



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

Efecto de la temperatura ambiental en el  
desplazamiento de colonias de hibernación  
de Mariposa Monarca (*Danaus plexxipus* L.)  
en México

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

OSMAR OBED RAMÍREZ VÁZQUEZ

DIRECTORA DE TESIS: DR. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. RAÚL OMAR REAL SANTILLÁN

MORELIA, MICHOACÁN

AGOSTO, 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores,  
Unidad Morelia

Efecto de la temperatura ambiental en el  
desplazamiento de colonias de hibernación  
de Mariposa Monarca (*Danaus plexxipus* L.)  
en México

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

OSMAR OBED RAMÍREZ VÁZQUEZ

DIRECTORA DE TESIS: DR. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ

CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. RAÚL OMAR REAL SANTILLÁN

MORELIA, MICHOACÁN

AGOSTO, 2023



ESCUELA  
NACIONAL  
de ESTUDIOS  
SUPERIORES  
**UNIDAD MORELIA**

**10**  
años  
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

**MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE**

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

**PRESENTE**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 10** del **Comité Académico** de la **Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia, celebrada el día **17 de noviembre de 2021**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno **Osmar Obed Ramírez Vázquez** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **417011622**, con el trabajo titulado: **"Efecto de la temperatura ambiental en el desplazamiento de colonias de hibernación de Mariposa Monarca (*Danaus plexippus* L.) en México"**, bajo la dirección como tutor de la **Dra. María Isabel Ramírez Ramírez** y como co-tutor el **Dr. Raúl Omar Real Santillán**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

<b>Presidente:</b>	Dra. Ek del Val de Gortari
<b>Vocal:</b>	Dr. Hernando Alonso Rodríguez Correa
<b>Secretario:</b>	Dra. María Isabel Ramírez Ramírez
<b>Suplente:</b>	Dra. Mariana Vallejo Ramos
<b>Suplente:</b>	Dr. Miguel Ángel Salinas Melgoza

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Morelia, Michoacán a 23 de mayo de 2023.

**DRA. YUNUEN TAPIA TORRES**  
SECRETARÍA GENERAL

**CAMPUS MORELIA**

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta  
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443) 689.3500 y (55) 5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614  
[www.enesmorelia.unam.mx](http://www.enesmorelia.unam.mx)

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad por mi formación profesional.

A mi cuerpo sínodo conformado por Ek del Val de Gortari, Mariana Vallejo Ramos, María Isabel Ramírez Ramírez, Miguel Ángel Salinas Melgoza y Hernando Rodríguez Correa, por ser parte fundamental de mi formación universitaria.

Al personal administrativo de la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, especialmente a Verónica Janette Chávez Hernández, Miriam Eloina Lara Morales, Mauricio Ríos Rojas, Agustín Martínez Morales, Edgar Zavala Córdoba y Alejandro Rebollar Villagómez del departamento de servicios escolares, al médico Francisco Ambriz del área de prevención y apoyo a la salud, a la maestra Neyra Sosa de la secretaria de vinculación, al maestro Pablo García de servicios de telecomunicaciones, a Diana Moncada, Miguel Viveros, Alejandra Ceja y Bosco Tapia de la unidad de estrategia educativa y al Arquitecto Miguel García de superintendencia de obras por su excelente trabajo y apoyo que me brindaron a lo largo de mi licenciatura y hasta el final de ella.

La tesis fue dirigida por la Dra. María Isabel Ramírez Ramírez, del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM) y el Dr. Raúl Omar Real Santillán del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES-UNAM). El trabajo es parte del proyecto “Interacción de causas de mortalidad de mariposa monarca en dos sitios de hibernación en México”, en colaboración entre la Universidad de Western Ontario (UWO, Canadá), CIGA-UNAM y Alternare A.C (México) bajo la responsabilidad del Dr. Jeremy McNeil (UWO) y la Dra. María Isabel Ramírez Ramírez (CIGA).

## AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi padre Jesús Ramírez que con tu amor has sido mi apoyo, mi mejor amigo, mi guía e inspiración personal más fuerte.

A mi madre Teresa Vázquez por tu amor incondicional, por enseñarme a ser un ser con valores y por nunca perder la fe en mí.

A mi hermanita Nataly Ramírez por acompañar a mis padres en mi ausencia y por siempre amarme pese a nuestras diferencias.

A mis abuelitos Ana Ángeles, Ilaria García y Pedro Vázquez por ayudar en mi crianza y enseñarme los valores que dirigirían mi vida, por enseñarme a amar, así como a disfrutar los pequeños detalles que da la vida, y sobre todo por ese amor que solo ustedes pudieron dar.

A mis tíos Lourdes Mendoza y Alberto Vázquez por su apoyo cuando más lo necesitaba mi familia, por sus consejos y su cariño.

A mis amigos de vida, mi familia que escogí, Astrid Barrera, Juan Carmona y Alejandra León por seguir siendo parte de mi vida y hacer de esta más bonita aún con la distancia de por medio.

A Iván Carrasco - “El Gallo” por tu amor, tu amistad y por ser como un hermano para mí.

A Paulina Salazar por ser una de mis más grandes inspiraciones para crecer personal y académicamente, por tus consejos, tu compañía, tu fe en mí (que incluso era mayor que la que yo tenía sobre mí) y por todo tu amor que me trajo hasta aquí.

A Alejandra Fabiola Sosa por ser mi amiga y compañera de estudio para ingresar a la universidad, por inspirarme a estudiar más horas y por tus muchos consejos personales y académicos que todos los días me dabas.

A mis amigos Uriel Pacheco, Mariana Brito, Careli Vargas y Adrián Castañeda por su hermosa amistad, así como las bellas y emocionantes experiencias compartidas.

A Carmen Díaz “Mely” por dejarme ser parte de tu vida, por no darme la razón solo por dárme la, por confrontarme cuando era preciso, por darme un consejo cuando lo necesitaba, por las aventuras y logros en conjunto, por enseñarme a luchar contra el TLP, la depresión y nuestros demás demonios. Un beso hasta el cielo Mely...

A Mariana Brito por ser como una hermana mayor y menor al mismo tiempo (fuiste dos en una), por dejarme ayudarla y ayudarme siempre que nos necesitamos y darme la oportunidad de ser tu amigo y por abrirme las puertas de tu casa y tu familia.

A León Amicar “Leo” por sus conocimientos compartidos, su apoyo, cariño, amor y amistad incondicional.

A Cecilia Lizeth – “Mi Moni” por las muchas aventuras, por ser mi compañera ante grandes adversidades, por ser mi mejor amiga, mi cuidadora y por tu amor.

A la familia Brito Jurado por ser mí segunda familia en Morelia, por hacerme sentir en familia con su rica comida, sus bellas historias, sus buenos consejos y la calidez que me daba su compañía.

Al cuerpo de voluntarios ENES Morelia y al Dr. Jaime Chavolla por darme la oportunidad de trabajar en equipo y siempre con la convicción de ayudar.

A Francisco Ambriz y a Neyra Sosa por siempre ver buenas cualidades en mí e invitarme a formar parte de la comisión interna de seguridad de la ENES Morelia lo cual me inspiró a querer ser un mejor estudiante, un mejor voluntario e individuo para la sociedad.

A Esther Rodríguez por su amistad, su apoyo personal y académico, por brindarme momentos de mucha paz, entendimiento y cariño.

A Miriam Lara por ser esa mujer tan bella que siempre estuvo ahí para darme tus consejos, tu apoyo y también tus regaños de “Darth Vader” que me ayudaron a ser mejor, por tu cariño, tu amor y por hacerme sentir como tu propio hijo.

A la Dra. Isabel Ramírez por ser mi tutora, mi maestra favorita en toda mi licenciatura, por incluirme en tu equipo de trabajo y proyectos, lo cual me ha ayudado a fortalecer mi formación profesional, y finalmente por la calidez y cariño que me transmitiste.

Al Dr. Raúl Omar Real Santillán por tu amistad y por siempre apoyarme en mis proyectos experimentales de la licenciatura, por ayudarme a reforzar mis conocimientos y ayudarme a generar nuevos.

***En memoria de Anahí Ramírez Vázquez  
Siempre serás ese brillo y esa lagrima que corre por mis ojos...***

# INDICE

<b>INDICE DE FIGURAS Y CUADROS</b> .....	ii
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1 <i>Mariposa Monarca</i> .....	3
2.2 <i>Amenazas al fenómeno de migración de la mariposa monarca</i> .....	4
2.3 <i>Importancia del bosque conservado</i> .....	6
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	8
4.1 <i>General</i> .....	8
4.2 <i>Específicos</i> .....	8
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	9
5.1 <i>Área de estudio</i> .....	9
5.2 <i>Medición de temperatura ambiental</i> .....	10
5.3 <i>Cobertura del dosel</i> .....	12
5.4 <i>Análisis estadístico</i> .....	13
<b>6. RESULTADOS</b> .....	14
6.1 <i>Ubicación y desplazamiento de las colonias de Sierra Chincua y Cerro Pelón, temporada 2019-2020</i> .....	14
6.2 <i>Cobertura forestal</i> .....	16
6.3 <i>Temperatura ambiental</i> .....	17
6.4 <i>Cobertura forestal, temperatura ambiental y desplazamiento de las colonias de hibernación en sierra Chincua y Cerro pelón, temporada 2019-2020</i> .....	24
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	25
<b>8. CONCLUSIÓN</b> .....	28
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	29



## INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

<b>Figura 1.</b> Mariposa monarca bebiendo agua de rocío en el llano de los tres gobernadores (Foto: propia)	3
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida de la mariposa monarca (O. Ramírez Vázquez y R. Guillén Aguilar)	4
<b>Figura 3.</b> Colonia de hibernación en Cerro Pelón	9
<b>Figura 4.</b> Colonia de hibernación en Sierra Chincua	10
<b>Figura 5.</b> Mapa de áreas críticas en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	11
<b>Figura 6.</b> Desplazamiento de las colonias de mariposa monarca en los santuarios de Sierra Chincua y Cerro Pelón, Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, temporada 2019-2020. A) Ubicación de los sitios de estudio en la RBMM; B) Cubiertas del suelo en el área crítica de Santuario Sierra Chincua; C) Cubiertas del suelo en el área crítica del Santuario Cerro Pelón. (B y C: clasificación de imagen Sentinel 2018 cedida por JG López-Sánchez).	15
<b>Figura 7.</b> Promedio de cobertura forestal en los sitios ocupados por colonias de mariposas monarca en Sierra Chincua y Cerro Pelón, temporada 2019-2020.	16
<b>Figura 8.</b> Temperaturas máximas y mínimas en Cerro Pelón registradas en los termómetros fijo (CP_I) y móvil (CP_II) para el periodo diciembre 2019 a marzo-2020; el recuadro amarillo señala el periodo de emigración y el recuadro verde marca el momento del desplazamiento de la colonia al interior del santuario.	17
<b>Figura 9.</b> Temperaturas máximas y mínimas en Sierra Chincua registradas en los termómetros fijo (SC_I) y móvil (SC_II y III) y móvil (SC_III) para el periodo diciembre 2019 a marzo-2020 el recuadro amarillo señala el periodo de emigración y el recuadro verde marca el momento del desplazamiento de la colonia al interior del santuario.	18
<b>Figura 10.</b> Promedio y variabilidad de las temperaturas semanales en las diferentes ubicaciones de toda la temporada 2019-2020 en la colonia de Sierra Chincua. La línea roja delimita el final de la presencia de mariposa monarca y los asteriscos marcan los desplazamientos de la colonia al interior del santuario.	20
<b>Figura 11.</b> Promedio y variabilidad de las temperaturas semanales en las diferentes ubicaciones de toda la temporada 2019-2020 en la colonia de Cerro Pelón. La línea roja delimita el final de la presencia de mariposa monarca y el asterisco marca el desplazamiento de la colonia al interior del santuario.	21
<b>Cuadro 1.</b> Temperaturas extremas registradas dentro de los agregados de colonias de hibernación de mariposa monarca reportadas desde 1980 (En el estudio de Pérez-Miranda no se analizaron umbrales críticos)	6
<b>Cuadro 2.</b> Características de ubicaciones de establecimiento de las colonias de mariposa monarca en Cerro Pelón y Sierra Chincua, temporada 2019-2020.	14
<b>Cuadro 3.</b> Resumen de ANOVA del modelo lineal de respuesta de temperaturas máximas (Max) y mínimas (Min) para los santuarios Sierra Chincua y Cerro Pelón. Los efectos significativos se muestran en negritas.	22
<b>Cuadro 4.</b> Promedio, error estándar y la prueba LSD para los Santuarios Cerro Pelón (CP) y Sierra Chincua (SC) y su ubicación (fijo y móvil).	23

## RESUMEN

Desde finales de la década de 1990 la abundancia de mariposa monarca en sus sitios de hibernación en México ha disminuido de manera alarmante. Esta reducción está siendo causada por múltiples factores que ocurren tanto en sus áreas de alimentación y reproducción en Canadá y Estados Unidos, a lo largo de la ruta migratoria y en los sitios de hibernación. En estos últimos, las mariposas son afectadas por la ruptura de las condiciones microclimáticas ocasionada por la perturbación y reducción de los bosques a causa de actividades humanas y el cambio climático. Los esfuerzos de conservación han sido insuficientes para competir con otros usos de suelo que han dado lugar a talas ilegales, manejos forestales inadecuados y actividad turística excesiva, también para combatir y detener plagas forestales. Además, se suman factores climáticos que han provocado severas tormentas invernales y sequías, las cuales han causado derribo del arbolado, estrés hídrico, plagas e incendios forestales. En este trabajo se analizó el desplazamiento de las colonias de hibernación de mariposa monarca, en relación con los cambios de la temperatura ambiental y la cobertura forestal en los santuarios de hibernación Cerro Pelón y Sierra Chincua en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Para ello, se obtuvieron registros de temperatura ambiental siguiendo el desplazamiento de ambas colonias durante toda la temporada de hibernación 2019-2020, así como la estimación de la cobertura forestal mediante fotografías hemisféricas de cada ubicación. Se realizaron ANOVAs de una vía, y la prueba LSD (*Least significant difference*) para identificar diferencias entre colonias y a lo largo de la temporada. Los resultados muestran que el desplazamiento de las colonias de hibernación de mariposa monarca en sitios de hibernación no están relacionados a los cambios bruscos de temperatura y que la perturbación del bosque reduce el hábitat disponible para el establecimiento de las colonias. Se concluye que las condiciones entre los dos santuarios de hibernación son diferentes entre sí, tanto en su temperatura como en su cobertura vegetal. En general Cerro Pelón es más cálido en los meses más fríos y más fresco al acercarse la primavera.

## ABSTRACT

Since the late 1990s, the abundance of monarch butterflies in their overwintering sites in Mexico has decreased alarmingly. This reduction is being caused by multiple factors that occur both in their feeding and breeding areas in Canada and the United States, along the migratory route, and in their hibernation sites. In the latter, butterflies are affected by the breakdown of microclimatic conditions caused by the disturbance and reduction of forests due to human activities and climate change. Conservation efforts have been insufficient to compete with other land uses that have given rise to illegal logging, inadequate forest management and excessive tourist activity, as well as to combat and stop forest pests. In addition, climatic factors are added that have caused severe winter storms and droughts, which have caused the felling of trees, water stress, pests and forest fires. In this work, the movement of monarch butterfly hibernation colonies was analyzed in relation to changes in environmental temperature and forest cover in the Cerro Pelón and Sierra Chincua hibernation sanctuaries in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve. To do this, environmental temperature records were obtained following the movement of both colonies throughout the 2019-2020 hibernation season, as well as the estimation of forest cover through hemispheric photographs of each location. One-way ANOVAs and the LSD (Least significant difference) test were performed to identify differences between colonies and throughout the season. The results show that the displacement of monarch butterfly hibernation colonies in hibernation sites is not related to sudden changes in temperature and that the disturbance of the forest reduces the available habitat for the establishment of the colonies. It is concluded that the conditions between the two hibernation sanctuaries are different from each other, both in temperature and in their vegetation cover. In general, Cerro Pelón is warmer in the colder months and cooler as spring approaches.

## 1. INTRODUCCIÓN

La mariposa monarca (*Danaus plexippus* L. 1758, Lepidoptera: Nymphalidae) es una especie reconocida mundialmente por tener una de las migraciones más largas, numerosas y bellas en el mundo de los insectos. Este insecto tiene poca resistencia a las bajas temperaturas, por lo que, a inicios del otoño viaja hacia el sur desde Canadá y Estados Unidos a zonas más cálidas en el centro de México, donde el impacto de las masas del aire invernal provenientes del norte es menor y por ello las condiciones son idóneas para su hibernación (Calvert y Brower, 1986). Es en los bosques templados de Oyamel (*Abies religiosa* Kunth, Schltldl. y Cham 1830, Pinaceae), ubicados en las montañas más altas del Eje Volcánico Transversal, donde las mariposas encuentran las condiciones microclimáticas adecuadas para formar sus colonias de hibernación, las cuales concentran a millones de individuos en las ramas o en los troncos de los árboles (Urquhart,1976).

Sin embargo, en los últimos 30 años ha habido una reducción en la abundancia de la mariposa monarca en sus sitios de hibernación, debido a diversos factores en sus áreas de alimentación y reproducción en Canadá y Estados Unidos, a lo largo de la ruta migratoria y en los sitios de hibernación en México (Brower et al. 2012). Entre estos destaca la reducción de hábitat de algodoncillo (*Asclepias spp.* Asclepiadaceae), único genero del que se alimentan las larvas en Estados Unidos y Canadá (Brower et al. 2012), la reducción y perturbación de los bosques causado por las talas ilegales, manejo forestal inadecuado y deforestación por cambio y uso de suelo (Navarrete et al. 2011) y, la actividad turística excesiva (Brenner, 2006) y condiciones climáticas extremas que reducen reproducción en el este de Estados Unidos y el sur de Canadá ponen en riesgo la hibernación en México (Brower et al. 2012). Por lo anterior, el fenómeno de migración de la mariposa se encuentra en un escenario poco favorable para su supervivencia y debido a esto, es necesaria una cooperación internacional entre Canadá, Estados Unidos y México para la protección de los hábitats donde estas se aparean y obtienen fuentes de alimentación, así como sus sitios de hibernación (Brower y Missrie, 1999).

Por otra parte, estudios han revelado que la mariposa monarca en su etapa adulta no cuenta con la resistencia suficiente para sobrevivir a heladas severas y así mismo, su supervivencia está relacionada con el estado de conservación del bosque (Anderson y Brower, 1996). La mariposa monarca forma agrupaciones entre los troncos y ramas de los árboles para protegerse del frío y las lluvias, reduciendo así la posibilidad de morir por congelamiento con la llegada de fuertes tormentas a los sitios de hibernación (Anderson y Brower, 1996). El aclareo del bosque en el que la Mariposa Monarca reposa durante el invierno la expone a condiciones climáticas difíciles de tolerar y al mismo tiempo incrementa su gasto energético de lípidos con los que cuenta para sobrevivir las heladas del periodo invernal, así como su regreso al norte de América (Calvert et al. 1982; Calvert et al. 1989).

Desde la década de 1990, investigaciones reafirman la vulnerabilidad de las mariposas a las temperaturas extremas, que pueden llegar a matar entre el 40 y 80% de la población que esta hibernando (Brower et al. 2004, Brower et al. 2017). También se ha demostrado la importancia de bosques con árboles maduros que les permita establecerse elevadas del suelo protegidas de los vientos (Brower et al. 2011). En estas alturas medias de árboles maduros forman las agrupaciones más densas donde a partir de una compacto entre ellas se genera un mayor efecto protector (Brower et al. 2008). Además, los troncos gruesos tienen un efecto de “botella de agua caliente” que añade una protección térmica en días fríos (Brower et al. 2009). A pesar de la importancia que tiene la cobertura forestal y la madurez del bosque en la sobrevivencia de las colonias de hibernación, los bosques de las áreas críticas han estado sometidos a muchas perturbaciones naturales y antrópicas, trayendo consigo efectos negativos para este hábitat (Weiss 1991). De lo anterior surgen algunas preguntas: I) ¿las condiciones climáticas del periodo de hibernación actuales son las mismas que la reportadas hace más de 30 años?; II) ¿qué tanto influyen los cambios meteorológicos en el desplazamiento de las colonias a lo largo de la temporada?; III) ¿las condiciones del bosque en las áreas críticas de hibernación garantizan la disponibilidad de hábitat a lo largo de toda la temporada de hibernación? El presente trabajo contribuirá a la generación de conocimiento para la toma de decisiones para el manejo del área protegida.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Mariposa Monarca

La Mariposa Monarca es un insecto cosmopolita que pertenece al orden Lepidóptera y a la familia Nymphalidae, subfamilia Danainae. Tiene dos poblaciones migratorias, una pequeña que emigra desde oeste de las Montañas Rocosas a California y otra considerablemente más grande con un gran recorrido migratorio que va desde el este de Estados Unidos y el sur de Canadá hasta los bosques de alta montaña del centro de México (Fig 1; Brower, 1995; Vidal et al. 2014). Es decir, que sus poblaciones migratorias se encuentran en Norteamérica donde existe una gran diversidad de algodoncillo (*Asclepias* sp.) el cual es usado por la mariposa monarca como principal fuente de alimentación en su etapa larval y durante su periodo de reproducción en campos agrícolas y silvestres (Oberhauser et al. 2001; Pleasants y Oberhauser, 2013).



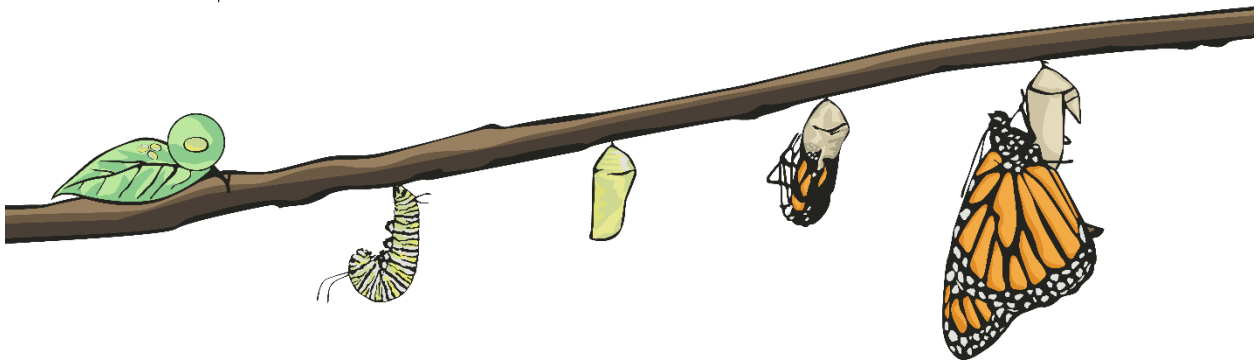
**Figura 1.** Mariposa monarca bebiendo agua de rocío en el llano de los tres gobernadores (Foto: propia)

## 2.2 Amenazas al fenómeno de migración de la mariposa monarca

A lo largo de su vida, la mariposa monarca encuentra una serie de dificultades para sobrevivir antes de emprender su migración a los bosques en el centro de México y durante su estancia en estos. En sus etapas de huevo, larva y pupa la mariposa monarca se ve mayormente vulnerada por la reducción en la abundancia de plantas hospederas de algodoncillo (Brower et al 2012).

La mariposa monarca pasa por todo su ciclo de 3 a 5 meses en campos silvestres de algodoncillo (*Asclepias sp.*) en Estados Unidos durante el verano. En el otoño migra hacia el sureste donde buscará refugio antes las bajas temperaturas hivernales de América del norte (Anderson y Brower, 1996).

### Ciclo de Vida de la Mariposa Monarca



**Figura 2.** Ciclo de vida de la mariposa monarca (Osmar Obed Ramírez Vázquez y R. Guillén Aguilar)

Las principales amenazas a las que la mariposa monarca se enfrenta en todas las etapas de su ciclo de vida son:

#### **A) Pérdida del hábitat de reproducción**

Actualmente uno de los principales factores que afectan la abundancia de la mariposa monarca es la degradación de su hábitat de reproducción en Estados Unidos de América, debido al desarrollo agrícola que se extiende a los campos silvestres de algodoncillo (*Asclepias sp.*) (Brower et al. 2012) y esto se debe a los cambios en las prácticas agrícolas como el control de las malezas con herbicidas

los cuales afectan la cobertura y calidad del algodoncillo (*Asclepias* sp.) y también al uso de insecticidas foliares utilizados como control de plagas (Oberhauser et al. 2001).

#### **B) Pérdida del hábitat de hibernación**

Al mismo tiempo, en México otro factor causante de la disminución en la abundancia de la mariposa monarca se hace evidente con el daño y la disminución del hábitat forestal de hibernación que ha sido generado por las tallas ilegales, la extracción de madera y recolección de leña las cuales han dado lugar a la perturbación del bosque (Ramírez, 2003), lo cual sumado a cambios de temperatura extremos han dado como resultado altos índices de mortalidad (Anderson y Brower, 1996; Brower et al. 2002; Brower et al. 2012; Brower et al. 2017).

#### **C) Condiciones climáticas extremas**

La abundancia en las poblaciones de la mariposa monarca está fuertemente relacionada con factores climáticos. Las condiciones climáticas en las estaciones de primavera y verano en sus áreas de reproducción afectan a su fecundidad y desarrollo larvario. Las fuertes sequías en otoño reducen la disponibilidad de néctar al sur de Estados Unidos, debido a la falta de precipitaciones en esta y otras regiones de la ruta de migración lo cual abona a la disminución de la población hibernante (Anderson y Brower 1996; Brower et al 2012; Thogmartin et al. 2017; Saunders et al. 2019; Zylstra et al. 2021).

Al final de su recorrido migratorio, en su periodo de hibernación en México la exposición a cielos nocturnos despejados en áreas degradadas del bosque, sumado a la humedad superficial presente en los cuerpos de los insectos, ya sea por tormentas invernales o por rocío reducen su resistencia a morir congeladas (Cuadro 1; Anderson y Brower, 1996).



**Cuadro 1.** Temperaturas extremas registradas dentro de los agregados de colonias de hibernación de mariposa monarca reportadas desde 1980.

Fecha	Colonia	Temperaturas	Umbrales Críticos	Autores
enero – febrero, 1986	Sierra Chincua	-5.2 a 4.5°C	4.2°C húmeda 100% muere -7.7°C seca 100% muere	Anderson y Brower, (1996)
18-28 enero, 1983	Sierra Chincua	4.4 a 20.6°C	12-16°C Umbral de vuelo >20°C Ruptura de la diapausa	Masters et al. (1988)
07 – 11 marzo 2016	Sierra Chincua	-4 a -6 °C	-4.4 seca 100% muere	Brower et al. (2017)
Noviembre 2018 – febrero 2019	La Joya Tlachanon	1.5 a 17°C 0.8 a 15.7°C	-	Pérez-Miranda et al. (2020)

Algunos reportes de los últimos 30 años muestran diferentes condiciones de temperatura dependiendo de la fecha, los sitios de establecimiento de las colonias de mariposa monarca o las condiciones climáticas particulares de ese año. Por ejemplo, considerando la misma colonia de Sierra Chincua, en el estudio de Masters et al. (1988) se registró una temperatura ambiental mucho más cálida durante enero que en el estudio de Brower et al. (2017), la temperatura descendió hasta los -6°C ya en marzo debido a la llegada de una tormenta invernal (Cuadro 1). En una publicación reciente, Pérez-Miranda et al. (2020), caracterizaron dos colonias de mariposa monarca en el Estado de México relativamente cercanas una a la otra, donde en el registro de la temperatura ambiental entre ambas colonias difiere en 0.7°C en sus mínimas y de 1.3°C en sus máximas.

### *2.3 Importancia del bosque conservado*

En años recientes, diversas investigaciones han confirmado que las temperaturas extremas se relacionan con la mortandad de la mariposa monarca en sus sitios de hibernación (Brower et al. 2017). Al mismo tiempo se ha demostrado que la

mariposa monarca aprovecha las características microclimáticas en los bosques de abeto para sobrevivir a cambios severos de temperatura donde su temperatura corporal mínima no sobre pase los  $-7.7^{\circ}\text{C}$ , lo que las mata por congelamiento (Anderson y Brower, 1996).

La presencia de árboles maduros favorece al aislamiento térmico, el cual no se ve reflejado en sitios con mayor degradación y arboles de menor tamaño donde las temperaturas mínimas promedio suelen ser  $0.5^{\circ}\text{C}$  menores, al mismo tiempo los bosques con mayor presencia de árboles maduros brindan protección ante las precipitaciones (Williams y Brower, 2015). Se ha estimado que las mariposas mojadas a temperaturas de  $4.2^{\circ}\text{C}$  tienen una mortalidad por congelamiento del 50%, mientras que secas permanecen vivas aún a  $-7.7^{\circ}\text{C}$  (Anderson y Brower, 1996). Los bosques densos también las protegen de vientos severos que logran desintegrar perchas de las ramas y troncos de los árboles tirando las mariposas al suelo, donde pueden morir congeladas o depredadas por roedores (Williams y Brower, 2015).

Algunos estudios han demostrado que las condiciones microclimáticas en las colonias de hibernación de la Mariposa Monarca están condicionadas por la cobertura forestal. Es decir, el bosque denso actúa como una barrera que impide la liberación de la radiación que es acumulada entre la distancia del suelo y el follaje de los árboles (Williams y Brower, 2015). Esto es de suma importancia, ya que los sitios de hibernación de la mariposa monarca deben ser lo suficientemente fríos, cercanos a los  $9^{\circ}\text{C}$  para conservar sus reservas de lípidos y mantener un retraso reproductivo (Barker y Herman, 1976; Masters et al. 1988), pero al mismo tiempo, lo suficiente cálidos para alcanzar su umbral de vuelo ( $12.7^{\circ}\text{C}$  /  $16^{\circ}\text{C}$ ) cuando estas lo necesiten (Calvert y Brower, 1986; Masters et al. 1988).

### **3. HIPÓTESIS**

H<sub>1</sub>: Los cambios abruptos en la temperatura ambiental propician el desplazamiento de la mariposa monarca a lo largo de la temporada de hibernación.

H<sub>2</sub>: La perturbación de los bosques en las áreas críticas limita la superficie disponible para el movimiento de las colonias de hibernación a lo largo de toda la temporada en dos santuarios de hibernación en México.

### **4. OBJETIVOS**

#### *4.1 General*

Analizar el desplazamiento de las colonias de hibernación de mariposa monarca en relación con los cambios de la temperatura ambiental y la cobertura forestal en los santuarios de hibernación de Cerro Pelón y Sierra Chincua en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

#### *4.2 Específicos*

- Evaluar el efecto de la cobertura forestal sobre el microclima a lo largo de los trayectos de desplazamiento de mariposa monarca en dos santuarios de hibernación.
- Analizar el efecto que tiene la temperatura ambiental en el desplazamiento de mariposa monarca en los santuarios de hibernación de Cerro Pelón y Sierra Chincua en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Área de estudio

Este trabajo se concentra en dos santuarios de hibernación dentro de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM): Sierra Chincua como el santuario más al norte del bloque principal de la reserva y Cerro Pelón como el santuario más al sur de esta (Fig. 3 y 4).

La Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca se localiza en los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra y Villa de Allende en el Estado de México y en los municipios de Angangueo, Aporo, Contepec, Ocampo, Senguio y Zitácuaro en el estado de Michoacán, en conjunto tiene una extensión total de 56 259 ha (Fig. 5), divididas en tres zonas núcleo (13 551 ha) y dos zonas de amortiguamiento (42 708 ha; SEMARNAT, 2001).

#### *A) Colonia de hibernación Cerro Pelón (invierno 2019/2020)*

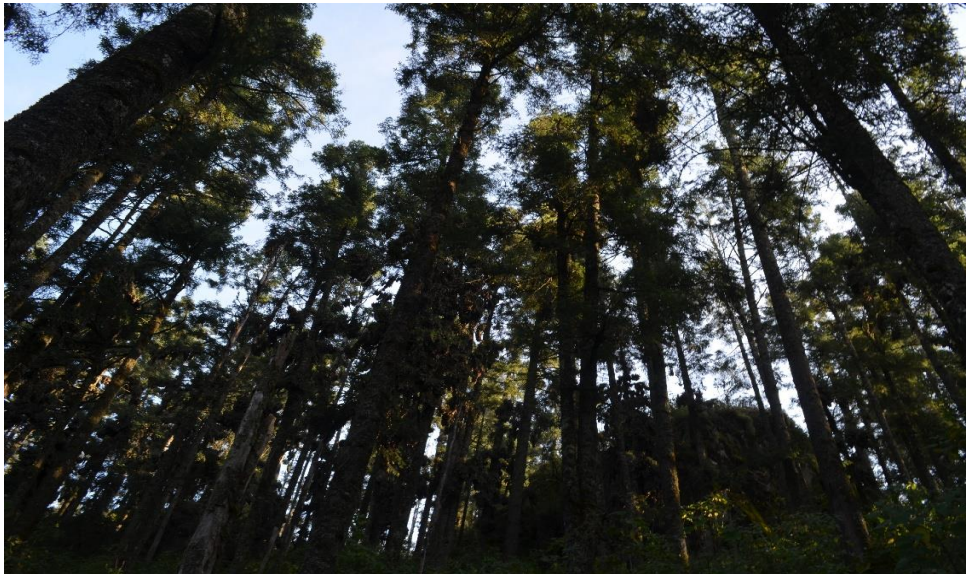
La colonia de mariposas monarca del santuario Cerro Pelón se ubicó entre el ejido de El Capulín y la comunidad indígena de San Juan Xoconusco en el municipio Donato Guerra, Estado de México (Fig. 3, cuadro 2).



**Figura 3.** Colonia de hibernación en Cerro Pelón

## *B) Colonia de hibernación en Sierra Chincua (invierno 2019/2020)*

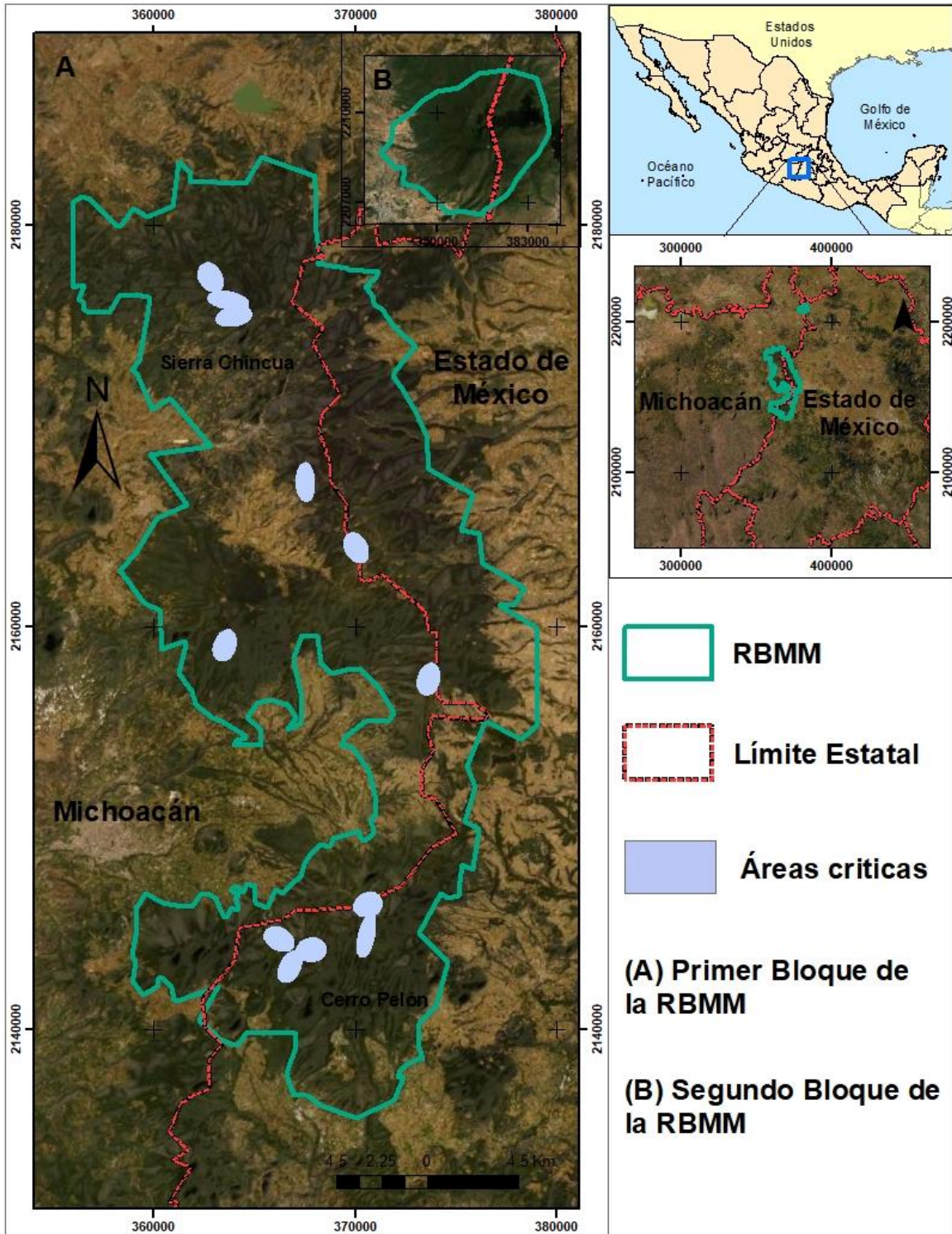
La colonia de mariposa monarca en Sierra Chincua se estableció entre el ejido de Cerro Prieto y la Propiedad Estatal, geográficamente correspondientes al municipio de Angangueo, Michoacán (Fig. 4, cuadro 2).



**Figura 4.** Colonia de hibernación en Sierra Chincua

### *5.2 Medición de temperatura ambiental*

Para registrar la temperatura ambiental, se utilizaron termómetros iButtons digitales (Modelo DS1921G-F50 Thermochron® iButtons, Maxim Integrated Products, Dallas Semiconductor, Embedded Data Systems LLC, Lawrenceburg, KY, USA). Estos miden temperaturas en incrementos de 0.5 °C con un rango de -40 °C a 85 °C y una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  (Brower et al. 2009). Los termómetros se programaron para tomar temperaturas cada 30 minutos en los santuarios de hibernación Sierra Chincua y Cerro Pelón a inicios del mes de diciembre cuando las colonias se consolidaron y hasta su partida. Se registraron temperaturas desde el 13 de diciembre del 2019 hasta el 15 de marzo del 2020 cuando la colonia emigró.



**Figura 5.** Mapa de áreas críticas en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca basado en M.I. Ramírez y J.G. López-Sánchez (no publicado).

Los termómetros fueron colocados en árboles ubicados al borde de las colonias, orientados al norte para evitar un sobrecalentamiento por los rayos del sol provenientes del este y a una altura de 2.5 m. Se colocaron dos termómetros (fijo y móvil) juntos en donde la colonia se consolidó en Sierra Chincua el día 13 de diciembre del 2019. El primer termómetro (fijo) de ellos permaneció en el mismo lugar (SC\_I) a lo largo de toda la temporada (2019-2020) en las coordenadas 19° 40' 19.29" N y 100° 17' 41.61" W. El segundo termómetro (móvil) también se colocó al borde de la colonia, pero este iba siguiendo el movimiento de la colonia (Cuadro 2).

También, se colocaron otros dos termómetros juntos en la colonia que se consolidó en Cerro Pelón el día 11 de diciembre del 2019, el primer termómetro (fijo) permaneció en el mismo lugar (CP\_ I) a lo largo de toda la temporada (2019-2020) en las coordenadas 19° 23' 17.68" N y 100° 15' 36.35" W y el segundo termómetro (móvil) se movió conforme la colonia se movía (Cuadro 2). Finalmente se colocó otro termómetro como control en la estación meteorológica ubicada en el Llano de las Papas en las coordenadas 19° 39' 41.7636" N y 100° 16' 05.7951" W en Sierra Chincua el día 13 de diciembre del 2019, para comparar las condiciones de temperatura extrema a las que se encuentra este sitio al ser un espacio descubierto de vegetación.

### *5.3 Cobertura del dosel*

Para obtener la cobertura forestal en cada una de las ubicaciones de establecimiento de mariposa monarca, a lo largo de la temporada 2019 – 2020 en los dos sitios de estudio se tomaron fotografías hemisféricas (ángulo de visión 180°). Las tomas se realizaron a una altura de 1 m desde el suelo, mirando hacia el dosel con un lente “ojo de pescado” (Fish Eye Redlemon) montado en un teléfono inteligente (iPhone 5s).

Las imágenes resultantes fueron cuadradas con un tamaño de 2448x2448 pixeles en formato jpg a 24 bits. Estas se procesaron en el programa Gap Light Analyzer 2.0 de acceso libre (Cary Institute of Ecosystem Studies®, [www.caryinstitute.org](http://www.caryinstitute.org)). A partir de planos de colores y umbrales correspondientes a

tonos de gris, el programa calcula el porcentaje de la cobertura forestal. Se calculó el promedio de los cuatro valores por sitio para cada una de las ubicaciones de las colonias en ambos santuarios (Fig. 8, 9, 10, 11 y 12).

En las dos ubicaciones de establecimiento de la colonia en el santuario Cerro Pelón (CP\_I y CP\_II) y en las tres del santuario Sierra Chincua (SC\_I, CP\_II y CP\_III) se tomaron un total de cuatro fotografías hemisféricas por sitio con el fin de registrar la cobertura forestal. En ambas colonias, los puntos de captura se eligieron al azar, pero, distando 30 m de distancia entre cada uno tomando como punto de referencia inicial la ubicación de los termómetros ubicados al borde de la colonia en sus diferentes ubicaciones.

#### *5.4 Análisis estadístico*

Se usaron ANOVAS de una vía para buscar diferencias en la temperatura ambiental máximas y mínimas a lo largo de la temporada de hibernación y en la cobertura forestal entre las colonias analizadas de las mariposas a lo largo de la temporada. Se utilizó la prueba LSD de Fisher para buscar diferencias entre medias, con un 95% de confianza (Cuadro 3 y 4). La varianza se verificó con la prueba de Levene, utilizando el programa Statgraphics® 15.2 y el programa SigmaPlot® 14.0 para realizar las gráficas, y finalmente se obtuvo el promedio de temperaturas máximas y mínimas por semanas para compararse (Fig. 15 y 16).



## 6. RESULTADOS

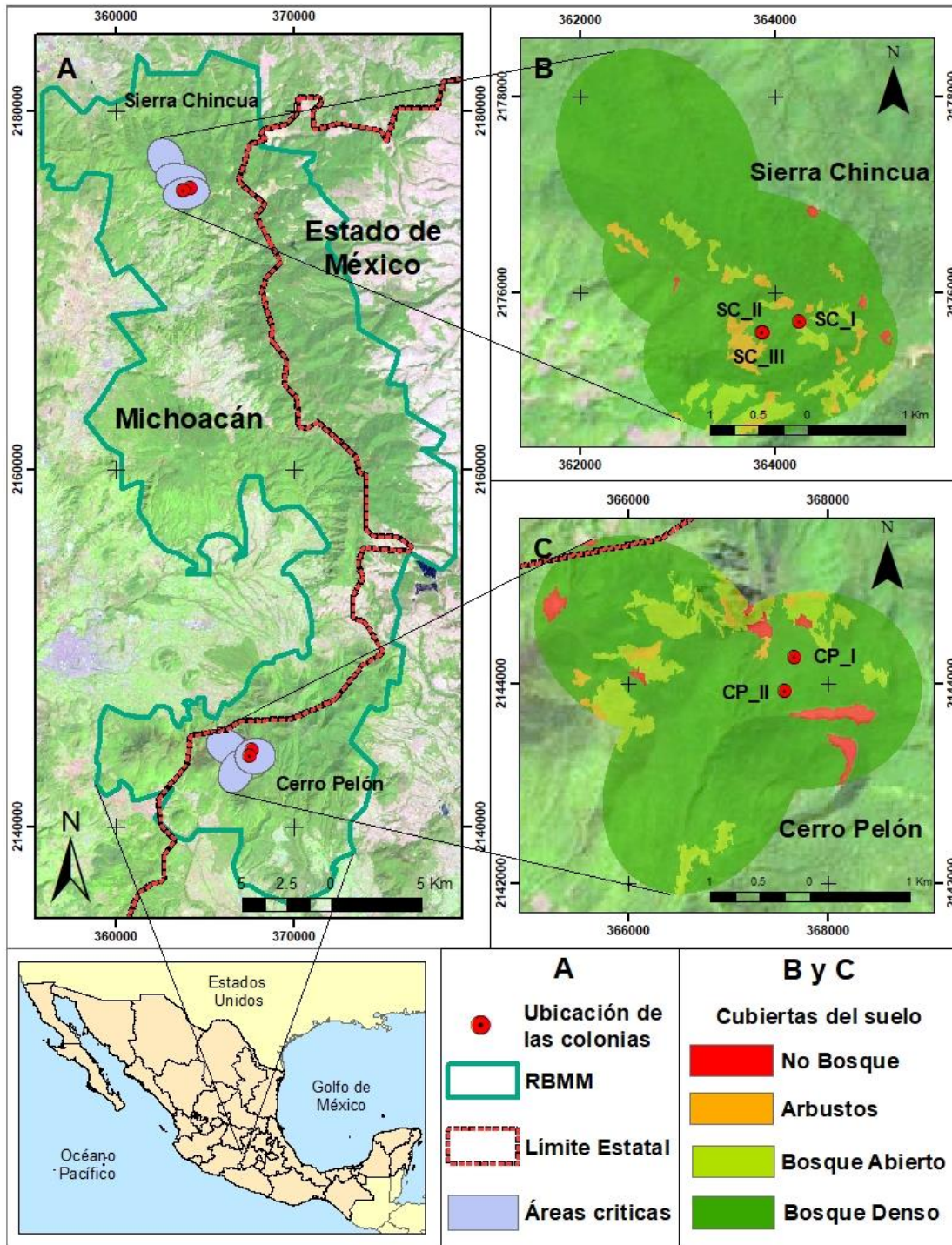
### 6.1 Ubicación y desplazamiento de las colonias, temporada 2019-2020

A lo largo de la temporada 2019-2020 se inició la observación de las dos colonias hasta la segunda semana de diciembre. En el santuario Cerro Pelón la colonia tuvo dos ubicaciones en el paraje “Los Tres Gobernadores”, la primera se registró el día 11 de diciembre de 2019 y la segunda ubicación que tuvo, se registró el día 23 de enero del 2020 ladera abajo, y permaneció en esa zona hasta el 11 de marzo del 2020.

En el santuario de Sierra Chincua la mariposa estuvo en tres ubicaciones diferentes, la primera se registró el día 13 de diciembre de 2019, la segunda el 13 de febrero de 2020 y su última ubicación el día 19 de febrero de 2020, ambas fueron ladera abajo, todas ellas cercanas al paraje “El Pocito” donde permaneció hasta el 12 de marzo del 2020.

**Cuadro 2.** Características de ubicaciones de establecimiento de las colonias de mariposa monarca en Cerro Pelón y Sierra Chincua, temporada 2019-2020.

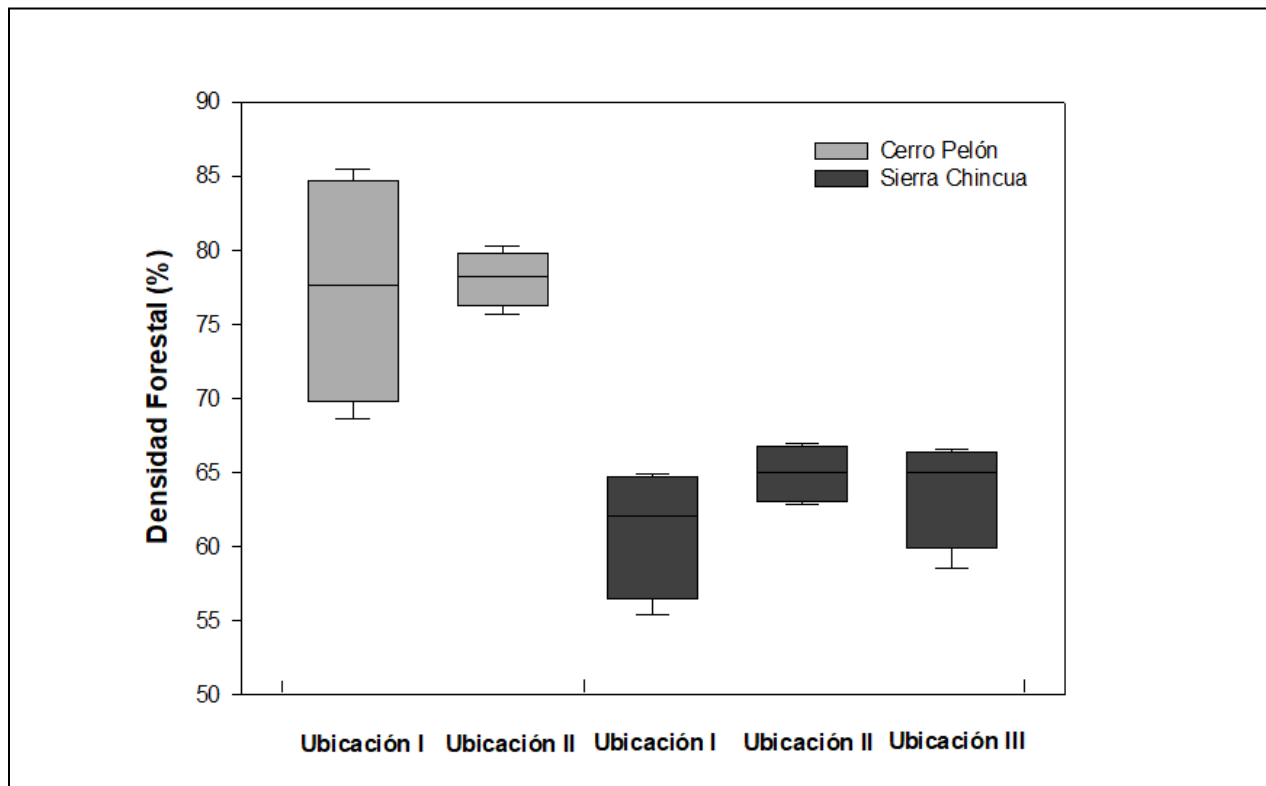
Colonia	Ubicación	Coordenadas UTM z14		Área Ocupada (ha)	Pendiente (°)	Elevación
Cerro Pelón	CP_I	x367677	y2144270	0.69	36	3238
Cerro Pelón	CP_II	x367582	y2143933	0.49	26	3056
Chincua	SC_I	x364260	y2175705	0.45	30	3316
Chincua	SC_II	x363887	y2175589	0.36	18	3215
Chincua	SC_III	x363872	y2175589	5 árboles	18	3147



**Figura 6.** Desplazamiento de las colonias de mariposa monarca en los santuarios de Sierra Chincua y Cerro Pelón, Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, temporada 2019-2020. A) Ubicación de los sitios de estudio en la RBMM; B) Cubiertas del suelo en el área crítica de Santuario Sierra Chincua; C) Cubiertas del suelo en el área crítica del Santuario Cerro Pelón. (B y C: clasificación de imagen "Sentinel 2018" cedida por JG López-Sánchez) (Elaboración propia).

## 6.2 Cobertura forestal

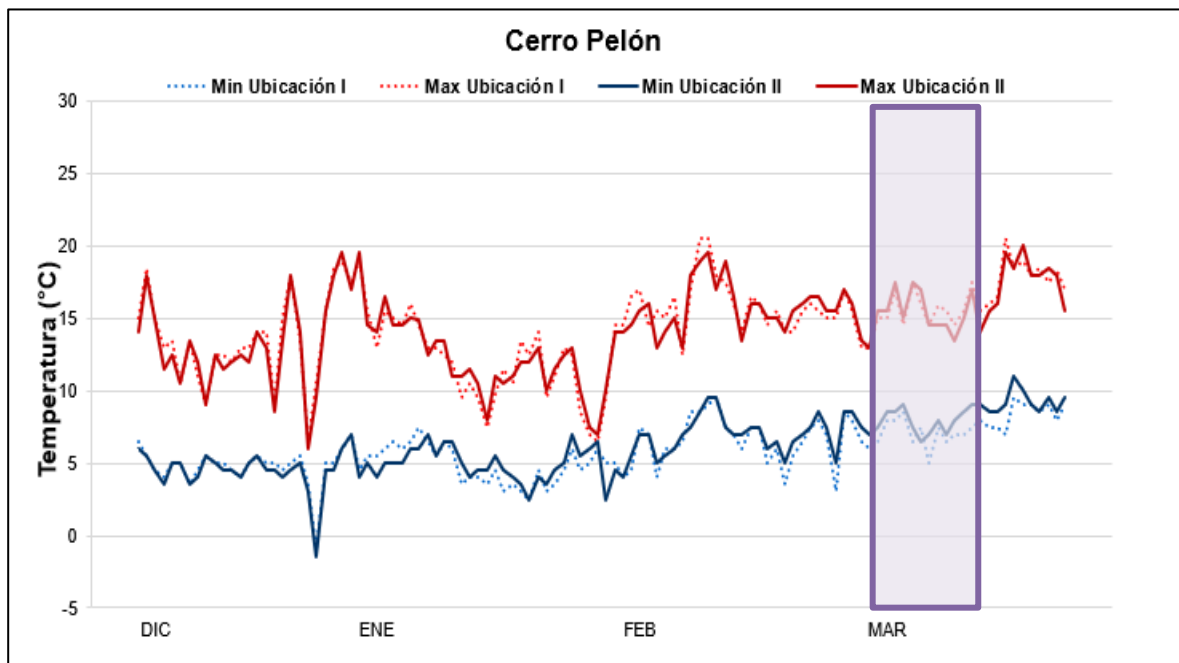
En la comparación de la cobertura forestal entre los dos sitios de estudio, los santuarios de Cerro Pelón y de Sierra Chincua, se observaron diferencias significativas. En Cerro Pelón la cobertura forestal promedio y desviación estándar fue de 78.6% ( $\pm 5.85$ ) % en la primera ubicación de establecimiento de la colonia (CP\_I), y de 77.6% ( $\pm 2.23$ ) en la segunda ubicación (CP\_II). En Sierra Chincua los resultados obtenidos fueron muy distintos a los observados en Cerro Pelón, para este santuario se registró una cobertura forestal promedio y desviación estándar de 69.3% ( $\pm 2.4$ ) % en la primera ubicación (SC\_I), y de 60.8% ( $\pm 4.45$ ) en la segunda ubicación (SC\_II), y finalmente de 63.4% ( $\pm 2.26$ ) % en la tercera (SC\_III). El santuario con una mayor cobertura forestal fue Cerro Pelón (Fig. 7, 8, 9, 10, 11 y 12).



**Figura 7.** Promedio de cobertura forestal en los sitios ocupados por colonias de mariposas monarca en Sierra Chincua y Cerro Pelón, temporada 2019-2020.

### 6.3 Temperatura ambiental

Se observó que el periodo comprendido entre diciembre del 2019 a marzo del 2020 las temperaturas dentro de la colonia de Cerro Pelón oscilaron entre -1.5 y 20.5°C. La mínima extrema se registró el 03 de enero del 2020 a las 05:30 h, y la máxima el 17 de febrero de 2020 a las 15:00 h. De diciembre a enero la mayoría de los días las temperaturas mínimas rondaron los 4.7°C, para aumentar sobre los 7.1°C en febrero y marzo. La temperatura mínima promedio para los meses más fríos (enero y febrero) fue de 5.4°C y de 15.5°C para las primeras dos semanas de marzo cuando las temperaturas aumentan. Las temperaturas máximas oscilaron desde los 6°C a partir del 6 de enero de 2020 cuando llegaban los frentes fríos a la zona, hasta los 20.5°C los días más calurosos de la temporada de hibernación (Fig. 13).

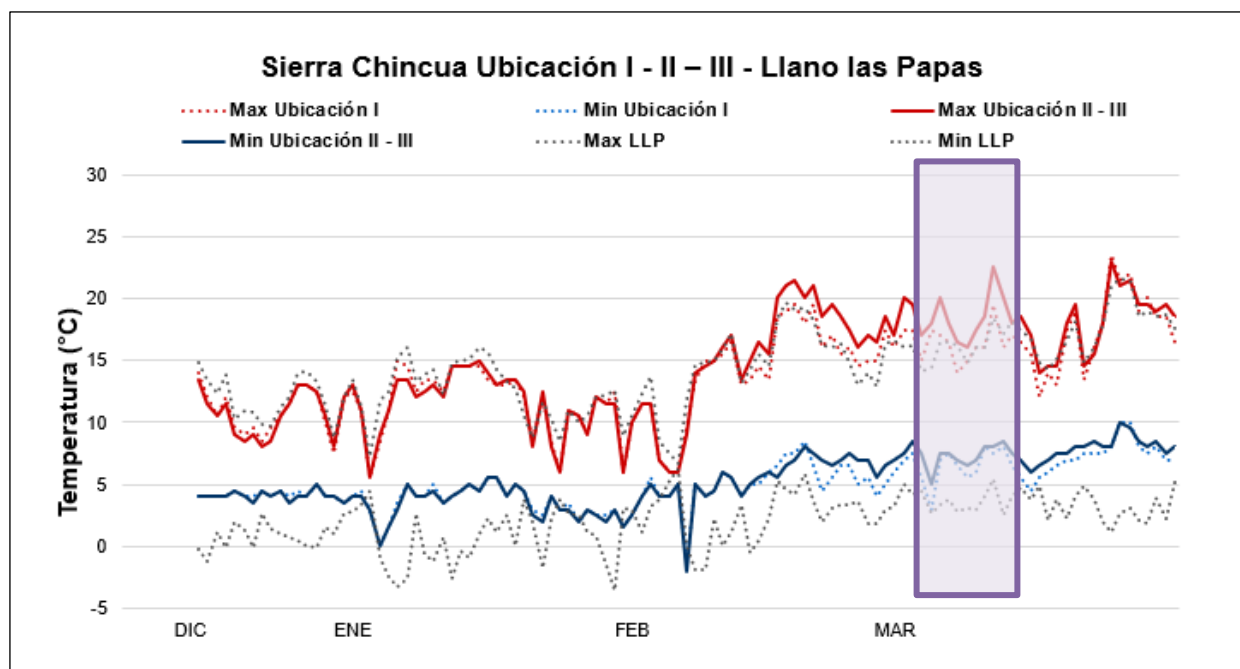


**Figura 8.** Temperaturas máximas y mínimas en Cerro Pelón registradas en los termómetros fijo (CP\_I) y móvil (CP\_II) para el periodo diciembre 2019 a marzo-2020; el recuadro amarillo señala el periodo de emigración y el recuadro verde marca el momento del desplazamiento de la colonia al interior del santuario.

Respecto a la diferencia entre las dos ubicaciones que tuvo esta colonia se observó que en la ubicación inicial (CP\_I) la temperatura máxima promedio fue de 13.5°C y de 14.1°C en su ubicación final (CP\_II), mientras en las mínimas la temperatura promedio en su ubicación inicial fue de 5.06°C y de 6.3°C en su

ubicación final, mostrando una diferencia de 0.6°C entre las mínimas y de 1.2°C entre las máximas. Es decir, el gradiente altitudinal se reflejó solo en las temperaturas máximas (Fig. 13).

En la colonia de Sierra Chincua se observó que en el periodo comprendido entre diciembre del 2019 a marzo del 2020 las temperaturas oscilaron entre -2 y 21.5°C. La mínima extrema se registró el 6 de febrero del 2020 a las 08:30 h y la máxima extrema el 18 de febrero de 2020 a las 13:30 h. De diciembre a enero la mayoría de los días las temperaturas mínimas rondaron los 3.7°C, para aumentar sobre los 6.3°C en febrero y marzo. La temperatura mínima promedio en los meses de enero y febrero fue de 4.3°C y de 17.2°C en las primeras dos semanas del mes de marzo, cuando las temperaturas aumentan. La variación en las temperaturas máximas fue mayor, desde 5.5° el 2 de enero de 2020 que también coincide con llegaban los frentes fríos a la zona, hasta 23.5° los días más calurosos (Fig. 14).



**Figura 9.** Temperaturas máximas y mínimas en Sierra Chincua registradas en los termómetros fijo (SC\_ I) y móvil (SC\_ II y III) y móvil (SC\_ III) para el periodo diciembre 2019 a marzo-2020 el recuadro amarillo señala el periodo de emigración y el recuadro morado marca el momento del desplazamiento de la colonia al interior del santuario.

En la ubicación inicial (SC\_I) la temperatura máxima promedio fue de 11.4°C y de 18.2°C en sus posteriores ubicaciones (SC\_II y III), mientras en las mínimas la

temperatura promedio en su ubicación inicial fue de 3.8°C y de 7°C en su ubicación final, mostrando una diferencia de 3.2°C entre las mínimas y de 6.8°C entre las máximas. En este caso el gradiente altitudinal se reflejó tanto en las temperaturas mínimas como en las máximas (Fig. 14).

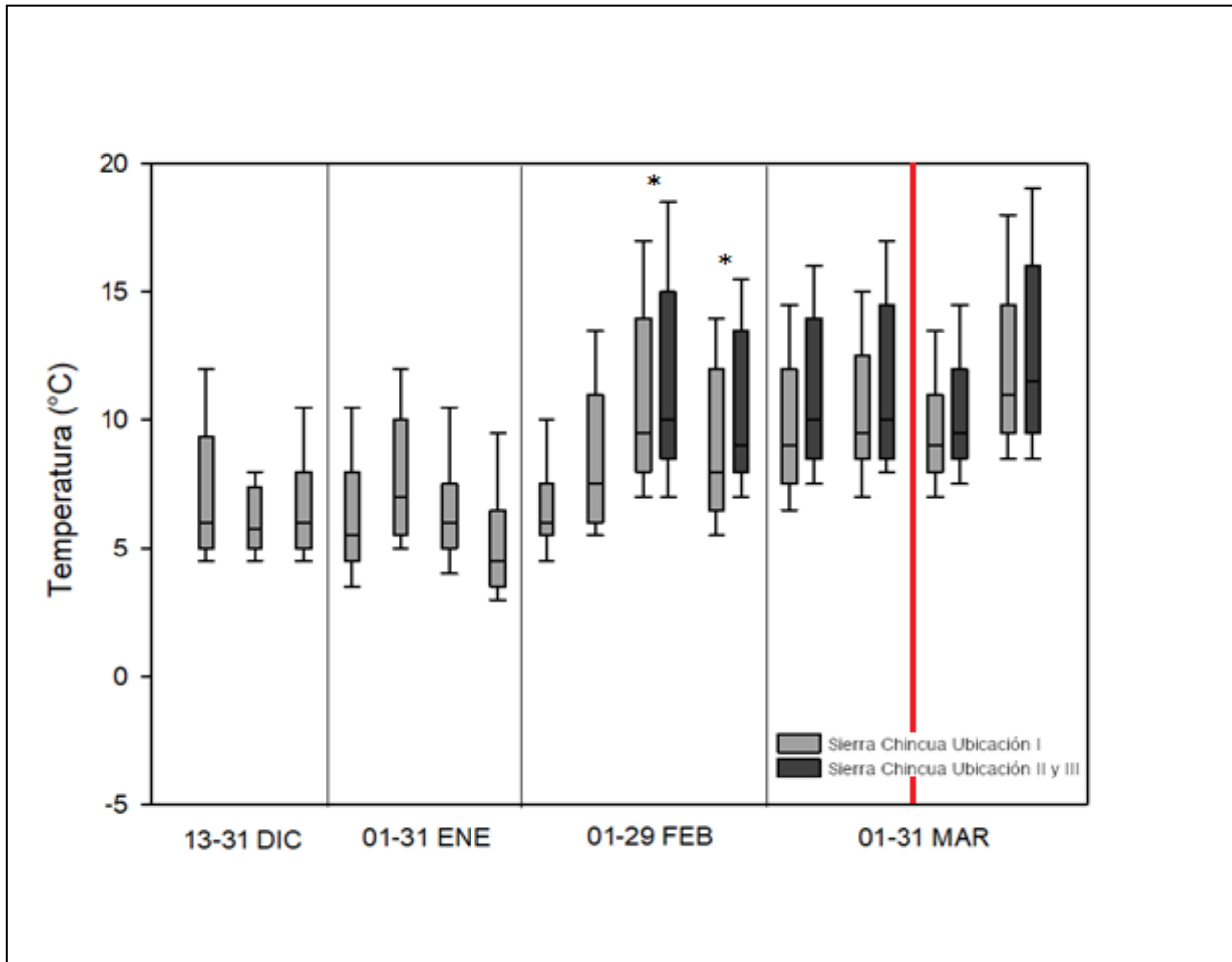
Adicionalmente, se analizaron datos de la estación meteorológica ubicada en el claro de El Llano de las Papas (19°16'5"N, 100°16'5"W; elevación 3020 m; 0°). Este llano se encuentra rodeado por bosque de oyamel y está en el mismo rango altitudinal a 2.4 km de distancia de la colonia de Sierra Chincua (Brower et al. 2009). Las temperaturas en esta zona desprovista de vegetación arbórea oscilaron entre los -4.5 y 20.5°C. En la temporada la temperatura mínima promedio fue de 3.4 °C y la máxima de 18.9°C. La temperatura mínima extrema se registró el 29 de enero del 2020, y la máxima extrema el 11 de febrero de 2020 (cuando aún había mariposa monarca para ese momento).

Así mismo, haciendo la comparación entre las temperaturas mínimas registradas por la estación meteorológica y las registradas por los termómetros colocados al borde de la colonia, observamos que la temperatura promedio para la temporada de hibernación 19/20 en el Llano de las Papas fue 3.1°C menor que en el primer sitio de establecimiento que tuvo la colonia (SC\_I) y 3.9°C menor que sus ubicaciones posteriores (SC\_II y SC\_III). En el caso de las temperaturas máximas, el Llano de las Papas en comparación con la primera ubicación que tuvo la colonia (SC\_I) la temperatura máxima promedio en este fue 2°C mayor y 0.8°C mayor que en sus siguientes dos ubicaciones (SC\_II y SC\_III).

Al revisar los otros parámetros que midió la estación meteorológica, se pudo observar que el 05 de febrero 2020 se registró la velocidad máxima del viento para esta temporada, la cual alcanzó una velocidad de 21.8 ms. El día posterior, el 6 de febrero del 2020, se registró al interior de la colonia la mínima extrema de temperatura de la temporada.

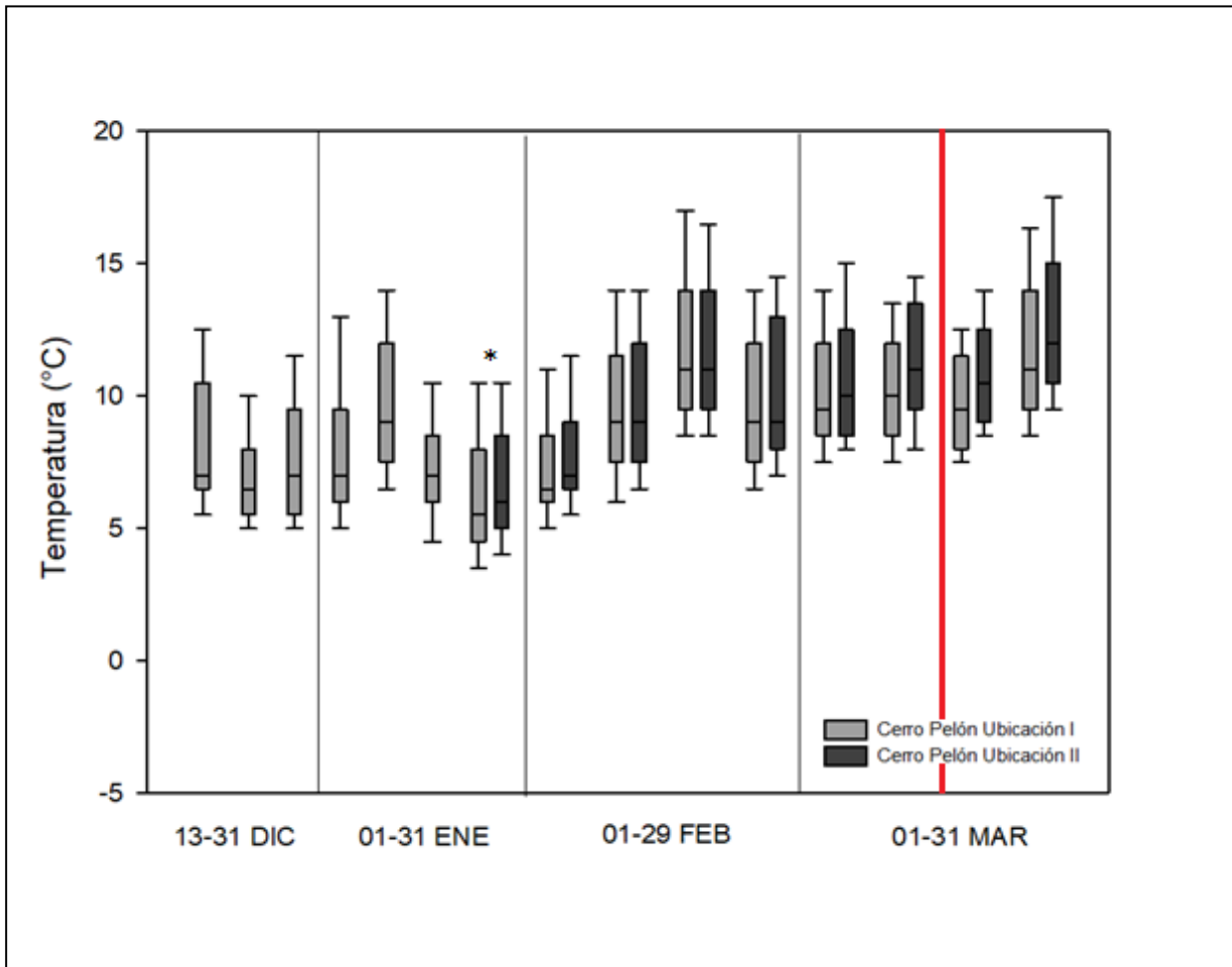
En el comportamiento semanal de la temperatura ambiental se observó que la temperatura ambiental promedio fue de 9.02°C para el periodo de hibernación 2019–2020. También se observó que el aumento de la temperatura ambiental aumentaba conforme la primavera se acercaba. Para el caso de la colonia en Sierra

Chincua, esta tuvo su primer desplazamiento hacia su segunda ubicación (SC\_II) la tercera semana de febrero del 2020 y su segundo desplazamiento (SC\_III) la cuarta semana del mismo mes, para después permanecer en el mismo sitio hasta el final de su estancia (Fig. 15).



**Figura 10.** Promedio y variabilidad de las temperaturas semanales en las diferentes ubicaciones de toda la temporada 2019-2020 en la colonia de Sierra Chincua. La línea roja delimita el final de la presencia de mariposa monarca y los asteriscos marcan los desplazamientos de la colonia al interior del santuario.

En Cerro Pelón la temperatura ambiental promedio fue de 8.9°C para el periodo de hibernación 2019–2020. Al igual que en el santuario de Sierra Chincua, la temperatura ambiental aumentaba al acercarse la primavera. En esta colonia el primer y único desplazamiento fue cuando la temperatura comenzó a disminuir la cuarta semana de enero 2020 y se observó que el comportamiento de las temperaturas diarias no fue más bajo que en Sierra Chincua (Fig. 16).



**Figura 11.** Promedio y variabilidad de las temperaturas semanales en las diferentes ubicaciones de toda la temporada 2019-2020 en la colonia de Cerro Pelón. La línea roja delimita el final de la presencia de mariposa monarca y el asterisco marca el desplazamiento de la colonia al interior del santuario.

Se encontró que las temperaturas mínimas presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ambos santuarios en todas las quincenas analizadas, a excepción de la sexta. Encontramos que las temperaturas mínimas presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre ambos santuarios en todas las quincenas



analizadas, a excepción de la sexta. En esta se observaron diferencias significativas en las temperaturas máximas y mínimas, esto coincide con el final de la temporada donde ambas colonias se desintegraron en su totalidad para su emigración hacia el norte. Se observó que las temperaturas máximas y mínimas en el santuario Sierra Chincua fueron menores para las quincenas de los meses más fríos y más cálidas al acercarse la primavera, con respecto al santuario Cerro Pelón (cuadro 3 y 4).

**Cuadro 3.** Resumen de ANOVA del modelo lineal de respuesta de temperaturas máximas (Max) y mínimas (Min) para los santuarios Sierra Chincua y Cerro Pelón. Los efectos significativos se muestran en negritas.

Quincena	Temperatura	Santuarios		Desplazamiento	
		<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
1 (13/Dic- 31/Dic)	Max	16	***	-	-
	Min	23.4	***	-	-
2 (01/Ene- 15/Ene)	Max	10.2	***	-	-
	Min	6.47	*	-	-
3 (16/Ene- 31/Ene)	Max	3.11	0.08	-	-
	Min	17.9	***	-	-
4 (01/Feb- 15/Feb)	Max	0.64	0.42	-	-
	Min	7.79	***	-	-
5 (16/Feb- 29/Feb)	Max	7.57	***	3.25	0.07
	Min	4.92	*	2.85	0.09
6 (01/Mar- 15/Mar)	Max	27.4	***	11.1	**
	Min	0.35	0.55	6.95	*
7 (16/Mar- 31/Mar)	Max	3.48	0.06	0.23	0.63
	Min	6.52	*	8.62	**

\*= $p < 0.05$ , \*\*= $p < 0.01$ , \*\*\*= $p < 0.001$

**Cuadro 4.** Promedio, error estándar y la prueba LSD para los Santuarios Cerro Pelón (CP) y Sierra Chincua (SC) y su ubicación (fijo y móvil).

		13 Dic 31 Dic	01 Ene 15 Ene	16 Ene 31 Ene	01 Feb 15 Feb	16 Feb 29 Feb	01 Mar 15 Mar	16 Mar 31Mar
Temperaturas mínimas								
Santuarios	CP	4.71 ± 0.11 <sup>a</sup>	4.91 ± 0.36 <sup>a</sup>	4.45 ± 0.22 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.21 <sup>a</sup>	7.14 ± 0.2 <sup>a</sup>	7.05 ± 0.34 <sup>a</sup>	8.40 ± 0.17 <sup>a</sup>
	SC	4.10 ± 0.06 <sup>b</sup>	3.78 ± 0.25 <sup>b</sup>	3.18 ± 0.19 <sup>b</sup>	4.38 ± 0.33 <sup>b</sup>	6.44 ± 0.2 <sup>b</sup>	6.81 ± 0.22 <sup>a</sup>	7.78 ± 0.18 <sup>b</sup>
Ubicación	Fijo	-	-	-	-	6.51 ± 0.28 <sup>a</sup>	6.41 ± 0.34 <sup>b</sup>	7.73 ± 0.26 <sup>b</sup>
	Móvil	-	-	-	-	7.07 ± 0.19 <sup>a</sup>	7.45 ± 0.17 <sup>a</sup>	8.45 ± 0.16 <sup>a</sup>
Temperaturas máximas								
Santuario	CP	13.0 ± 0.39 <sup>a</sup>	15.0 ± 0.61 <sup>a</sup>	11.4 ± 0.29 <sup>a</sup>	12.9 ± 0.60 <sup>a</sup>	16.4 ± 0.37 <sup>b</sup>	15.5 ± 0.24 <sup>b</sup>	16.5 ± 0.50 <sup>a</sup>
	SC	11.0 ± 0.30 <sup>b</sup>	12.8 ± 0.46 <sup>b</sup>	10.5 ± 0.42 <sup>a</sup>	12.3 ± 0.65 <sup>a</sup>	17.8 ± 0.37 <sup>a</sup>	17.4 ± 0.33 <sup>a</sup>	17.9 ± 0.53 <sup>a</sup>
Ubicación	Fijo	-	-	-	-	16.6 ± 0.36 <sup>a</sup>	15.8 ± 0.26 <sup>b</sup>	17.0 ± 0.60 <sup>a</sup>
	Móvil	-	-	-	-	17.5 ± 0.40 <sup>a</sup>	17.1 ± 0.37 <sup>a</sup>	17.3 ± 0.44 <sup>a</sup>

Letras iguales en el factor indican que no hay diferencias significativas.

#### *6.4 Cobertura forestal, temperatura ambiental y desplazamiento de las colonias de hibernación en sierra Chincua y Cerro pelón, temporada 2019-2020*

Se observó que para la temporada 19/20 en el santuario de Cerro Pelón en la ubicación inicial de la colonia (CP\_I) la temperatura máxima promedio fue de 13.5°C y la mínima promedio fue de 5.06°C; y el porcentaje promedio de su cobertura forestal en esta primera ubicación fue de 78.6%. Posteriormente, esta se desplazó a su ubicación final (CP\_II) la última semana de enero, la temperatura máxima promedio en este sitio fue de 14.1°C y de 6.3°C en la mínima promedio y en cuanto a su cobertura forestal promedio, esta fue de 77.6%.

Para la colonia en Sierra Chincua, en la ubicación inicial (SC\_I) se observó que la temperatura máxima promedio fue de 11.4°C y la mínima promedio de 3.8°C y su cobertura forestal promedio fue de 69.3%. Para la tercera semana de febrero, es decir, en muy poco tiempo la colonia tuvo dos desplazamientos en dos nuevas ubicaciones (SC\_II y III), en estas la temperatura máxima promedio fue de 18.2°C y la mínima promedio de 7°C. Para la segunda ubicación (SC\_II) su cobertura forestal promedio fue de 60.8% y para la tercera ubicación (SC\_III) esta fue de 63.4%.

## 7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que durante la temporada 2019-2020 las colonias de mariposas de Sierra Chincua y Cerro Pelón ocuparon los sitios de mayor recurrencia de la última década (Vidal et al. 2014). Encontramos que el tiempo en el que se desplazaron las colonias laderas abajo fue diferente en ambos santuarios: el en Cerro Pelón el desplazamiento de la colonia se observó a finales del mes de enero y en Sierra Chincua a finales del mes de febrero. Destaca también la frecuencia con la que a partir del 01 de enero del 2020 se alcanzaron temperaturas por arriba del umbral de vuelo, lo que explica la elevada actividad de las mariposas de esta colonia. Ramírez et al. (2018) observaron, que en temporadas anteriores (2017-2018 y 2018-2019), las colonias de mariposa monarca se dividieron y asentaron en distintas ubicaciones a lo largo de la temporada de hibernación.

A partir de las fotografías hemisféricas se muestra, que la cobertura forestal es muy diferente entre santuarios, pero no entre las ubicaciones de las mariposas al interior de estos. A este respecto, Williams y Brower (2015), señalaron la importancia que tiene la cobertura del bosque para actuar como una capa protectora para la mariposa monarca ante condiciones abióticas tales como bajas temperaturas invernales, calor excesivo, precipitación y fuertes vientos. También trabajos como el de Chamailé-Jammes et al. (2006), mostraron que la cobertura forestal, así como la geomorfología producían diferencias térmicas a lo largo del gradiente altitudinal y que algunas especies podría modificar su desplazamiento debido a los cambios de temperatura.

De esta manera, en los resultados obtenidos para este trabajo podemos observar que las diferencias entre santuarios. Es decir, la temperatura mínima promedio para la temporada 19/20 en Cerro Pelón fue de 5.4°C mientras que en Sierra Chincua fue de 4.3°C, de esta manera podemos observar que Cerro Pelón es más cálido por 1.1°C en los meses más fríos y para el caso de las temperaturas máximas promedio en Cerro Pelón, esta fue de 15.5°C y de 17.2°C en Sierra Chincua, teniendo una diferencia de 1.7°C en cuanto la primavera se acercaba.

Las temperaturas ambientales registradas en estudios anteriores a este, al menos en el santuario de Sierra Chincua donde se han llevado a cabo la mayoría de los estudios en temporadas pasadas, son diferentes.

Comparando los datos de Masters et al. (1988), con los de este trabajo podemos observar que las temperaturas ambientales máximas y mínimas reportadas aquí son más bajas. Mientras que los datos más recientes en este trabajo nos muestran temperaturas ambientales máximas y mínimas más cálidas en comparación con los de Calvert y Brower (1986). También es importante remarcar los datos de temperatura registrados para el año 2016 por Brower et al. (2017), donde se registraron temperaturas por debajo de los 0°C durante cinco días, este escenario se dio debido a la llegada de una tormenta invernal que mató a millones de mariposas (Cuadro 1), que, en comparación a las mismas fechas en el presente estudio, no encontramos esas bajas temperaturas ya que para esta temporada no se registraron eventos climáticos extremos.

También podemos observar que Pérez-Miranda et al. (2020), obtuvieron datos de temperatura ambiental en dos nuevas colonias cercanas al Nevado de Toluca en el Estado de México que difieren 3°C en las mínimas y 3.5°C en las máximas para la colonia de La Joya, y para la colonia de Tlachanon 2.3°C en las mínimas y 4.8°C en las máximas de los datos registrados para este trabajo en Cerro Pelón que también está ubicado en el Estado de México. Al menos para el particular caso de este estudio, la temporada de hibernación observada fue más cálida que las vistas anteriormente.

Para la colonia de Cerro Pelón donde la cobertura del bosque es mayor, se registró un solo movimiento en toda la temporada mientras que para el caso de Sierra Chincua donde la cobertura del bosque es menor, se observaron dos desplazamientos de la colonia. Este comportamiento podría deberse a que las mariposas buscan temperaturas que garanticen su supervivencia (Brower et al. 2009), las cuales están relacionados con la madurez y el estado de conservación de los bosques (Anderson y Brower 1996; Brower et al. 2008).

La velocidad viento de hasta 21.8 ms (registrada por la estación meteorológica del Llano de las Papas, en Sierra Chincua) pudo ser un factor de que

la temperatura disminuyera drásticamente en la colonia de Sierra Chincua el 06 de febrero del 2020, pero no en Cerro Pelón donde gracias al efecto protector del bosque la temperatura mínima fue 4.5°C mayor que en Sierra Chincua. Por ejemplo, Calvert y Williams (1986) encontraron, que la colonia de mariposa monarca del arroyo El Zapatero en Sierra Chincua se vio beneficiada por la protección topográfica de la cañada, que les permitió resguardarse de los vientos gélidos y así sobrevivir a las bajas temperaturas y sobrevivir en los meses más fríos.

En el presente estudio, el desplazamiento de las agrupaciones de mariposa monarca en ambos santuarios no estuvo relacionado a eventos extraordinarios de temperatura, a diferencia de lo reportado por Brower et al. (2017), quienes registraron la mortalidad y el comportamiento de las colonias de mariposas como resultado de temperaturas entre -4 y -5 °C causadas por una tormenta invernal. Sin embargo, también hay factores distintos al efecto microclimático del bosque de oyamel que contribuyen de manera importante a los cambios en el comportamiento de las agrupaciones de mariposa monarca como lo son la presión por depredadores y la facilitación para un apareamiento exitoso (Anderson y Brower, 1996) que deberían ser estudiados con mayor detalle.

## **8. CONCLUSIÓN**

A través del análisis de la temperatura ambiental y la cobertura forestal de ambos santuarios se puede concluir que el desplazamiento de las colonias en ambos santuarios fue diferente en gran medida por la diferencia entre las coberturas forestales de ambos santuarios. Es decir, el estado de conservación del bosque en Cerro Pelón y el efecto protector del mismo fue mayor que en el santuario de Sierra Chincua. Por otra parte, la temporada 2019 – 2020 fue mucho más cálida en comparación con otras temporadas en las que se ha registrado la temperatura ambiental desde la década de 1980.

La principal contribución de este trabajo es que demuestra que en los santuarios se tienen diferentes condiciones tanto térmicas como de cobertura forestal, que contribuye a identificar el rango de condiciones en el que ocurre la hibernación de mariposas monarca en México y las condiciones actuales de riesgo para su hibernación exitosa. Estos datos pueden ser de utilidad para considerar diferentes estrategias de manejo y conservación acordes con cada uno de los sitios.

## 9. REFERENCIAS

- Anderson, J. B., y Brower, L. P. (1996). Freeze-protection of overwintering monarch butterflies in Mexico: critical role of the forest as a blanket and an umbrella. *Ecological Entomology*, 21(2), 107-116.
- Barker, J. F., y Herman, W. S. (1976). Effect of photoperiod and temperature on reproduction of the monarch butterfly, *Danaus plexippus*. *Journal of Insect Physiology*, 22(12), 1565-1568.
- Brenner, L. (2006). Protected natural areas and ecotourism: the case of the Mariposa Monarca Biosphere Reserve, Mexico. *Relations. History and Society Studies*, 27(105), 237-265.
- Brower, L. P. (1995). Understanding and misunderstanding the migration of the monarch butterfly (Nymphalidae) in North America: 1857-1995. *Journal of the Lepidopterists Society*, 49(4), 304-385.
- Brower, L. P., y Missrie, M. (1999). Para comprender la migración de la mariposa monarca, 1857-1995 (No. QL 561. D3. B7618 1999). *Instituto Nacional de Ecología*.
- Brower, L. P., Castilleja, G., Peralta, A., López-García, J., Bojórquez-Tapia, L., Díaz, S., Melgarejo, D., y Missrie, M. (2002). Quantitative changes in forest quality in a principal overwintering area of the monarch butterfly in Mexico, 1971–1999. *Conservation Biology*, 16(2), 346-359.
- Brower, L. P., Kust, D. R., Rendon-Salinas, E., Serrano, E. G., Kust, K. R., Miller, J., ... y Pape, K. (2004). Catastrophic winter storm mortality of monarch butterflies in Mexico during January 2002. *The Monarch butterfly: biology and conservation*, 151-166.
- Brower, L. P., Williams, E. H., Fink, L. S., Zubieta, R. R., y Ramírez, M. I. (2008). Monarch butterfly clusters provide microclimatic advantages during the overwintering season in Mexico. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 62(4), 177-188.
- Brower, L. P., Williams, E. H., Slayback, D. A., Fink, L. S., Ramírez, M. I., Zubieta, R. R., García, M. V. L., Guier, P., Lear, J. A., y Van Hook, T. (2009). Oyamel fir forest trunks provide thermal advantages for overwintering monarch butterflies in Mexico. *Insect Conservation and Diversity*, 2(3), 163-175.
- Brower, L. P., Williams, E. H., Fink, L. S., Slayback, D. A., Ramírez, M. I., García, M. V. L., Zubieta, R. R., Weiss, S. B., Calvert, W. H., y Zuchowski, W. (2011). Overwintering clusters of the monarch butterfly coincide with the least hazardous vertical temperatures in the oyamel forest. *The Journal of the Lepidopterists' Society*, 65(1), 27-46



- Brower, L. P., Taylor, O. R., Williams, E. H., Slayback, D. A., Zubieta, R. R., y Ramírez, M. I. (2012). Decline of monarch butterflies overwintering in Mexico: is the migratory phenomenon at risk? *Insect Conservation and Diversity*, 5(2), 95-100.
- Brower, L. P., Williams, E. H., Jaramillo-López, P., Kust, D. R., Slayback, D. A., y Ramírez, M. I. (2017). Butterfly mortality and salvage logging from the March 2016 storm in the monarch butterfly biosphere reserve in Mexico. *American Entomologist*, 63(3), 151-164.
- Calvert, W. H., Zuchowski, W., y Brower, L. P. (1982). The impact of forest thinning on microclimate in monarch butterfly (*Danaus plexippus* L.) overwintering areas of Mexico. *Botanical Sciences*, (42), 11-18.
- Calvert, W. H., y Brower, L. P. (1986). The location of monarch butterfly (*Danaus plexippus* L.) overwintering colonies in Mexico in relation to topography and climate. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 40, 164–187.
- Calvert, W.H., W.B. Malcolm, J.I. Glendinning, L.P. Brower, M.P. Zalucki, T. van Hook, J.B. Anderson, y L.C. Snook. (1989). Conservation biology of monarch butterfly overwintering sites in Mexico. *Vida Silvestre Neotropical*. 2 (1), 38–48.
- Chamaillé-Jammes, Massot, M., Aragon, P., y Clobert, J. (2006). Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. *Global Change Biology*, 12(2), 392-402.
- Masters, A.R., S.B. Malcolm, y L. P. Brower (1988) Monarch butterfly (*Danaus plexippus*) thermoregulatory behavior and adaptations for overwintering in Mexico. *Ecology* 69:458–467.
- Navarrete, J. L., Ramírez, M. I., y Pérez-Salicrup, D. R. (2011). Logging within protected areas: Spatial evaluation of the monarch butterfly biosphere reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 646-654.
- Oberhauser, K. S., Prysby, M. D., Mattila, H. R., Stanley-Horn, D. E., Sears, M. K., Dively, G., ... y Hellmich, R. L. (2001). Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(21), 11913-11918.
- Pérez-Miranda, R., Arriola-Padilla, V. J., y Romero-Sánchez, M. E. (2020). Characterizing New Wintering Sites for Monarch Butterfly Colonies in Sierra Nevada, Mexico. *Insects*, 11(6), 384.

- Pleasants, J. M., y Oberhauser, K. S. (2013). Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity*, 6(2), 135-144.
- Ramírez, M. I., Azcárate, J. G., y Luna, L. (2003). Effects of human activities on monarch butterfly habitat in protected mountain forests, Mexico. *The Forestry Chronicle*, 79(2), 242-246.
- Ramírez-Ramírez, M. I. (2018). Los espacios forestales de la Sierra de Angangueo (estados de Michoacán y México), México: una revisión geográfica. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Saunders, S. P., Ries, L., Neupane, N., Ramírez, M. I., García-Serrano, E., Rendón-Salinas, E., y Zipkin, E. F. (2019). Multiscale seasonal factors drive the size of winter monarch colonies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(17), 8609-8614.
- SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001). Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Subdirección General de Conservación y Manejo de Áreas Naturales Protegidas, México, D.F.
- Thogmartin, W. E., Wiederholt, R., Oberhauser, K., Drum, R. G., Diffendorfer, J. E., Altizer, S., ... y López-Hoffman, L. (2017). Monarch butterfly population decline in North America: identifying the threatening processes. *Royal Society open science*, 4(9), 170760.
- Urquhart, F.A. (1976). Found at last: The Monarch's winter home. *National Geographic Magazine* 150:160-173.
- Vidal, O., López-García, J. y Rendón-Salinas, E. (2014). Trends in deforestation and forest degradation after a decade of monitoring in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico. *Conservation Biology*, 28(1), 177-186.
- Williams, E. H., y Brower, L. P., (2015). Microclimatic Protection of Overwintering Monarchs Provided by Mexico's High-Elevation Oyamel Fir Forests. *Monarchs in a changing world: biology and conservation of an iconic butterfly*, 109-16.
- Weiss, S. B., Rich, P. M., Murphy, D. D., Calvert, W. H., y Ehrlich, P. R. (1991). Forest canopy structure at overwintering monarch butterfly sites: measurements with hemispherical photography. *Conservation Biology*, 5(2), 165-175.
- Zylstra, E. R., Ries, L., Neupane, N., Saunders, S. P., Ramírez, M. I., Rendón-Salinas, E., Oberhauser, K. S., Farr, M. T., y Zipkin, E. F. (2021). Changes in climate drive recent monarch butterfly dynamics. *Nature Ecology & Evolution*, 1-12.