cambio climático en las luciérnagas que viven en los santuarios de Nanacamilpa en Tlaxcala y, con ello, las implicaciones en el ecoturismo local. Se presentan también algunas acciones a llevar a cabo para mitigar estos impactos.

Palabras clave: cambio climático, luciérnaga, Nanacamilpa, Tlaxcala.


Abstract

Among the most discussed effects on climate change is its impact on biodiversity and, although less noticeable, specifically on insects due to their high sensitivity to variations in climate and habitat. Fireflies are no exception, as they require high humidity and specific temperature ranges to develop. This paper discusses the impacts of climate change on fireflies living in the Nanacamilpa sanctuaries in Tlaxcala and, with it, the implications for local ecotourism. Some actions to be carried out to mitigate these impacts are also presented.

Keywords: climate change, firefly, Nanacamilpa, Tlaxcala.

CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Arreguín Magaña, Carla Isabel y Gómez Mendoza, Leticia (2023, marzo). Encendiendo las Luces: una llamada de acción para salvar a las luciérnagas. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 24(2). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.2.14>

Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia (CUAIEED)
Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia de Creative Commons 4.0 

Carla Isabel Arreguín Magaña

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Egresada de la licenciatura en Geografía en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha sido becaria en diversos programas y proyectos de investigación y ha participado como ponente en eventos especializados. Su línea de investigación está enfocada en los impactos del cambio climático y cambio de uso de suelo en las luciérnagas. Como parte de este proyecto, recientemente hizo una estancia académica en la Red Nacional de los Estados Unidos con sede en la Universidad de Arizona.

 carla_arreguin@comunidad.unam.mx

Leticia Gómez Mendoza

Posgrado en Geografía y Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Obtuvo la licenciatura, maestría y doctorado en Geografía en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y realizó una estancia posdoctoral en el Centro de Ciencias de la Atmósfera. Es profesora Titular de Tiempo Completo del Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía, del Posgrado en Geografía y del Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad en la UNAM. Tiene la distinción del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel 1 (2022-2025). Sus líneas de investigación son meteorología, cambio climático, variabilidad climática y sus efectos en la biodiversidad y espacios de conservación y los efectos del clima en la salud; y sus líneas de docencia: meteorología, climatología, climatología urbana y teoría y métodos en geografía física.

 orcid.org/0000-0003-2436-0302

Introducción

Cuando pensamos en cambio climático casi de inmediato visualizamos la imagen de un oso polar sobre un trozo de hielo deritiéndose. Sin embargo, uno de los grupos biológicos más perjudicados por el cambio climático son los insectos, quienes por mucho tiempo han pasado desapercibidos en esta problemática.

Los insectos, al ser altamente vulnerables a los cambios de temperatura y la precipitación, son blanco de transformaciones en su organismo y su comportamiento (Cornelissen, 2011). Más allá de su importancia en los procesos de obtención de alimento, gracias a la polinización, habrá quienes cuestionen su cercanía a los seres humanos y de su importancia en

las sociedades. Sin embargo, estas dudas son resueltas fácilmente, ya que: las culturas humanas, a lo largo de los siglos, han mostrado su admiración ante ciertas especies de insectos. Pensemos, por ejemplo, en los egipcios que consideraban a la especie *Scarabaeus sacer* como fuente de fortuna (Kritsky, 2014), misma que forman parte de los escarabajos, orden taxonómico al que pertenecen las protagonistas de esta historia: las luciérnagas. Estos pequeños insectos también están experimentando cambios en su hábitat, por lo que su papel en los ecosistemas está siendo afectado por el cambio ambiental.

¿Qué son las luciérnagas y cómo se desarrollan?

Las luciérnagas, gusanos de luz o bichos de luz (figura 1), pertenecen a la familia *Lampyridae*, con más de 2000 especies conocidas. Su particular capacidad para emitir luz es usualmente la manera en que atraen a su pareja, aunque también la usan para alertar sobre posibles amenazas. En algunas especies, la bioluminiscencia está sujeta a características específicas, como el sexo o alguna fase de su ciclo vital, sin embargo, en su mayoría, todos los individuos adultos lo hacen desde un órgano especializado del abdomen. Habitualmente, los machos se pueden vislumbrar en las noches volando para encontrar hembras con quienes aparearse, mientras ellas se posan entre arbustos, plantas y el suelo, donde emiten una luz más tenue y corta, en respuesta al macho que la sobrevuela (Frierson Faust, 2017).

Figura 1. Luciérnaga *Photinus pyralis*. Fotografía: Terry Priest, 2006



En la figura 2 se observa que las luciérnagas se encuentran en casi todos los continentes y en diversos tipos de ecosistemas, por lo que existen especies adaptadas a climas tropicales y a climas templados, así como las hay acuáticas o terrestres y de actividad diurna o nocturna. En su mayoría, las luciérnagas que se encuentran en México son terrestres y, aunque cada una tiene sus particularidades, su ciclo de vida es similar. Generalmente, el ciclo empieza cuando las hembras dejan sus huevos a mediados de verano para eclosionar antes del otoño. Después, se vuelven larvas, periodo en el que se alimentan con gran cantidad de gusanos y babosas. La etapa pupal ocurre poco antes de que se vea a los machos volar en búsqueda de pareja en junio y julio (Frierson, 2017).

Luciérnagas y cambio climático

El cambio climático no solamente afecta la distribución de especies, sino también factores internos a su metabolismo. El caso de las luciérnagas es particular, ya que están altamente condicionadas a la temperatura y la precipitación. En primera instancia, la bioluminiscencia, su rasgo más distintivo, es dependiente de la temperatura: cuando las temperaturas son las ideales, requieren de menor energía para producir luz. Asimismo, requieren de gran cantidad de agua durante su ciclo vital, por lo que la humedad es la condicionante por excelencia en todo su desarrollo. Si estos parámetros ambientales no están en los rangos adecuados, las poblaciones de luciérnaga decaen.

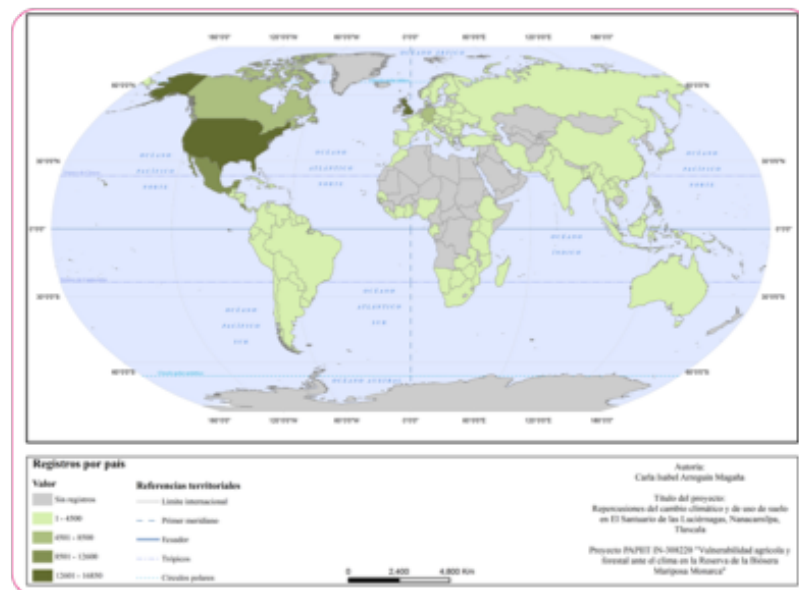


Figura 2. Mapa de registros de luciérnaga por país, (elaboración propia con base en el Sistema Nacional de Información Biológica, sva).

Figura 3. Senderos que se ofrecen en algunos centros de avistamiento del Santuario de las Luciérnagas, Nanacamilpa, Tlaxcala. Autora C. Arreguín, 2022.



Bajo condiciones cálidas y secas en ciertas temporadas del año, el desarrollo larvario se vuelve complicado y, por lo tanto, la vida útil de los adultos se reduce (Evans et al., 2018; Frierson, 2017). De esta forma, se considera que estos pequeños animalitos son indicadores de ambientes sanos gracias a su baja tolerancia a los cambios en las condiciones ambientales (Frierson, 2017). Dada su alta vulnerabilidad, los efectos del cambio climático y otras problemáticas ambientales empiezan a considerarse una amenaza para la subsistencia de las luciérnagas. Aunque su estado todavía no es del todo claro, científicos alrededor del mundo han comenzado a unir esfuerzos para conocer y hacer saber la categoría de riesgo de cada especie, estando algunas ya en peligro o en situación vulnerable en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Lewis et al., 2020).

El Santuario de las Luciérnaga

El Santuario de la Luciérnaga (figura 3), es un centro ecoturístico dedicado a la conservación de los bosques que conforman el hábitat de las luciérnagas que ahí viven, las cuales son endémicas de la región. Está ubicado en el municipio de Nanacamilpa, Tlaxcala y abarca un total de 26 centros de avistamiento repartidos a lo largo de 600 hectáreas, bajo una organización comunitaria en Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación. El municipio, generalmente, posee temperaturas entre los 12 y 14 grados centígrados (°C), y una precipitación que oscila los 700 y 800 milímetros (mm). Cada verano, miles de turistas viajan de otros estados de la República para los avistamientos de luciérnaga en el Santuario. Esta actividad turística representa una derrama económica

importante para los pobladores (aproximadamente, \$400,000 pesos por temporada de avistamiento) (García et al., 2018) y, como tal, para la conservación del bosque (INEGI, 2009). Sin embargo, las constantes sequías y el aumento de las temperaturas han modificado el comportamiento natural de las luciérnagas, que se han desplazado a mayores alturas donde pueden encontrar las condiciones óptimas para su reproducción. Esto ha traído consigo poblaciones de insectos escasas, donde antes era común observarlas en grandes cantidades, afectando gravemente la percepción de los turistas y, por lo tanto, la economía local.

¿Cómo se puede ayudar?

Aunque no se pueda revertir el cambio climático a nivel individual, se puede ayudar en la aplicación de medidas y acciones que sirvan para contrarrestar sus efectos o, en todo caso, ayudar a propiciar espacios amigables para ciertas especies. Dado que estos escarabajos luminosos se pueden encontrar en diversos ecosistemas, incluyendo jardines y áreas periurbanas, es necesario aplicar las recomendaciones que se enlistan a continuación, mismas que ayudarán a optimizar, enriquecer y destinar espacios donde las luciérnagas se puedan desarrollar. Las medidas se pueden adecuar a cualquier tipo de inmueble o estilo de vida, ya que no se trata de sugerencias absolutas, sino que las personas pueden implementar las que mejor se adapten a sus circunstancias particulares.

- **Limitar la luz artificial.** Dado que la comunicación

de las luciérnagas se da exclusivamente con patrones luminosos, usar irresponsablemente la luz puede confundirlas. Por ello, se recomienda limitar su uso o utilizar herramientas de bloqueo de luz, como cortinas o persianas; es posible optar por filtros de luz de colores azul o rojo en las luminarias exteriores, estos filtros disminuyen el daño.

- **Ser un turista responsable.**

Si tiene la oportunidad de visitar algún centro de avistamiento dentro o fuera de México, es indispensable respetar el ecosistema y atender las indicaciones, señalizaciones y normas de conducta correspondientes. Es pertinente recordar que la cantidad de luciérnagas en determinadas veladas no es responsabilidad de los guías y personal a cargo, sino de las condiciones que se presentan en su momento, tales como la luz de la luna, la presencia de lluvia, la humedad en el bosque y la temperatura del ambiente.

- **Agregar o mantener plantas y hojarasca.** La vegetación es una de las mejores formas de propiciar espacios para luciérnagas, ya que representan refugio y escenarios de apareamiento. Sin embargo, debe considerarse el tipo de vegetación que existe de manera natural en la zona donde se encuentre, puesto que puede haber especies que sean perjudiciales. Así, se recomienda investigar qué plantas son las

mejores para el área que se piensa destinar. Asimismo, si ya cuenta con algunas plantas o árboles, trate de no retirarlos. Lo mismo aplica para la hojarasca que se encuentra en el suelo, pues estas mantienen la humedad y temperatura del suelo y del ambiente.

- **Agregar fuentes de agua cercanas.** Esto ayudará no solamente a mantener la humedad presente, sino también el ambiente. Si es que ya se cuenta con alguna, mantenerla adecuadamente.
- **Inscribirse a redes de monitoreo.** Existen grupos de científicos y personas alrededor del mundo que han destinado sus esfuerzos a crear redes de monitoreo de poblaciones de luciérnagas, a las cuales, muchas veces, puede acceder cualquier persona interesada. Algunas son más especializadas que otras, pero tienen como objetivo común registrar la presencia de especies. Esto ayudará a los científicos y organizaciones públicas y privadas a interpretar la situación actual y futura e implementar medidas. México ya cuenta con redes de monitoreo que permiten hacer este tipo de estudios mediante la Red Nacional de Fenología MX, cuyo propósito es recabar, interpretar y compartir información en relación con el clima y las especies.
- **Impulsar políticas a favor del medio ambiente.** Como ciudadanos, se puede instar a

que los gobiernos consideren leyes y normas en materia de cambio climático y en pro de un medio ambiente sano, lo cual, significa también promoverlo para la biodiversidad y, por lo tanto, para las luciérnagas (Xerces Society, 2020; Xerces Society, 2020).

Encendiendo las luces

Sin duda, las luciérnagas nos han hecho suspirar innumerables veces en aquellas noches de verano. El Santuario de la Luciérnaga de Santa Clara, Nanacamilpa intenta salvaguardar un futuro para ellas y para las generaciones venideras que las desean redescubrir. Aunque es difícil actuar desde la individualidad, ser sensibles ante la problemática que implica el cambio climático es fundamental para visualizar el panorama completo y tomar acción desde nuestras posibilidades. Quizás, desde este lugar, podamos dejar de encender los focos sobre su estado de amenaza y volver a iluminar con luz de luciérnagas.

Referencias

- ❖ CONABIO. (2020). *Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Registros de ejemplares de invertebrados*. <https://www.snib.mx/>
- ❖ Cornelissen, T. (2011). Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. *Neotropical entomology*, 40(2). 155-163 <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000200001>

- ❖ Evans, T., Salvatore, D., Van de Pol, M. y Musters, C. (2019). Adult firefly abundance is linked to weather during the larval stage in the previous year. *Ecological Entomology*, 44, 265-273. <https://doi.org/10.1111/een.12702>
- ❖ Frierson, L. (2017). *Fireflies, Glow-worms, and Lightning Bugs: Identification and Natural History of the Fireflies of the Eastern and Central United States and Canada*. University of Georgia Press.
- ❖ García, Z., Almeraya, S., Guajardo, L. y Torres, J. (2018). Valoración económica del Santuario de la Luciérnaga en Nanacamilpa, Tlaxcala. *El Periplo Sustentable*, (35), 64-95. <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/9078>
- ❖ INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala*. <https://bit.ly/3ZVzkDv>
- ❖ Kritsky, G. (1991). Beetle Gods of Ancient Egypt. *American Entomologist*, 37(2), 85-89. <https://doi.org/10.1093/ae/37.2.85>
- ❖ Lewis, S., Thancharoen, A., Hay, C., López, T., Velasco, P., Wu, C., Faust, L., De Cock, R., Owens, A., Harvey, R., Gurung, H., Jusoh, W., Trujillo, D., Yiu, V., Jaramillo, P., Jaikla, S. y Reed, J. (2021). Firefly tourism: Advancing a global phenomenon toward a brighter future. *Conservation Science and Practice*, 3, 1-18. <https://doi.org/10.1111/csp2.391>
- ❖ Terry Priest. (2006, 25 julio). *Firefly 8823*. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/16849297@N00/198487523>
- ❖ Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2020). *Conserving the Jewels of the Night* [Pamphlet]. Krystal Eldridge.
- ❖ Xerces Society for Invertebrate Conservation. (2020). *Firefly Conservation: A Guide to Protecting the Jewels of the Night* [Brochure]. Jane Kim.

Agradecimientos

Al proyecto DGAPA-PAPIIT IN-308220 "Vulnerabilidad agrícola y forestal ante el clima en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca". Y a la [Red Nacional de Fenología MX](#), iniciativa de donde se origina este artículo.

Recepción: 11/11/2022. Aprobación: 16/02/2023.