



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE COLONIAS DE HIBERNACIÓN
EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA,
TEMPORADA 2006-2007

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

MIRIAM MARTÍNEZ CHÁVEZ



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

TUTOR:
JOSÉ LÓPEZ GARCÍA

2008



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.

Hoja de Datos del Jurado

<p>1. Datos del alumno</p> <p>Martínez Chávez Miriam 53 43 63 67 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 099218405</p>
<p>2. Datos del tutor</p> <p>Dr. José López García</p>
<p>3. Datos del sinodal 1</p> <p>M. en C. Nelly Diego Pérez</p>
<p>4. Datos del sinodal 2</p> <p>Dra. Lilia de Lourdes Manzo Delgado</p>
<p>5. Datos del sinodal 3</p> <p>M. en C. Jaime Jiménez Ramírez</p>
<p>6. Datos del sinodal 4</p> <p>Dr. Sigfrido Sierra Galván</p>
<p>7. Datos de la tesis</p> <p>Distribución espacial de colonias de hibernación en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, temporada 2006-2007 55 p 2008</p>

*A mis padres,
por su cariño, apoyo y confianza incondicional..*

Agradecimientos

Dicen que siempre se nos olvida mencionar a alguien en los agradecimientos de la tesis, sin embargo, no queda más que hacer el intento de mencionar en unas cuantas líneas a quienes de manera emocional, moral, académica, institucional y económicamente colaboraron e hicieron posible esta tesis. Comenzaré por dar gracias a mis padres Miguel y Sol por el amor y la confianza que han depositado en mí, y el respeto y apoyo que muestran hacia mis decisiones, ¡como la de estudiar Biología!; a mis hermanas Yiyis, Blanca, Wendy y Vero quienes han sido mi ejemplo, sostén y apoyo en innumerables ocasiones al igual que mis cuñados Pablo, Israel y Ros por el interés que han mostrado hacia mi persona.

Se agradece también la labor que realizó mi asesor José López al compartirme sus ideas y conocimientos, así como los comentarios y observaciones que realizaron los miembros del jurado: Lilia Manzo, Nelly Diego, Jaime Jiménez y Sigfrido Sierra, quien además de ser un gran profesor, ha sido un buen amigo.

A las instituciones encargadas del monitoreo de colonias de hibernación: la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y WWF-México, especialmente a Eduardo Rendón Salinas, por permitirme formar parte del equipo de monitoreo en la temporada 2006-2007 brindándome alojamiento en la casa Panda, comida y transporte de Zitácuaro a los santuarios durante mis visitas al campo; a Servando Rodríguez, consultor del monitoreo y a Martín Cruz, colaborador del mismo, cuya agradable compañía hizo los días cortos y divertidos, además de enriquecer este trabajo con sus observaciones y comentarios. A los guías de los diferentes santuarios, cuyas aportaciones resultaron muy valiosas para el desarrollo de este trabajo, entre los que se encuentran Don Abel y Olegario de El Rosario; Don Artemio y los niños Luis y Lalo de Cerro Pelón; al Bofo y Juan de Sierra Chincua; a Don Braulio de Contepec, cuyas emocionantes historias hacían más llevadera la subidota y a la mamá de Martín, quien nos recibía con un rico almuerzo cuando tocaba ir a La Mesa.

A mi amigo Jesús Domínguez por la paciencia que demostró al compartir sus conocimientos de SIG y el apoyo que me brindó en el campo y durante el procesamiento de los datos; a Ramiro Cartagena por compartirme un poco de su conocimiento y osarse a dirigir parte de esta tesis, al tiempo que nacía, crecía y se solidificaba la bonita amistad que tenemos ahora. A los amigos que me apoyaron moralmente y aguantaron mis ratos de desesperación y neurosis durante el desarrollo de este trabajo entre los que se encuentra el incondicional Mico, Faby, Hapus, Miguelote, Carlos, Dorit, y los cuates de Micología: Sandra, Juan, Lilia, Magda, Itzel y Paty quienes me dieron ánimos y buena vibra en todo momento; pero muy especialmente gracias a mi mejor amigo, cómplice y compañero Omar, a quien amo profundamente.

Finalmente se agradece la beca otorgada por el proyecto PAPIIT IN-305707 que hizo posible la materialización de este trabajo.

CONTENIDO

Resumen	
Introducción.	1
1. Antecedentes.	2
1.1 Zona de estudio.	10
1.1.1 Clima.	10
1.1.2 Vegetación.	12
1.1.3 Hidrología y Geología.	13
1.1.4 Problemática Socio-Ambiental.	14
1.2 Sistemas de Información Geográfica.	15
1.2.1 Modelos de datos espaciales para SIG.	16
1.2.2 Modelo Digital de Elevaciones.	16
1.3 Planteamiento del problema.	19
1.4 Objetivos.	19
1.5 Justificación.	20
2. Método.	21
2.1 Primera fase.	21
2.2 Segunda fase (trabajo de campo).	22
2.3 Tercera fase (trabajo de gabinete).	25
3. Resultados.	26
3.1 Zonificación y caracterización de las áreas de hibernación.	26
3.1.1 Sierra Chincua.	26
3.1.2 El Rosario.	32
3.1.3 Cerro Pelón.	37
3.2 Comparación de las zonas de hibernación.	43
4. Discusión.	46
5. Conclusiones.	49
Literatura citada.	50

Resumen

La mariposa monarca (*Danaus plexippus plexippus*) es un insecto migratorio proveniente de Canadá y Estados Unidos que pasa el invierno en los bosques de oyamel que se encuentran entre los Estados de Michoacán y México, por lo que en 1986 se decretó la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), en la que se han realizado estudios acerca de la biología del lepidóptero, sin embargo, los reportes sobre la distribución de las colonias en esos sitios, conforme avanza la temporada invernal, son limitados en número e información. Actualmente, la principal causa de deterioro de los bosques de la RBMM, es la tala ilegal a la que se suman los incendios forestales, plagas, degradación de suelo y pérdida de biodiversidad, además del turismo mal planeado.

Mediante la ubicación de las colonias de hibernación de mariposa monarca a lo largo de la temporada 2006-2007 en los santuarios de Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, se llevó a cabo la caracterización ecogeográfica de esos sitios mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y observaciones realizadas en campo. De manera que las colonias de hibernación registradas mostraron una preferencia por laderas Sureste y Suroeste que reciben mayor insolación durante el invierno y por la ocupación de sitios con cobertura forestal cerrada y semicerrada, lo que permite recalcar la importancia de mantener los bosques conservados y proteger los que se encuentran expuestos a la tala ilegal, tanto para la conservación del fenómeno migratorio de la mariposa monarca como para la conservación de la biodiversidad en los bosques templados y la recarga de mantos acuíferos que abastecen de agua potable a la población urbana.

INTRODUCCIÓN

La migración de la mariposa monarca es un fenómeno biológico de interés mundial, debido a que son los únicos insectos migratorios que viajan grandes distancias (4,000km) desde los Grandes Lagos en el Sureste de Canadá y Norte de Estados Unidos, hasta sus sitios de hibernación en México, y en un número muy grande de individuos. Por ello, en México es catalogada como Especie Sujeta a Protección Especial, según la NOM-059-ECOL-1994 (SEDESOL, 1994), y se ha decretado la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, con el propósito de proteger su hábitat de hibernación.

Diversos estudios han destacado la importancia de la cobertura forestal en el mantenimiento de un microclima adecuado para el establecimiento y sobrevivencia de las colonias de mariposa monarca durante el invierno (Brower y Calvert, 1985; Calvert *et al.*, 1986), sin embargo, durante 2005-2006 se detectaron cambios negativos en la cobertura arbórea de 576.4 hectáreas en la zona núcleo (López-García, 2006), lo que significa un incremento del 140% con respecto a las hectáreas que se perdieron o deterioraron anualmente durante 2003-2005 (WWF, 2006)

Hasta el momento los estudios acerca de las zonas de ocupación de colonias de hibernación de mariposa monarca en México se enfocan principalmente al monitoreo periódico de la superficie de las colonias, por lo que el propósito de este trabajo es zonificar y caracterizar ecogeográficamente tres sitios de hibernación de mariposa monarca, para realizar una comparación de los mismos, lo que contribuirá al conocimiento de la trayectoria que siguen estos lepidópteros a lo largo de la temporada, así como las características de los sitios que eligen para pasar el invierno, lo que al mismo tiempo contribuirá al mejoramiento en la planeación de las actividades relacionadas con el turismo.

1. ANTECEDENTES

La mariposa monarca (*Danaus plexippus plexippus*) es un insecto perteneciente al orden de los *Lepidópteros*, suborden *Ropalóceros*, se ubica dentro de la familia *Nymphalidae* y pertenece a la subfamilia *Danainae* conformada por aproximadamente 157 especies, 14 de ellas representadas en el continente Americano (Phillips y Johnson, 1990). La mariposa monarca habita en el hemisferio occidental y fue introducida por barcos a Hawai y Australia en el siglo XIX (De la Maza, 1995, 2002). En América se distribuye desde los Grandes Lagos, en Canadá, hasta el Sur de Perú y Noroeste de Argentina (Galindo-Leal y Rendón-Salinas, 2005), por lo que es considerada una especie cosmopolita, pues ha sido registrada en varios lugares del planeta, sin embargo, el fenómeno de migración e hibernación a gran escala únicamente lo presentan las poblaciones que habitan en Canadá y Estados Unidos.

En México existen poblaciones establecidas de mariposa monarca en los estados de Morelos, México, Guerrero, Distrito Federal, Chiapas y San Luis Potosí, estas poblaciones presentan varias generaciones a lo largo del año y diferencias morfológicas con las monarcas migrantes, tales como la talla, pues las monarcas establecidas son más pequeñas, tienen los bordes de las alas menos ondulado, tienden a perder la fila de manchitas blancas ubicada en el margen negro del ala posterior y no presentan grandes reservas de grasa, lo que implica un funcionamiento metabólico diferente entre ambas poblaciones, por lo que Hoffmann (1940) las catalogó como una subespecie llamada *Danaus plexippus curassavicae*. Por lo anterior podría decirse que las dos subespecies se sobrelapan en el centro de México, pero no es así, puesto que las poblaciones de *Danaus plexippus curassavicae* realizan movimientos altitudinales buscando permanecer en un rango climático similar durante las etapas cálida y fría del año, de forma que ocupa altitudes de 2000 y 2700m durante la primavera y verano, y para el otoño inicia un descenso para ubicarse por debajo de los 1700msnm en la cuenca del río Balsas donde se registran entre diciembre y marzo (De la Maza, 1975), de manera que se forma una barrera altitudinal debido a que las colonias de *Danaus plexippus plexippus* se forman entre los 2700 y 3100m de altitud durante el invierno. (Figura 1)

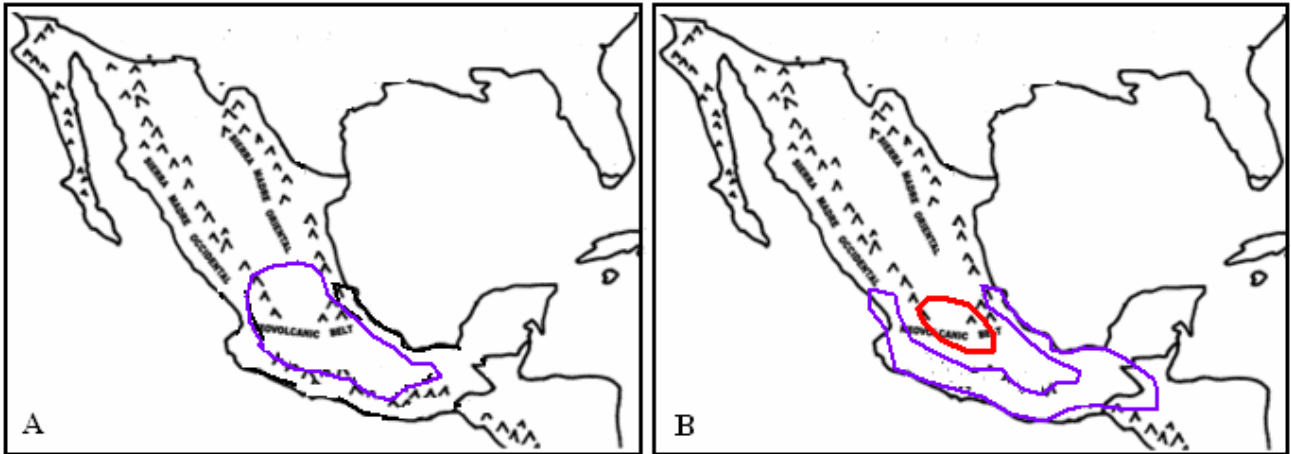


Figura 1. Distribución de la subespecie *Danaus plexippus curassavicae* en México. **A.** durante primavera y verano, **B.** en otoño e invierno. (Tomado de De la Maza Elvira, 2002)

Cada otoño, las monarca de América del Norte vuelan hacia los lugares donde pasarán el invierno en el sur, de donde migrarán las mismas mariposas al norte, hacia sus áreas de reproducción, en la primavera. Durante esta migración, las mariposas vuelan desde las extensas áreas donde pasan el verano hacia sus sitios de hibernación que abarcan de 0.5 a 5 hectáreas (Brower *et al.*, 2002), volviendo casi a los mismos sitios año tras año.

Se han distinguido dos rutas de migración definidas por la distribución de las poblaciones. Las poblaciones del Este de las Montañas Rocallosas por lo general vuelan a los sitios de hibernación en las montañas del centro de México, mientras que las poblaciones del Oeste de las Montañas Rocallosas por lo general pasan el invierno a lo largo de la costa de California (Urquhart y Urquhart, 1977; Brower y Calvert, 1985). (Figura 2).

Durante su migración, recorren hasta 4,800km (Urquhart y Urquhart, 1978), para lo cual, toman las corrientes de aire y viajan en promedio 73km diarios, llegando a recorrer hasta 350km/día. Cruzan Texas y al encontrar la Sierra Madre Oriental, cambian de curso y siguen las montañas hacia el suroeste hasta encontrar el Eje Neovolcánico al Noreste de Michoacán, donde se establecen, permaneciendo alrededor de 154 días (Alonso-Mejía y Arellano, 1989).

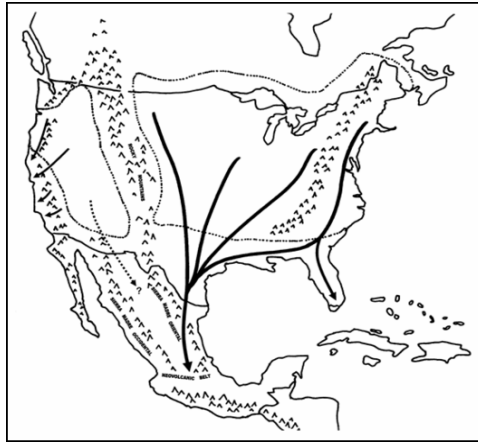


Figura 2. Mapa de la migración de mariposa monarca de América del Norte. (Tomado de Oberhauser, 2006)

Al principio de la primavera, las monarcas se dispersan a partir de las zonas de hibernación, las generaciones sucesivas recolonizan el resto de sus áreas veraniegas de reproducción (Figura 3), Cockrell *et al.*, (1993) establecieron el patrón general de reemigración para la población oriental, y demostraron mediante monitoreos que las mariposas monarca que hibernaron en México y su descendencia repueblan la parte Sureste de los Estados Unidos y el Sur de Canadá en 5 generaciones.

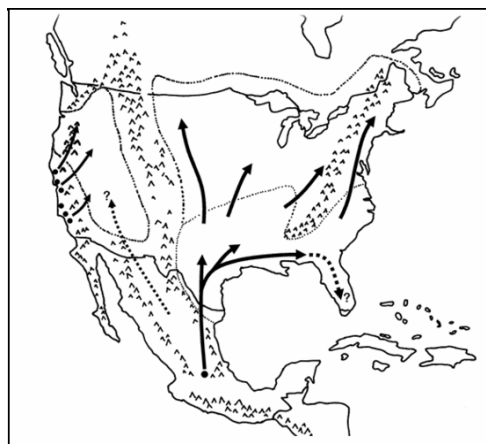


Figura 3. Mapa de la reemigración de mariposa monarca hacia Estados Unidos y Canadá, desde sus áreas de hibernación en México. (Tomado de Oberhauser, 2006)

Los sitios de hibernación de la mariposa monarca en México fueron dados a conocer en 1975 (Urquhart, 1976), su protección se inició 1980 cuando se decretó como “Zona de Reserva y Refugio de Fauna Silvestre” los lugares donde la mariposa monarca hiberna y se reproduce (Diario Oficial de la Federación, 1980) con el propósito de conservar los hábitos migratorios de la mariposa monarca, sin determinar la superficie específica que debía protegerse, lo que resultaba difícil de aplicar debido a lo extensos que pueden ser los lugares, considerando que las mariposas monarca se reproducen varias veces en su regreso a Estados Unidos y Canadá, por lo que en 1986 cambia su categoría y se le denomina Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca, con una superficie de 16,110 hectáreas (Diario Oficial de la Federación, 1986), dentro de las cuales había 5 áreas de hibernación de las 9 conocidas hasta ese momento; mas tarde, se decidió ampliar la zona establecida en 1986, para lo cual se realizó un estudio en el que participaron académicos de México, Estados Unidos y Canadá (Brower *et al.*, 2002), una vez determinada la localización de las colonias, así como de sus hábitos, se establecieron los nuevos límites y la denominación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca en el año 2000 (Diario Oficial de la Federación, 2000) con una superficie de 56, 259 ha con las que cuenta actualmente y zonificada en dos áreas: la zona núcleo, que incluye los bosques en los que la monarca hiberna y en los que sólo se permiten actividades de investigación; y la zona de amortiguamiento, en la que puede haber aprovechamiento forestal sostenible.

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca se localiza en la Faja Volcánica Transmexicana, entre los límites del Estado de Michoacán y del Estado de México (entre 19°59'42'' a 19°18'32''N y 100°09'54'' a 100°06'39''W). Cuenta con una extensión de 56,259 hectáreas, de las cuales, 42,707 pertenecen a la zona de amortiguamiento, y 13,551 se decretaron en tres zonas núcleo: la zona núcleo norte (588 ha) incluye el Cerro Altamirano (3,320 msnm), la zona núcleo central (9,671 ha) incluye Sierra Chincua, Sierra del Campanario (3,640 msnm) y la Sierra de Chivatí-Huacal (3,180 msnm), y la zona núcleo sur (3,339 ha) incluye el Cerro Pelón (3,500 msnm). (Véase Figura 3)

Tras el decreto de 1986, la Sierra Chivatí-Huacal fue talada y quemada en su totalidad (Brower 1987, Calvert *et al.*, 1989), mientras que en el resto de las zonas decretadas se practicaban actividades de aprovechamiento forestal, por lo que en el año 2000, se estableció el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca, dirigido a

apoyar económicamente a las comunidades afectadas por el establecimiento de las nuevas zonas núcleo. El Fondo Monarca se creó con capital aportado por una fundación privada Estadounidense y los gobiernos de los Estados de México y Michoacán, este capital produce intereses que se entregan dos veces al año a los propietarios de los terrenos de la Reserva que han cumplido su compromiso de no cortar árboles y participado en trabajos a favor de la conservación. En junio de cada año se revisan los resultados del monitoreo del estado del bosque y se hacen los pagos correspondientes a los propietarios que se vieron afectados con el decreto y perdieron sus derechos de aprovechamiento en las zonas núcleo. En diciembre de cada año se revisan los resultados de la participación de los propietarios en actividades de conservación de las zonas núcleo y se apoya con un pago por hectárea de bosque conservado (Honey-Rosés *et al.*, 2004). Para el 2004, participaron en el Fondo Monarca, 31 de los 38 ejidos propietarios de la zona núcleo.

Varios programas han monitoreado la migración otoñal de las mariposas monarca, Oberhauser (2006) los divide en dos categorías, los que se ocupan de marcar mariposas individualmente con etiquetas para rastrear sus movimientos, y los que implican conteos en localidades específicas, para realizar observaciones sobre su conducta (www.monarchwatch.com)

La organización no gubernamental mexicana Profauna ha organizado un proyecto de monitoreo a lo largo de la ruta migratoria de las monarcas en México y ha recopilado datos durante varios años, sin que hasta el momento esta información haya sido compilada o analizada.

Los programas de monitoreo en los sitios de hibernación de México y California se han enfocado hacia la abundancia de monarcas, sus tasas de mortalidad así como la calidad y disponibilidad del hábitat.

En México, ante la necesidad de generar el conocimiento para la conservación y protección de la mariposa monarca, la Reserva inició un proyecto de monitoreo de colonias desde la temporada de hibernación 1993-94, hasta el 2003, éstos reportaron la mortalidad, ocupación espacial y estimación poblacional de cada temporada. Para la ocupación espacial, se tomó el perímetro a la altura del pecho de los árboles ocupados; con el propósito de obtener información acerca de la estructura arbórea que ocupa la mariposa; para estimar la población, se tomó en cuenta la constante de Brower y Calvert (1985) de 10

millones de mariposas por hectárea y utilizando un método consistente en estimar el perímetro de la colonia, marcando un árbol en la parte superior de ésta, y a partir de él marcar el perímetro de la colonia hasta llegar al punto de origen, con ayuda de brújula y cinta métrica; la mortalidad fue calculada mediante la colecta de mariposas muertas, la determinación de su muerte, y la extrapolación de ese número a la colonia.

A partir de la temporada 2003-2004, los monitoreos se realizan por el Fondo Mundial para la Conservación de la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) en coordinación con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), ellos reportan la superficie de las colonias como un indicador de la abundancia relativa de las mariposas; ante la necesidad de conocer sus tendencias poblacionales, (comparar el tamaño de las colonias entre un sitio y otro, saber cómo cambian las colonias año con año) en tales reportes se da a conocer la superficie de las colonias hasta el mes de diciembre, mes en el que éstas ya se han establecido. El término colonia se entiende por la agrupación generalmente densa de individuos de mariposa monarca en las ramas (clusters o racimos) y troncos de los árboles, y se diferencia de otra colonia por la distancia que hay entre una agrupación y otra (mínimo 10m) sin la presencia de mariposas en los árboles o vegetación secundaria (Rodríguez-Mejía, com.pers.).

En esos monitoreos se ha documentado la superficie de bosque ocupada por las colonias de hibernación, la cual fluctúa año con año; pues en 14 años, ha variado de un máximo de 18ha a un mínimo de 2.9ha. En la temporada 2003-2004 documentaron seis colonias que ocuparon una superficie acumulada de 2.91 ha; cifra mínima registrada desde 1993-1994, en diciembre de 2005 se registraron 12 colonias que ocuparon 5.92ha y en diciembre de 2006 se localizaron 12 colonias en 6.87ha, indicando una tendencia al aumento de superficie ocupada a partir de 2004, (Rendón-Salinas *et al.*, 2005, 2006, 2007).

Generalmente se han tomado en cuenta cuatro fases en la formación de las colonias de mariposa monarca, con base en monitoreos y observaciones, éstas son: 1) *arribo*, ocurre en el mes de noviembre, cuando las mariposas forman y consolidan sus colonias seleccionando la exposición Sur o Suroeste de las montañas, con intensa actividad de vuelo debido a la constante llegada de mariposas; 2) *establecimiento de colonias*, en diciembre las colonias se estabilizan y permanecen en el mismo sitio con actividad casi nula por parte de las mariposas hasta el mes de febrero, ocupando las ramas y troncos de los oyameles, en

ocasiones se mueven, dependiendo de las condiciones climáticas y la cobertura del bosque; 3) *movimiento*, en febrero y marzo cuando la temperatura aumenta y la humedad disminuye, las colonias se dividen y se mueven hacia lugares con mayor humedad como cañadas o arroyos; y 4) *reproducción y reemigración*, en marzo, con el aumento de temperatura, comienzan los apareamientos y la remigración hacia el Norte, para el mes de abril, prácticamente se han ido todas (Calvert y Brower, 1986; Reserva de la Biosfera, 2000).

Basándose en varios años de observaciones, Calvert y Brower (1986) concluyeron que las principales colonias de hibernación son: Cerros Chivatí-Huacal, Sierra El Campanario y Sierra Chincua en el estado de Michoacán y Cerro Pelón en el Estado de México, y las colonias más pequeñas se encuentran en Cerro Altamirano, San Andrés, Mil Cumbres, Oxtotilpan, Piedra Herrada y Palomas.

Solís y García-Serrano, (2000) hacen una compilación de los monitoreos mediante gráficas y tablas acerca de la ubicación de las colonias, la superficie en hectáreas y árboles ocupados por la mariposa monarca de 1993-1999; así como del número de árboles por hectárea y porcentaje de cobertura de copa de oyamel; más tarde, García-Serrano *et al.*, (2004) sintetizan el resultado de los monitoreos realizados por la Reserva de la Biosfera en un lapso de 9 años, de 1993 a 2002. Missrie (2004) hace una revisión histórica acerca del diseño del área de la Reserva y en él, proporciona la ubicación de las colonias de mariposa monarca de 1977 a 1998.

La localización de las colonias de hibernación dentro y fuera de la Reserva, ha dado pie a la realización de estudios acerca de la biología de la mariposa durante el invierno, así como de la dinámica del bosque en el que ésta hiberna, y la importancia de la conservación del mismo, tanto para beneficio de la mariposa monarca, como para las personas del lugar.

Hoth (1994), llevó a cabo la ubicación de los santuarios y según sus propias observaciones, planteó que la tala y quema moderados pueden beneficiar al bosque para el mantenimiento de su dinámica natural, de tal manera que sería necesaria la reorientación de las políticas, a ser incluyentes, acomodando el disturbio como parte integrante de la dinámica del ecosistema, lo que además, ofrecería un espacio para plantear programas integrales de aprovechamiento forestal para beneficio de las comunidades locales. En contraposición a esto se encuentran los argumentos de Brower (1995) y Alonso-Mejía *et al.*,

(1995), a favor de la conservación de los bosques, bajo los argumentos de que en los bosques perturbados se registran temperaturas extremas, y en ellos las mariposas presentan mayor gasto de lípidos y mayor depredación por aves, además de que las colonias que se instalan en lugares así son sumamente inestables, y enfatizando que toda el área de la Reserva se encuentra perturbada, ya sea por el turismo y el pastoreo mal planeado o por la tala ilegal que impera en la zona.

De la Maza (1982, 1995) propone la protección de tres unidades topográficas cercanas a las zonas de hibernación: las cimas de las montañas adyacentes a los sitios de establecimiento de las colonias; las áreas donde se han ubicado constantemente a través de los años y las cañadas y arroyos que sirven de refugio en los años fríos o de sequedad extrema, que además sirven como corredores de reemigración.

Los estudios realizados mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica no son muchos, pero entre ellos se encuentra el Modelo de Nicho Ecológico (ENM, por sus siglas en inglés) realizado por Oberhauser y Peterson (2003) para identificar áreas de distribución potenciales para la hibernación de colonias provenientes del Este de Norteamérica, bajo escenarios climáticos actuales y futuros, concluyendo que la temperatura y precipitación son factores ambientales clave en los lugares adecuados de hibernación, contribuyendo al entendimiento de la dinámica estacional de las especies migratorias bajo cambio climático.

Otro estudio sobre la realización de modelos de hábitats son los de Bojórquez-Tapia *et al.*, (2003) quienes establecen que los lugares donde las monarcas prefieren hibernar presentan cuatro características: 1) altas elevaciones, debido a que la mayoría de las colonias se encuentran en lugares con altitudes superiores a los 2890m; 2) la proximidad a cursos de agua, pues la mayoría se encuentran a menos de 400m de cursos de agua permanentes o temporales; 3) pendientes de inclinación moderada, entre 23° y 26°; y 4) orientación Sur a Suroeste. En la mayoría de los casos, estas condiciones ocurren en bosques de oyamel, pero también existen lugares de colonias a niveles por debajo de esos bosques, principalmente debido a que las mariposas se trasladan a altitudes más bajas, es el caso de los bosques mixtos, a medida que se acerca la primavera.

Los esfuerzos más recientes para ubicar y mapear los sitios de hibernación en México consisten en reconocimientos aéreos, toma de fotografías aéreas digitales y el uso de imágenes de satélite (Landsat, SPOT e IKONOS), que contribuyen a identificar la ubicación precisa de las colonias, su proximidad a tierras degradadas, estimar la tasa de degradación de los bosques en las áreas colindantes a los sitios de hibernación, así como su variación de acuerdo con el nivel de protección del área, a la tenencia de la tierra y a la proximidad de caminos y senderos (Oberhauser, 2006).

1.1 Zona de estudio

Los sitios estudiados se encuentran dentro de la zona núcleo de la Reserva y corresponden a los santuarios de El Rosario, Cerro Prieto y Cerro Pelón. El Rosario y Cerro Prieto abarcan parte de los municipios de Ocampo y Angangueo, del Estado de Michoacán; mientras que Cerro Pelón se localiza en la zona núcleo Sur y se encuentra en los municipios de Villa de Allende y Donato Guerra en el Estado de México. Las áreas de los santuarios Chivatí-Huacal y Lomas de Aparicio en las que hibernaban las mariposas han desaparecido por completo debido a la tala ilegal. (Figura 4)

1.1.1 Clima

Según las estimaciones de García (1988) para México, a partir de la clasificación climática de Köppen, el tipo de clima para estas zonas es C (w₂) (w) (b') (i'), esto es, templado subhúmedo con lluvias en verano y con temperatura media anual entre 5°C y 12°C, la temperatura media para el mes más frío oscila entre los -3°C y los 18°C como máximo y con poca variación en la temperatura media anual. La precipitación para el mes más seco es de 40mm; con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2% del total anual. La precipitación orográfica aumenta en verano por movimientos convectivos de aire y la influencia de ciclones tropicales. Es catalogado como Cw₂ porque presenta mayor humedad que los climas Cw.

Si bien diversos investigadores se han encargado de demostrar que los factores climáticos y microclimáticos son importantes en el establecimiento y comportamiento de las colonias de hibernación (Hoth, 1995) la Reserva no cuenta con estaciones meteorológicas que permitan llevar a cabo registros acerca de las condiciones climáticas de la región, las más cercanas a la zona se encuentran en Temascalcingo, El Nevado de Toluca, Ciudad Hidalgo, Tzitzio, San José Maravatío, Zitácuaro y Morelia (www.inegi.gob.mx).

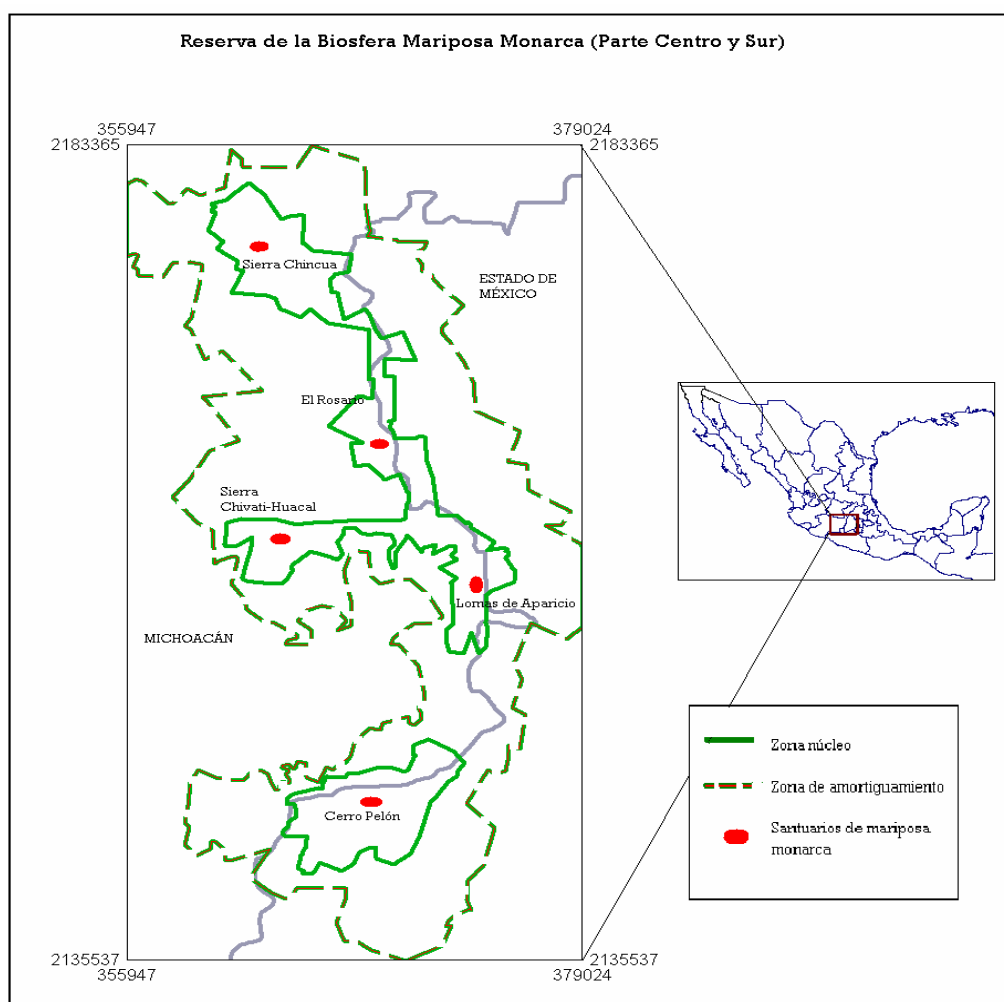


Figura 4. Mapa de la ubicación de los santuarios de la zona núcleo de la RBMM.

1.1.2 Vegetación

La vegetación más representativa de las áreas de hibernación de la mariposa monarca se representa principalmente por bosque de *Abies* también conocido como oyamel, aunque también se presenta el bosque de *Pino-Abies*, bosque de *Pino*, bosque de *Quercus* y bosque de cedro. Estos bosques tienen gran importancia en la captación y retención de agua, ya que registran grandes precipitaciones y está conformada por las cuencas de los ríos Balsas y Lerma (Rzedowski, 1981).

El bosque de *Abies* se distribuye desde los 2 000 hasta 3 600 msnm y es la comunidad más representativa de la zona núcleo, se caracteriza por la predominancia de *Abies religiosa* cuyo dosel es tan denso que sólo permite el crecimiento de musgo y algunos líquenes (Leopold, 1950) y constituye el hábitat característico de la mariposa monarca. El bosque de *Pinus-Abies*, se localiza en una franja altitudinal entre los 2 400 y 3 000m, y está constituido por *Abies religiosa* y especies del género *Pinus*. El bosque de *Pinus*, se presenta en manchones aislados, la mayor parte de ellos se desarrollan a altitudes entre 1 500 y 3 000m, asociados a los sitios más húmedos o en declives fuertes, como es el caso de las cañadas, por debajo de los 2 000 msnm., en el primer caso predomina el *Pinus pseudostrobus*, en suelos más someros o en condiciones secas se da lugar a asociaciones de *Pinus rudis* y *Pinus teocote*, así como *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* en las partes medias y bajas más escarpadas. El bosque de *Quercus* se distribuye entre los 2 900 y 3 100 msnm. El bosque de *Cedro* se presenta entre los 1 600 y 2 600 msnm., y es asociado a condiciones especiales de humedad y temperatura propias de cañadas, en su estrato arbóreo predominan *Cupressus lindleyi* y *Abies religiosa*.

Los estratos inferiores están representados por especies arbóreas de los géneros *Arbutus*, *Salix*, *Alnus*, los arbustos están representados por *Senecio*, *Salvia*, *Geranium*, *Satureja*, y *Asplenium*, los musgos por *Thuidium*, *Mnium* y *Viola*, también se encuentran helechos y una amplia variedad de hongos, algunos de ellos importantes para las economías domésticas de autoconsumo como los géneros *Morchella*, *Boletus* y *Cantharellus* principalmete. También se presentan matorrales de *Baccharis conferta* y *Juniperus monticola* (Espejo-Serna *et al.*, 1992) que establecen una relación de nodricismo con el oyamel. (Snook, 1993)

Las mariposas que hibernan, tienden a situarse en las partes medias de los árboles de oyamel, esto es, porque su forma cónica permite una mayor circulación de viento hacia lo alto de las puntas, y entre el fuste y las primeras ramas, ésta circulación, sumada a las bajas temperaturas de las masas de aire polar, incrementan el índice de congelación en las partes más altas y bajas de la masa boscosa (Brower *et al.*, 1977), de forma que la estructura de los bosques de oyamel provoca efectos microclimáticos que afectan a la monarca y condicionan su establecimiento en ellos. Incluso las herbáceas tienen un papel importante, pues las mariposas que caen al suelo, trepan por este tipo de vegetación para evitar el congelamiento, y la depredación por ratones (Calvert y Cohen, 1983)

De acuerdo a experimentos realizados con mariposas monarca, varios investigadores han determinado que la cobertura forestal debe mantenerse relativamente intacta para mantener las condiciones microclimáticas favorables para las mariposas, y de esa manera evitar la pérdida excesiva de sus reservas energéticas de lípidos, la mortandad por congelación y/o desecación, así como la depredación por aves y ratones, entre otras, ya que se ha demostrado que en las zonas perturbadas y claros de bosque, aumenta la mortandad por las razones expuestas (Calvert y Brower, 1986; Calvert *et al.*, 1986; Glendinning *et al.*, 1988; Montesinos-Patiño, 1996; Rendón-Salinas 1997; Brower, 1997).

1.1.3 Hidrología y Geología

En el Programa de Manejo de la Reserva realizado por la SEMARNAT, (2001) se señala que ésta es un área importante de captación pluvial y zonas de recarga de acuíferos debido a factores como la altitud, que va de los 2400 a 3600m, suelos permeables, pendientes pronunciadas y relieve accidentado. De acuerdo con la dirección de los principales escurrimientos, la Reserva se ubica en la vertiente del Pacífico, en la porción norte de la región hidrológica *Lerma-Santiago* en el 41.75 % de su superficie y en la porción sur de la región hidrológica del *Balsas*, que ocupa el 58.25 % de la Reserva.

Uno de los aspectos fundamentales de la dinámica de las unidades ambientales en las que hiberna la mariposa monarca, es la recarga de los mantos acuíferos; dada la gran cantidad de manantiales que se origina, en la región Lerma se observan ocho de gran magnitud y en la del Balsas 15, la riqueza hídrica generada en estas elevaciones alimenta un total de 23

manantiales, 8 presas en ambos estados y numerosos cuerpos de agua que abastecen a los centros urbanos y localidades de la región (SEMARNAT, 2001).

1.1.4 Problemática Socio-Ambiental

Los núcleos urbanos más importantes de la zona en estudio son las cabeceras municipales de Angangueo, (*Sierra Chincua*); Ocampo, (*El Rosario*); y Donato Guerra y Villa de Allende, (*Cerro Pelón*). La población que reside dentro de la zona es principalmente rural, también existe la comunidad *mazahua* de San Juan Soconusco, en Donato Guerra. La propiedad de la tierra en los sitios estudiados es ejidal, aunque parte de la Sierra Chincua es propiedad federal; y en Cerro Pelón también existe la propiedad comunal.

La economía regional anteriormente basada en la minería y desarrollo forestal, en la actualidad se caracteriza por la insuficiencia de empleos que resulta en la migración temporal de sus habitantes. El analfabetismo es alto. Los servicios se concentran en las cabeceras municipales, y muchas rancherías no cuentan con suministro de energía eléctrica, el agua es entubada por medio de tomas comunes o piletas, y se utiliza leña como combustible principal. Las actividades económicas que predominan son la agricultura; la cría de ganado para autoconsumo; el aprovechamiento forestal de pino (*Pinus spp.*), oyamel (*Abies religiosa*), cedro blanco (*Cupressus spp.*), enebro (*Juniperus spp.*) y encino (*Quercus spp.*), para la producción de madera, leña y muebles; el mantenimiento de viveros para la producción de plantas de ornato, reforestación forestal y/o frutales; el uso tradicional de flora y fauna silvestres; y el turismo que beneficia a mucha gente durante la época de hibernación (Galindo-Leal y Rendón-Salinas, 2005).

En lo que se refiere a la infraestructura, ésta sólo está presente en dos sitios: en la Sierra Chincua se localiza el Centro de Investigación para la Monarca, y en el Cerro El Campanario, que cuenta con instalaciones de utilidad para el servicio turístico.

En el Programa de Manejo realizado por la SEMARNAT (2001) se identificaron cinco problemas sociales que tienen que ver con el deterioro de los recursos naturales: 1) la marginalidad y pobreza de la población de la región; 2) la fuerte presión que se ejerce hacia

los recursos naturales, relacionada con el problema anterior y con la alta densidad de población; 3) el estancamiento de la economía regional y particular de la producción de alimentos y bienes de consumo; 4) la necesidad de una mayor coordinación interinstitucional y 5) la carencia de participación de la población local en la toma de decisiones y gestión para la conservación y el desarrollo sustentable.

Los principales factores que afectan a los bosques de la región de la Monarca son: la tala clandestina (por agentes externos o por las propias comunidades); los aprovechamientos forestales legales mal llevados; los incendios forestales y la conversión del bosque a usos agrícolas. Menos evidentes pero igualmente importantes son la extracción de musgo y hongos, así como el pastoreo por borregos y vacas. Estas actividades afectan la composición del bosque, es decir, provocan que algunas especies de arbustos y hierbas aumenten y otras disminuyan, y en algunos casos, estos cambios pueden afectar la regeneración de las especies de árboles. El impacto del turismo mal planeado en algunos de los santuarios, cada vez es más notorio, pues la utilización desmedida de caballos y la falta de delimitación de senderos únicos están deteriorando el bosque, causando erosión (Snook, 1993; Galindo-Leal y Rendón-Salinas, 2005)

1.2 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta que consiste en la integración organizada de sistemas informáticos, datos geográficos y personal, diseñados para procesar la captura, almacenamiento, administración, manipulación, transformación, análisis, modelamiento y graficación de la información que tiene referencia en el espacio, cuya finalidad es la resolución de problemas complejos de planificación y gestión, en áreas de las ciencias sociales, naturales y de administración (<http://www.eclac.cl/esalc/>).

Los SIG permiten representar y localizar espacialmente estadísticas e indicadores, estudiar su evolución; localizar zonas vulnerables o sujetas a riesgos ocasionados por fenómenos naturales o de carácter antrópico, realizar evaluaciones de los sistemas de estudio, contribuyendo a su integración, debido a la capacidad sintetizadora de la información.

1.2.1 Modelos de datos espaciales para los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica proveen métodos para representar los datos espaciales que permiten el uso de modelos conceptuales. Hay dos amplias categorías de modelos de datos espaciales que se encuentran en la paquetería de SIG, estos son el modelo vectorial y el raster.

El modelo vectorial representa los fenómenos en términos de geometrías espaciales simples, consistentes de puntos, líneas, superficies y volúmenes, expresados en términos de coordenadas; de tal forma que la localización de un punto es descrita por coordenadas en dos o tres dimensiones (X , Y , y/o Z), una línea se define como una secuencia ordenada de dos o más coordenadas de puntos; y el polígono consiste en una sucesión de líneas que se cierran (Jones, 1999).

El modelo raster o grid representa el espacio como una teselación regular de celdas o píxeles, cada una de las cuales es asociada con un registro de la clasificación o identidad del fenómeno que ésta ocupa, el cual puede tomar un valor entero (variables discretas), un valor real (variables continuas), o bien, puede haber celdas con valor nulo o desconocido. En este modelo, el punto es representado mediante una celda; la línea, como una sucesión de celdas alineadas; y el polígono, como una agrupación de celdas contiguas (Jones, 1999).

1.2.2 Modelo Digital de Elevaciones

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es entendido como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información de un MDE es un valor de elevación z , al que acompañan los valores correspondientes de x e y , que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una referenciación espacial precisa. (Felicísimo, 1999). El valor z , que representa la altura, es interpolado por medio de sus valores x e y ; por lo que resultan una herramienta para la obtención de datos espaciales como: mapas de pendientes, de la incidencia de radiación solar y de sombras

Los MDE se dividen en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster.

El modelo raster es de construcción relativamente sencilla; en donde los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada y resultan al superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda o asociar un valor puntual de altura para el centro de la celda. Las matrices de altitud suelen provenir de la interpolación de modelos previos de contornos o por métodos fotogramétricos o radarmétricos.

Una de sus ventajas es que acepta datos directamente de matrices digitales de altitud, pero en el caso de utilizar una base de datos irregular, ésta es remuestreada, lo que provoca distorsión en la calidad de los datos originales. A pesar de eso, el raster es ampliamente utilizado por dos razones: una, es que requieren de rutinas matemáticas menos complejas y menor número de algoritmos para su procesamiento que los TIN; otra, es que las columnas de datos pueden ser capturadas rápidamente. Los modelos raster son apropiados para manipular datos adquiridos por técnicas de percepción remota y fotogrametría digital.

Una Red de Triangulación Irregular (TIN, por sus siglas en inglés), es un modelo vectorial hecho de nodos distribuidos irregularmente y de líneas cuyas coordenadas están en tres dimensiones, x , y y z ; representado como un conjunto de triángulos irregulares adosados que se conectan con los puntos originales y se unen sobre el terreno para formar un mosaico que se adapta a la superficie con diferentes grados de detalle, en función de la complejidad del relieve; y el cual trabaja localizando valores de altura de una manera aleatoria. Los vértices de los triángulos son formados por cada punto de altura, y la altura de cualquier punto dentro de un triángulo está determinada por interpolación.

A este método se pueden adaptar los regímenes de muestreo irregular, por lo que no solo la densidad de puntos de datos puede ser variada de manera irregular, de acuerdo a la variación del relieve, sino que también puede incorporar líneas de ruptura dentro del régimen de muestreo. Así, en un modelo TIN se puede incorporar líneas de ruptura, e información de valores únicos, como cimas de montañas o depresiones en el relieve.

Presenta tres ventajas sobre el raster: aceptación de formas de líneas de ruptura, variación aleatoria, tanto en su número como en su localización, de puntos de datos para la construcción del modelo. Y reducción del volumen de datos requeridos. Naturalmente, este modelo presenta distorsión, pero su máximo significativo se representa en el proceso computacional, debido a la complejidad de las operaciones matemáticas requeridas para la construcción de dicho modelo.

En un MDE la interpolación sirve para proponer valores de elevación, a partir de la estimación en regiones donde no existen datos. Es utilizada para el cálculo de elevaciones z a partir de la localización de un punto único, o bien, a partir de una malla rectangular de puntos de muestreo original; así como para el cálculo de localizaciones de x , y a partir de puntos a lo largo de contornos y densificación de mallas rectangulares, también llamadas remuestreo.

La forma más común para clasificar los modelos de interpolación, es la basada en los rangos de influencia de los puntos de datos involucrados, que se compone de dos categorías: global o local. El método global consiste en que todos los puntos de muestra son tomados en cuenta para la interpolación, aun en áreas donde su valor es desconocido; mientras que en el método local, solo se consideran los datos más cercanos, asumiendo un efecto de autocorrelación.

1.3 Planteamiento del problema

Los sitios de hibernación de mariposa monarca (*Danaus plexippus plexippus* L.) en los bosques de oyamel en los Estados de México y Michoacán, fueron descubiertos en 1975 (Urquhart y Urquhart, 1976). A partir de 1980 se realizaron decretos para su protección, bajo un enfoque conservacionista, esto es, excluyente de cualquier actividad de aprovechamiento o manejo, debido a que diversos estudios demostraron la importancia del microclima para el bienestar de la mariposa (Hoth, 1995).

Tanto al interior de la Reserva, como fuera de ella, se han reportado 22 sitios de hibernación, de los cuales 12 se consideran permanentes estacionalmente, cinco dentro de la reserva y siete en sus alrededores (García-Serrano *et al.*, 2004). Sin embargo, los reportes acerca de la distribución de las colonias en esos sitios, conforme avanza la temporada invernal, son limitados.

Actualmente, la principal causa de deterioro de los bosques de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, es la tala ilegal (Galindo-Leal y Rendón-Salinas, 2005; WWF, 2004), documentándose la pérdida y deterioro de 8.83% de la cobertura forestal de la zona núcleo en cinco años (2001-2006), (WWF, 2006).

Los santuarios de El Rosario, Cerro Prieto y Cerro Pelón son los únicos abiertos al público de manera oficial y se enfrentan a los factores de degradación propios de toda la Reserva (tala, incendios forestales, plagas, degradación de suelo y pérdida de biodiversidad) a los que se suma el turismo desordenado; por tal razón, resulta necesario realizar estudios que puedan contribuir al mejoramiento en la gestión de la Reserva, y por consiguiente, a la protección de los sitios que ocupa la monarca durante el invierno.

1.4 Objetivos.

El objetivo general de este estudio es realizar la zonificación de los sitios ocupados por colonias de mariposa monarca en: El Rosario, Sierra Chincua y Cerro Pelón, durante la temporada 2006-2007.

Los objetivos particulares derivados del anterior, son los siguientes:

- Conocer la distribución espacial y dinámica de las colonias de mariposa monarca en los santuarios de El Rosario, Sierra Chincua y Cerro Pelón, durante la temporada de hibernación 2006-2007.
- Caracterizar ecogeográficamente los sitios de hibernación ocupados por colonias de mariposa monarca en la temporada 2006-2007.

1.5 Justificación

Las mariposas monarca que hibernan en México, ocupan casi los mismos árboles cada año, en espacios muy reducidos (800m²) de los bosques de oyamel que están bajo protección, (Calvert y Brower, 1986), sin embargo, la tasa anual de deforestación en la zona núcleo es de alrededor del 3.07% desde el año 2003 hasta el 2007 (López-García, en preparación) y por ello resulta conveniente la realización de estudios acerca de la distribución de las colonias de mariposa monarca dentro de los santuarios a lo largo de la temporada de hibernación, de forma que permitan contribuir al mejoramiento en la gestión de las zonas en pequeña escala (santuario - zona de ocupación de la mariposa monarca). Lo cual beneficiaría tanto a las autoridades encargadas de la protección del lugar, como a la gente que vive ahí, pues las actividades de turismo, pastoreo y aprovechamiento forestal llevados a cabo en la zona, se realizarían en función de lo que arrojen dichos estudios.

Los sitios de estudio fueron elegidos, porque han sido reportados como permanentes estacionalmente, son los que poseen las colonias más grandes, y llevan a cabo actividades turísticas, por lo que resulta beneficioso el conocimiento de las características que imperan en la zona de hibernación, así como su distribución dentro de la zona.

2. MÉTODO

El presente trabajo se llevó a cabo en tres fases. La primera de ellas consta de las actividades que se realizaron antes de visitar el sitio de estudio; la segunda fase constituye el trabajo en campo, y la tercera fase el trabajo de gabinete, en el cual se llevó a cabo el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en las dos primeras fases.

2.1 Primera fase

Se recopiló y analizó la información relacionada con el tema en estudio, mediante la consulta de material bibliográfico, hemerográfico, cartográfico y de Internet. Se ubicaron en la cartografía los registros históricos de las colonias de mariposa monarca reportados en literatura, utilizando los archivos shape file (shp.) de las cartas E14A26 y E14A36 de INEGI. Así mismo, fueron ubicados en fotografías aéreas digitales con píxeles de 40cm del año 2006, impresas a escala 1:10,000 con el objeto de realizar un análisis estereoscópico por fotointerpretación, también se manejaron en formato digital, las cuales se referenciaron geográficamente con base en ortofotos del año 2001.

Dentro de la Reserva se localizan 7 santuarios, pero para la temporada 2006-2007, en Lomas de Aparicio y Chivati-Huacal se presentaron fuertes problemas de tala e inseguridad; mientras que los santuarios de Cerro Altamirano y La Mesa no son permanentes estacionalmente y aunque presentaron colonias, estas fueron muy pequeñas, de 0.09 ha y 0.61 ha respectivamente (Rendón-Salinas *et al.*, 2007), por lo que se decidió excluirlas del trabajo, contemplando únicamente los santuarios con colonias permanentes estacionalmente, con superficies mayores o iguales a una hectárea y abiertos al turismo de manera oficial, razón por la cual se eligieron Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón.

Para realizar la caracterización de las zonas que ocuparon las colonias de hibernación, se obtuvieron mapas temáticos digitales de tipo de suelo, geología, geomorfología, tipo de vegetación y cobertura forestal de la zona (López-García, en preparación), y se realizó un Modelo Digital de Elevaciones y un mapa de pendientes de la zona de estudio en ArcGIS 9.2.

El mapa de cobertura forestal utilizado toma en cuenta las 6 categorías de calidad de la cobertura arbórea propuestas por WWF (2004). (Cuadro 1)

Cuadro 1. Categorías de cobertura forestal consideradas en el mapa utilizado.

Clave	Grado de conservación	Cobertura forestal
1	Cerrado	> 80%
2	Semicerrado	55 – 79%
3	Semiabierto	35 – 54 %
4	Abierto	6 – 34%
5	Muy abierto	< 5%
6	Deforestado	0%

El mapa edafológico fue realizado por López- García (en preparación) utilizando la clasificación de suelos de la FAO-UNESCO (1974); el mapa geológico fue obtenido del Instituto de Recursos No Renovables, y el mapa geomorfológico fue elaborado por Ortiz-Pérez (2000).

El Modelo Digital de Elevaciones, se obtuvo mediante la interpolación de las curvas de nivel digitalizadas cada 20 metros de los mapas topográficos E14A26 y E14A36 de INEGI, y para lo cual se generó un modelo TIN en el programa ArcGis 9.2, con el propósito de identificar la altitud y orientación de laderas en las que se ubicaron las colonias. A partir del TIN se generó un Modelo Digital de Pendientes, con el propósito de conocer la pendiente del terreno ocupado por las colonias de hibernación de mariposa monarca.

2.2 Segunda fase (trabajo de campo)

El trabajo de campo consistió en visitas periódicas a los sitios de hibernación de mariposa monarca entre los meses noviembre y marzo, realizándose un total de 24 visitas a la zona (Cuadro 2), las cuales se llevaron a cabo en compañía del equipo de monitoreo que realizan la Reserva y WWF, en cada una de ellas se realizaron recorridos en busca de las colonias de hibernación.

La zonificación de las áreas de hibernación de la mariposa monarca se realizó mediante la medición de la superficie de ocupación forestal de cada colonia y el registro de coordenadas de la misma, lo que facilitó su ubicación en mapas topográficos y en fotografías aéreas de la zona.

Cuadro 2. Fecha de las visitas realizadas a la zona de estudio

Santuario	Localidad	Fecha de visita
Sierra Campanario	Ejido El Rosario, Estado de Michoacán	21-noviembre-2006 18-diciembre-2006 8-enero-2007 24-enero-2007 7-febrero-2007 21-febrero-2007 7-marzo-2007 21-marzo-2007
Sierra Chincua	Ejido Cerro Prieto, Propiedad Federal y Estatal, Estado de Michoacán	22-noviembre-2006 19-diciembre-2006 10-enero-2007 26-enero-2007 9-febrero-2007 23-febrero-2007 9-marzo-2007 23-marzo-2007
Cerro Pelón	Ejido El Capulín, Comunidad de San Juan Soconusco, Estado de México	3-diciembre-2006 17-diciembre-2006 9-enero-2007 25-enero-2007 8-febrero-2007 22-febrero-2007 8-marzo-2007 22-marzo-2007

Fuente: Modificado del calendario de monitoreo de la Reserva y WWF.

La medición de superficie forestal, se llevó a cabo de acuerdo al método utilizado por Rendón-Salinas y Galindo-Leal (2004) que consiste en medir el perímetro de la colonia marcando árboles periféricos ocupados por mariposas como vértices de una poligonal, comenzando con un árbol en la parte superior de la colonia (como vértice inicial); determinando el azimuth con respecto al Norte, hacia otro árbol periférico de la colonia (con ayuda de una brújula); tomar la distancia entre los dos árboles con cinta topográfica y marcar con cinta el segundo árbol; y así sucesivamente hasta llegar al punto de origen (Figura 5). Este método fue complementado con la toma de coordenadas en proyección

UTM, con el datum WGS84, con el propósito de georeferenciar el contorno de la colonia, utilizando un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin, modelo 60Cx, que permite dar lecturas bajo el dosel del bosque, permitiendo establecer con exactitud la georeferencia del contorno de las colonias.

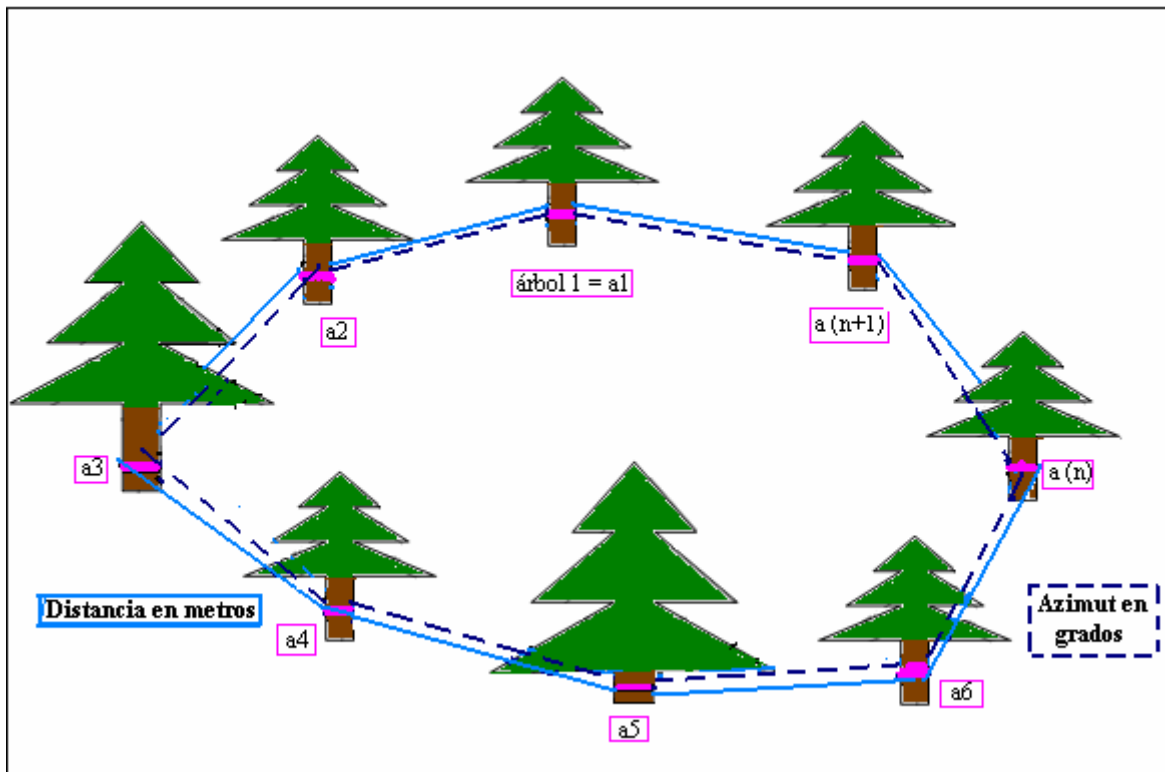


Figura 5. Medición de superficie de bosque ocupada por colonias de mariposa monarca, tomando la distancia y el azimut entre un árbol y otro.

Durante el recorrido a través del perímetro de las colonias se llevaron a cabo observaciones cualitativas acerca del estado de conservación del bosque, el tipo de vegetación, características de los suelos, formas del relieve, presencia de afloramientos rocosos y tipo de rocas, con el propósito de corroborar la información proporcionada por la cartografía y de ese modo facilitar y autenticar los datos utilizados en la caracterización de los sitios ocupados por las colonias de mariposa monarca.

2.3 Tercera fase (trabajo de gabinete)

Los polígonos de las colonias de hibernación obtenidos en campo mediante la medición de superficie para cada santuario y para cada fecha se digitalizaron en AutoDesk Map 2004 y se exportaron a ArcGIS 9.2, obteniendo así un mapa de la localización de colonias de hibernación durante la temporada 2006-2007, en el que se visualizó perfectamente la distribución de las colonias a lo largo de la temporada y las zonas que ocuparon éstas.

A partir de la información proporcionada por los mapas digitales y el Modelo Digital de Elevaciones, se sobrepusieron capas, obteniendo la caracterización de las zonas de ocupación de las colonias de hibernación de mariposa monarca, para la cual se tomaron en cuenta las siguientes variables: superficie en hectáreas, altitud, pendiente, orientación de laderas, tipo de suelo, litología, geomorfología, tipo de vegetación y densidad de cobertura forestal, dando como resultado una tabla de atributos con las características mencionadas, a partir de la cual se obtuvieron gráficos.

Para la comparación entre los sitios se realizaron pruebas de homogeneidad de χ^2 para las variables de orientación de laderas y cobertura forestal de cada sitio. Se realizaron análisis de varianza de un factor y las pruebas de significancia de Tukey y Fisher (Zar, 1984) para las variables de altitud, pendiente, superficie de ocupación forestal y número de colonias, utilizando el paquete estadístico XLSTAT 2007.

3. RESULTADOS

3.1 Zonificación y caracterización de áreas de hibernación

El análisis realizado en tres zonas de hibernación en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca arrojó en la temporada 2006-2007 un registro de 90 colonias que ocuparon una extensión de 28.1ha. Las altitudes oscilan entre los 2660 hasta los 3355m y las pendientes tienen un rango de variación muy amplio de 9 a 53°. En las tres zonas, las colonias se localizaron en laderas de orientación Sureste y Suroeste en un 83%, en bosques de coberturas cerradas principalmente, ocupando también coberturas semicerradas, semiabiertas y abiertas, compuestos por *Abies*, *Pinus*, *Quercus* y *Cupressus*; sobre andesitas pseudoestratificadas que generalmente afloran en los sitios donde se ubican las colonias y sobre asociaciones de suelos Andosol – Luvisol – Phaeozem – Acrisol. La geomorfología estuvo representada por el sistema montañoso denudatorio de interfluvios cumbresales, el sistema montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial, laderas de valles intermontanos y laderas altas de interfluvios con aristas encadenadas y cimas agudas.

3.1.1 Sierra Chincua

En el análisis de Sierra Chincua, a lo largo de la temporada de hibernación 2006-2007, se registraron 27 colonias distribuidas en una superficie total de 8.48ha de bosque y un promedio de 1.21ha.

La distribución de las colonias que se establecieron en Sierra Chincua durante la temporada 2006-2007 se dio de la siguiente manera: en el mes de noviembre se formaron tres colonias en las partes más altas, para el mes de diciembre, dos de las colonias formadas en noviembre desaparecieron y se agruparon cerca de donde estaba la tercera colonia, hacia la primera mitad de febrero seguían ocupando la parte alta e iban descendiendo hacia la cañada, mientras que durante la segunda mitad de febrero y marzo, se formaron colonias pequeñas en la cañada alrededor de un arroyo (Figura 6). Por lo que la zona que ocupan las

mariposas comprende la parte alta de las montañas y las cañadas por las que descienden a medida que avanza la temporada.

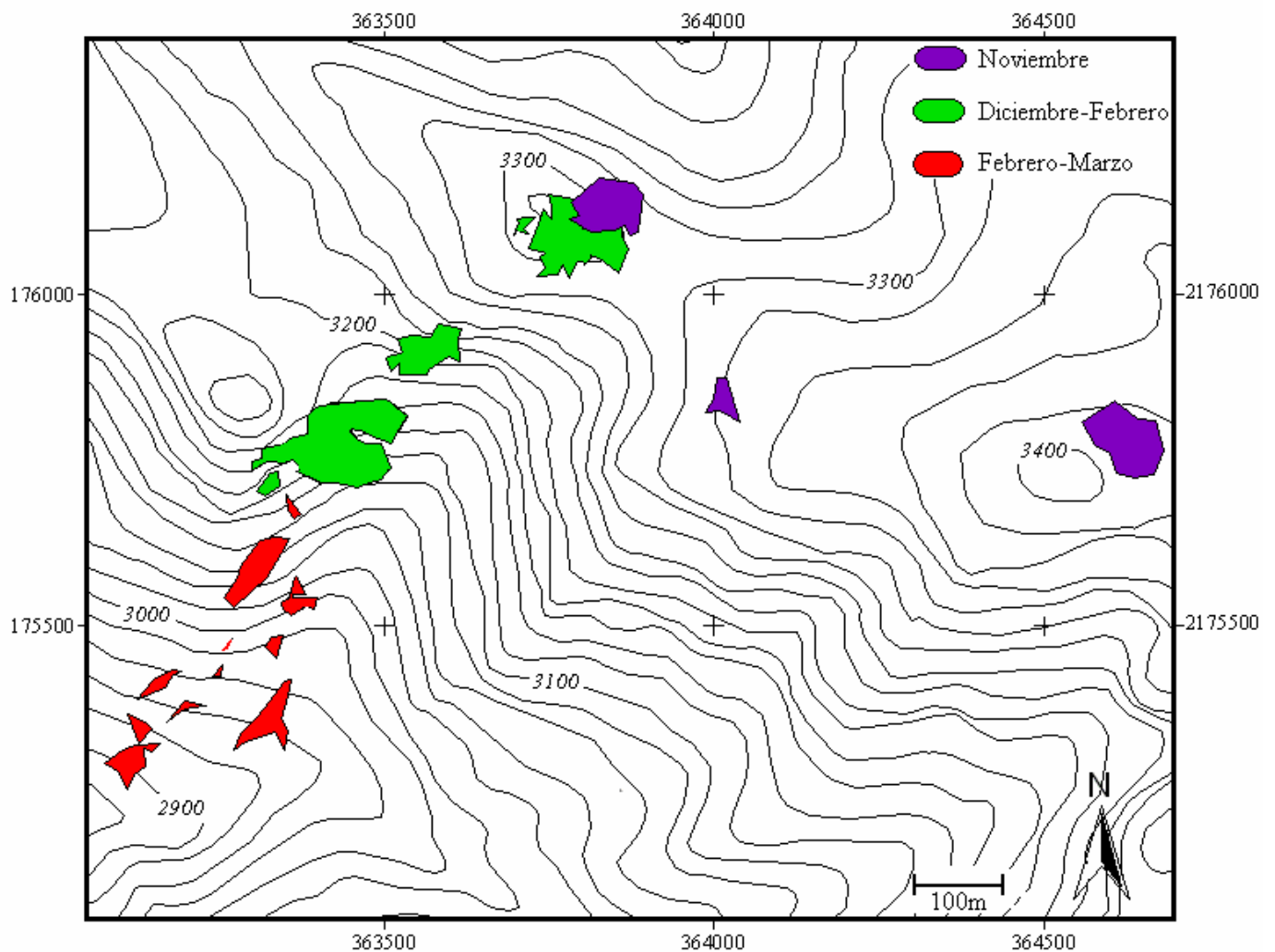


Figura 6. Mapa de distribución de las colonias de hibernación localizadas en Sierra Chincua en la temporada 2006-2007.

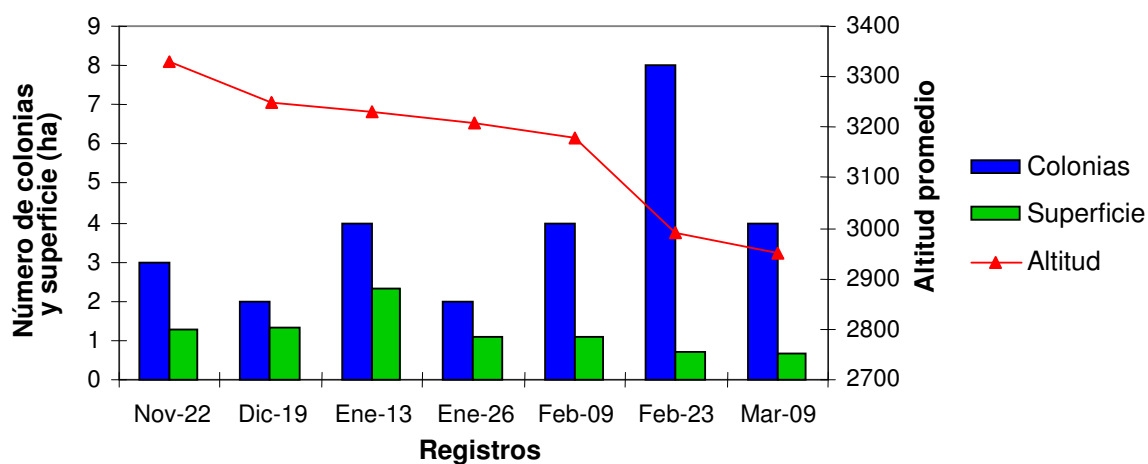
Las colonias que se establecen durante noviembre y diciembre, ocuparon una superficie de 1.3ha con muy poca actividad y en altitudes de 3230- 3270m; para principios de enero, aumenta a 4 colonias y casi se duplica la superficie de ocupación a 2.31 ha; a finales de enero se reduce el número de colonias a 2 y la superficie también se reduce en un 46%, ocupando 1.08ha, este comportamiento es explicado por un posible aumento en la temperatura a principios de enero que favoreció la dispersión de las mariposas y la formación de varias colonias; mientras que el descenso de la misma a finales del mes, se produjo por una nevada en la zona, y originó su agrupación en una superficie pequeña, y en

un menor número de colonias; para principios de febrero, las colonias de mariposas se fragmentaron en 4, manteniendo la superficie aproximada de 1 ha; a finales de febrero y principios de marzo, esta superficie se reduce y la colonia se fragmenta, formando 8 y 4 colonias respectivamente, lo que se explica por una amplia dispersión de las mariposas lo que coincide con el comienzo de la actividad reproductiva y la reemigración al Norte (Cuadro 3 y Gráfica 1).

Cuadro 3. Datos tomados durante las visitas realizadas a Sierra Chincua, temporada 2006-2007.

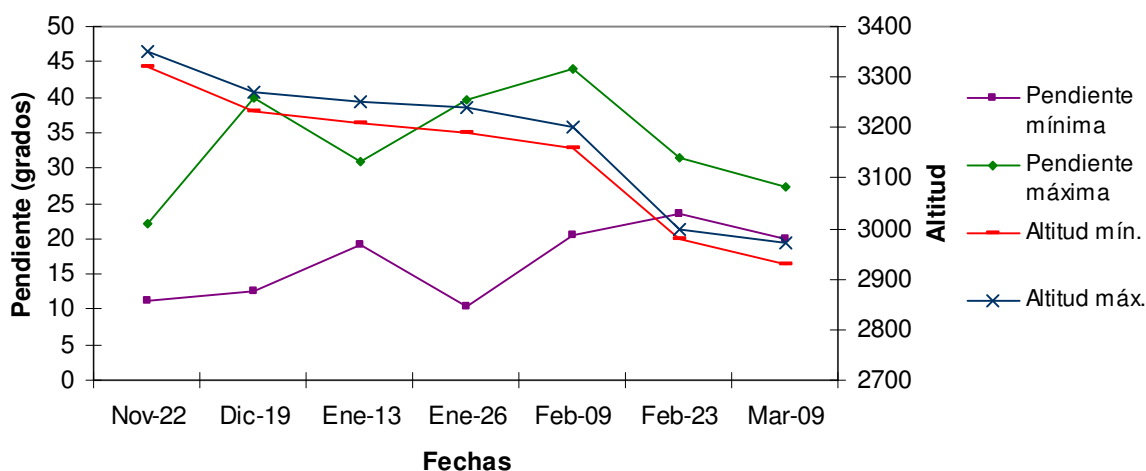
Fecha	Número de colonias	Superficie forestal (ha)	Altitud mínima promedio	Altitud máxima promedio	Pendiente mínima promedio	Pendiente máxima promedio
Nov-22	3	1.28	3320	3350	11	22
Dic-19	2	1.34	3230	3270	13	40
Ene-13	4	2.31	3210	3250	19	31
Ene-26	2	1.07	3190	3240	11	40
Feb-09	4	1.08	3160	3200	21	44
Feb-23	8	0.72	2980	3000	24	31
Mar-09	4	0.68	2930	2970	20	27
Promedio	3.9	1.21	3146	3183	17	34

Gráfica 1. Superficie, altitud y número de colonias de hibernación de mariposa monarca en Sierra Chincua, 2006-2007



La altitud de los sitios ocupados por colonias, desciende paulatinamente a lo largo de la temporada desde los 3350 a los 2930m, en contraposición a la pendiente, cuyo rango va de 17 a 34° en promedio para toda la temporada, y el cual resulta relativamente amplio (13-40°) al establecimiento de las colonias, en diciembre, reduciéndose en 44% (20-30°) a principios de enero; y ampliándose nuevamente a finales del mismo mes (11- 40°), manteniéndose así hasta febrero-9 y se reduce nuevamente a finales de febrero y principios de marzo (Cuadro 3 y Gráfica 2).

Gráfica 2. Pendiente y altitud promedio de los sitios con colonias de hibernación en Sierra Chincua, 2006-2007

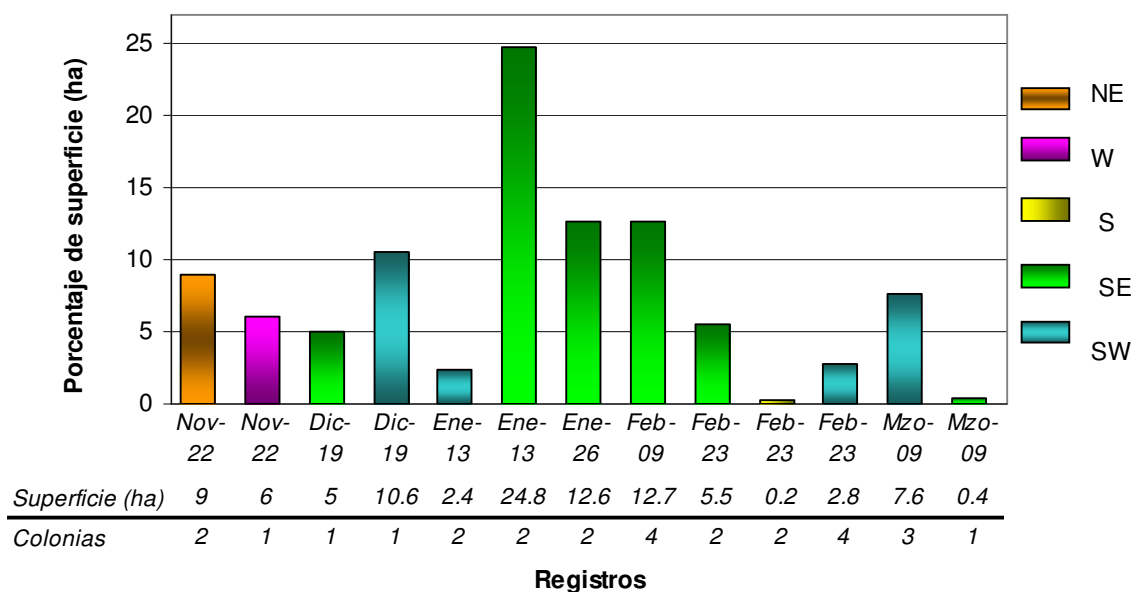


Las laderas ocupadas por colonias de hibernación de mariposa monarca durante la temporada en estudio, se caracterizaron por poseer la orientación Sureste, con 12 colonias y el 61% de su superficie; seguida de la orientación Suroeste (SW), con 10 colonias y el 23.5% de superficie de ocupación forestal, mientras que las laderas con orientación Noreste tuvieron 2 colonias y ocuparon el 9% de la superficie, la orientación Oeste con 1 colonia, y 6% de superficie y la orientación Sur, con 2 colonias y 0.2% de la superficie. (Cuadro 4). Las laderas Noreste y Oeste fueron ocupadas en noviembre por colonias de hibernación; para diciembre y principios de enero éstas ocuparon laderas con orientación Suroeste y Sureste, manteniéndose en esta última hasta finales de febrero, fecha en que las colonias aumentaron su número y se dispersaron ocupando laderas Sur y Suroeste; para principios de marzo, las mariposas que quedaban se ubicaron en laderas Sureste y Suroeste (Gráfica 3).

Cuadro 4. Colonias y superficie ocupada por ladera en Sierra Chincua, 2006-2007.

Orientación de laderas	% Superficie (ha)	Número de colonias
NE	9	2
S	0.2	2
SE	61.2	12
SW	23.5	10
W	6.1	1

Gráfica 3. Superficie de ocupación forestal y cantidad de colonias por laderas en Sierra Chincua, durante la temporada 2006-2007



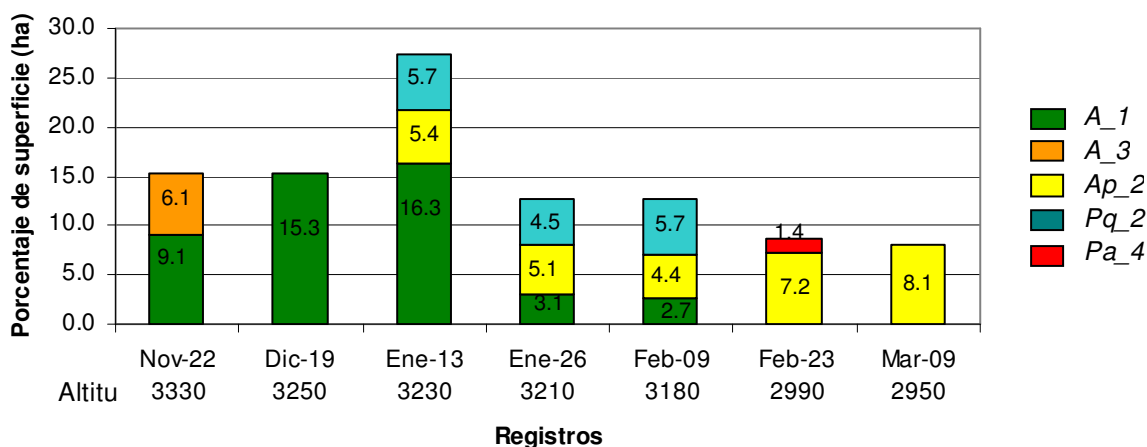
La mayor parte de la superficie forestal ocupada por colonias de mariposa monarca a lo largo de la temporada 2006-2007 estuvo dominada por bosque de *Abies* con 52.6% de la superficie (donde el 6.1% corresponde a la cobertura semiabierto y el resto a la cobertura cerrada) seguida del bosque de *Abies-Pinus* semicerrado con el 30.2% de la superficie total y de *Pinus-Quercus* semicerrado con el 15.8%, mientras que las colonias localizadas en el bosque abierto de *Pinus-Abies* ocuparon el 1.4% de la superficie (Cuadro 5).

Cuadro 5. Superficie de colonias por tipo de vegetación y cobertura en Sierra Chincua, 2006-2007.

Clave	Tipo de vegetación y cobertura	Superficie (ha) %
A_1	<i>Abies</i> cerrada	46.5
A_3	<i>Abies</i> semiabierta	6.1
Ap_2	<i>Abies-Pinus</i> semicerrada	30.2
Pq_2	<i>Pinus-Quercus</i> semicerrada	15.8
Pa_4	<i>Pinus-Abies</i> abierta	1.4

El bosque de *Abies*, fue ocupado por las colonias de hibernación desde su llegada hasta principios de febrero, a una altitud de 3180- 3330m; de enero a principios de febrero las colonias ocupan bosques de *Abies* cerrado, *Abies-Pinus* y *Pinus-Quercus* semicerrados, para finales de febrero se encuentran en *Abies-Pinus* semicerrado y *Pinus-Abies* abierto, reduciendo la altitud en un 6% a 2990m; a principios de marzo cuando se preparan para reemigrar, todas las colonias se localizan en *Abies-Pinus* semicerrado y en las altitudes más bajas, de 2950m (Gráfica 4).

Gráfica 4. Tipo de vegetación y cobertura por superficie de ocupación y altitud en Sierra Chincua, 2006-2007



La geología de los sitios en los que se ubicaron las colonias de hibernación durante la temporada 2006-07, está representada por andesitas pseudoestratificadas, que se manifiestan por afloramientos rocosos en toda la zona de hibernación, mientras que los suelos están representados por andosoles (húmico y ócrico), luvisol órtico y phaeozem

háplico; por otro lado, la geomorfología esta representada por un sistema montañoso denudatorio de interfluvios cumbrales, donde se estableció de noviembre a principios de febrero; cambiando a escarpes y montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial a finales de febrero y hasta su reemigración al Norte.

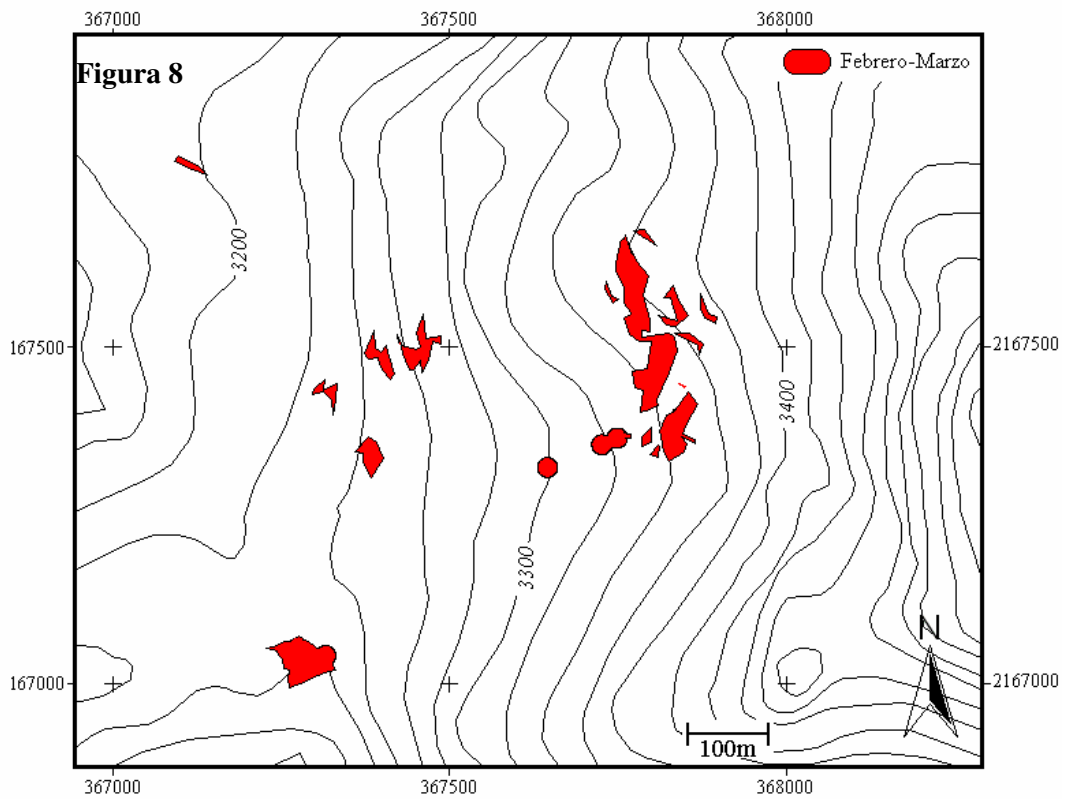
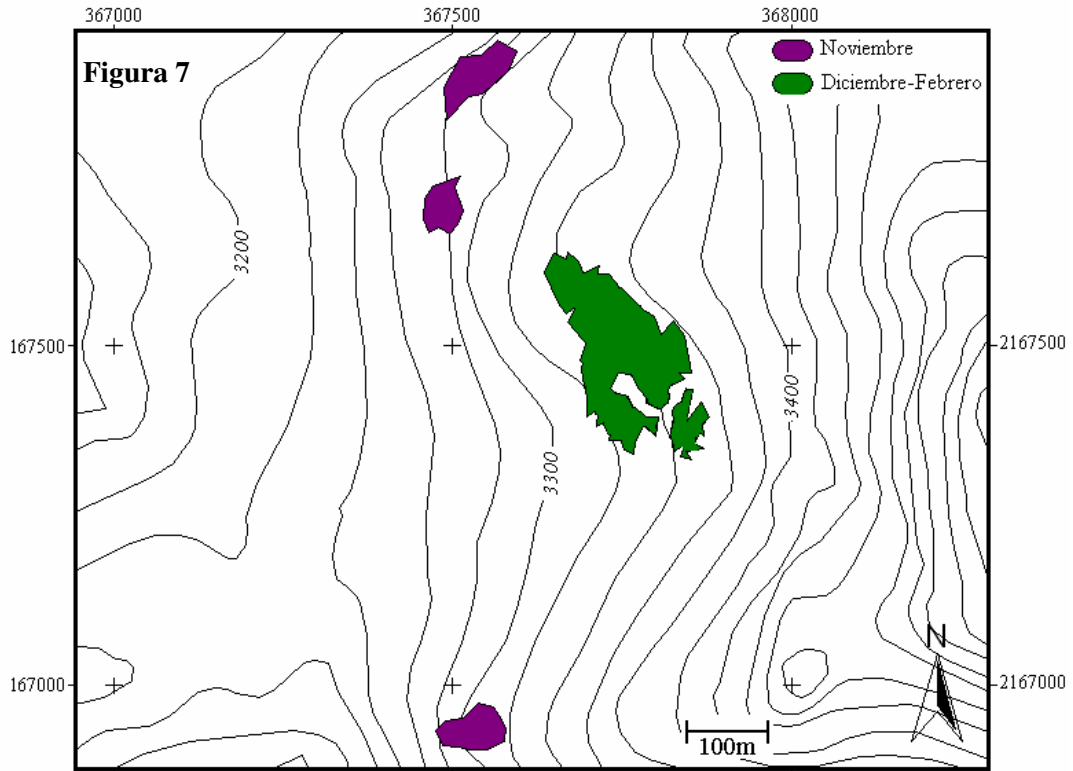
El Rosario

En el análisis de El Rosario, a lo largo de la temporada de hibernación 2006-07, se registraron 37 colonias distribuidas en una superficie total de 13.8ha de bosque y un promedio de 1.7ha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Datos tomados en cada visita realizada a El Rosario, temporada 2006-2007.

Fecha	Número de colonias	Superficie forestal (ha)	Altitud mínima promedio	Altitud máxima promedio	Pendiente mínima promedio	Pendiente máxima promedio
Nov-21	3	2.3	3270	3300	15	29
Dic-18	2	2.5	3330	3355	12	15
Ene-11	2	2.1	3330	3360	12	15
Ene-24	2	1.9	3330	3350	12	14
Feb-07	4	2.2	3330	3350	12	14
Feb-21	14	1.4	3320	3330	11	15
Mar-07	5	1.1	3260	3270	9	17
Mar-21	5	0.3	3270	3275	11	13
Promedio	4.6	1.7	3305	3324	11	16

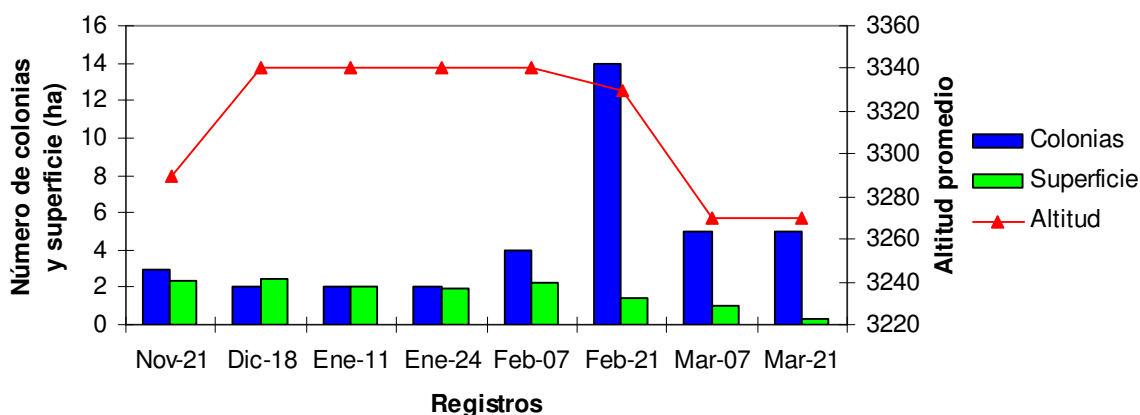
El movimiento de las colonias durante la temporada fue poco notable, salvo por que las tres colonias que se formaron en el mes de noviembre se distribuyeron muy separadas entre sí, confluyeron en otro sitio para el mes de diciembre, en donde permanecieron hasta la primera mitad de febrero; para finales de febrero y el mes de marzo, las colonias se fragmentaron, pero la mayoría permaneció en el mismo sitio, mientras que otras se desplazaron hacia el llano y el arroyo. (Figuras 7 y 8)



Figuras 7 y 8. Mapas de distribución de las colonias de hibernación en El Rosario durante la temporada 2006-2007.

Durante la temporada de hibernación, se establecieron 3 colonias en el mes de noviembre a una altitud promedio de 3285m y con una superficie de 2.3ha; durante diciembre y enero se redujo a 2 colonias y aumentó la altitud en un 2% a 3340m registrándose una ligera variación en la superficie de ocupación, que fue de 2.5ha en diciembre, 2.1ha a principios de enero, y 1.9ha a finales de este mes; para principios de febrero, la altitud promedio no cambió, pero se duplicó a 4 el número de colonias y la superficie de ocupación ascendió a 2.2ha; a finales de febrero se registraron 14 colonias que cubrían una superficie acumulada de 1.4 ha y una disminución en la altitud a 3325m en promedio; durante el mes de marzo hubo 5 colonias a una altitud de 3270m, al principio de mes con una superficie de 1.1ha y al final del mismo con una ocupación de 0.3ha (Cuadro 6 y Gráfica 5). Este aumento en el número de colonias acompañado de la disminución de la superficie de ocupación, que se presenta a finales del mes de febrero, coincide con el comienzo de los apareamientos, lo que provoca la dispersión de las mariposas que resulta en la formación de varias colonias muy pequeñas.

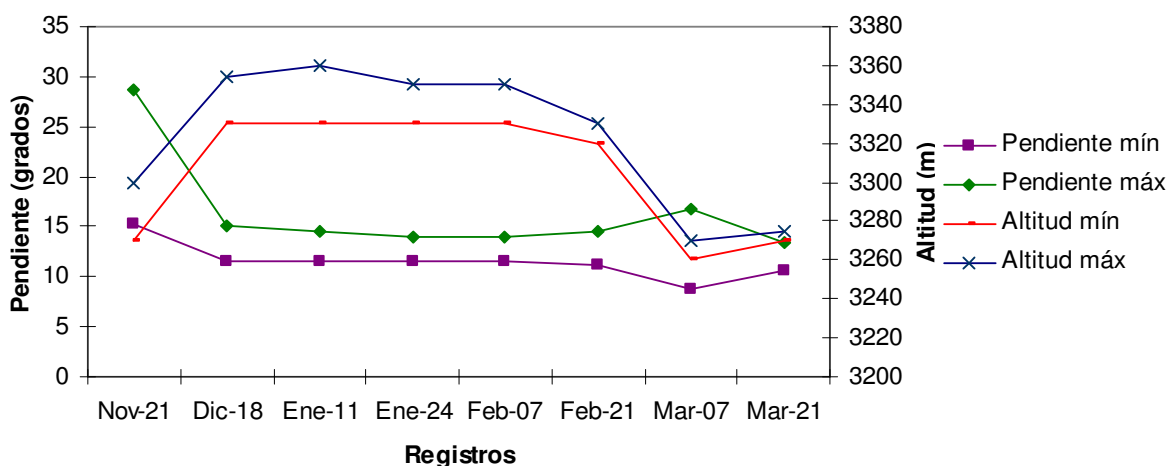
Gráfica 5. Superficie, altitud y número de colonias de hibernación de mariposa monarca en El Rosario, 2006-2007



La altitud de los sitios en los que se ubicaron las colonias de hibernación de mariposa monarca en El Rosario, fue de 3270 a 3300m para finales de noviembre, esta aumentó en un 2% a 3330-3355m para el mes de diciembre y se mantuvo así hasta principios de marzo, en donde bajó otro 2% a 3260-3270m manteniéndose así hasta finales del mes. En cuanto a la pendiente de los sitios ocupados por colonias de hibernación de

mariposa monarca, osciló entre los 11° y los 16° en promedio, ocupando un rango de pendiente de 15° a 29° en noviembre, mientras que a partir de diciembre permanece constante a 13° aproximadamente, hasta el fin de la temporada de hibernación (Gráfica 6)

Gráfica 6. Altitud y pendiente de los sitios ocupados por colonias de hibernación en El Rosario, 2006-2007



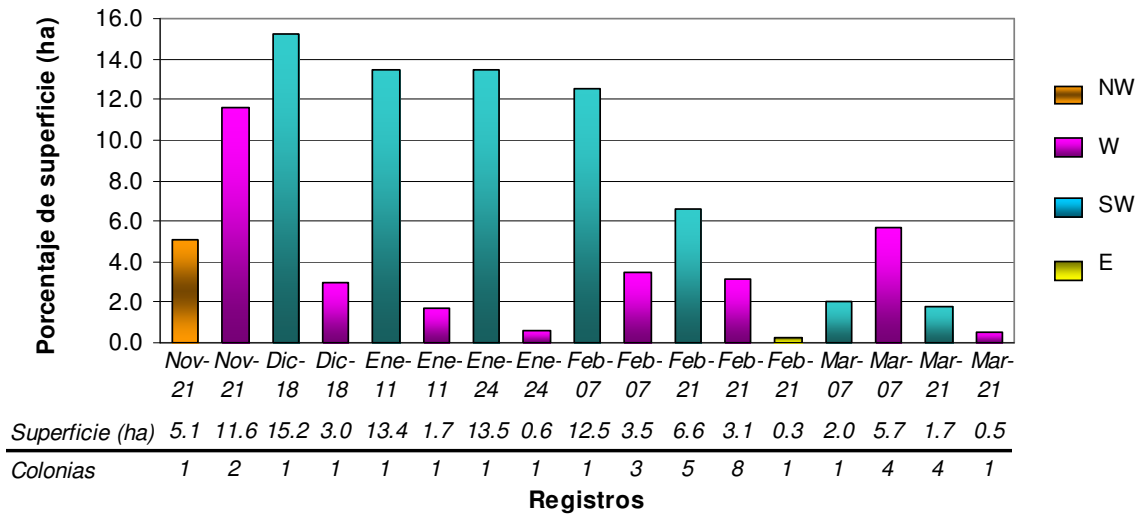
Las colonias de hibernación de mariposa monarca se ubicaron principalmente en laderas con orientación Suroeste con 14 colonias y el 65% de la superficie, seguidas de las laderas Oeste, en las que se localizaron 21 colonias que ocuparon 29.7% de superficie, mientras que en las laderas Noroeste y Este se presentó una colonia que ocupó el 5.1% y el 0.3% de la superficie respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Superficie en hectáreas y colonias por ladera en El Rosario, temporada 2006-2007.

Orientación de laderas	% Superficie (ha)	Número de colonias
W	29.7	21
SW	65	14
NW	5.1	1
E	0.3	1

Durante el mes de noviembre, las colonias de hibernación se localizaron en laderas con orientación Noroeste y Oeste, y el resto de la temporada las colonias se localizaron en laderas Oeste y Suroeste; una colonia se localizó en la ladera Este a finales de febrero.

Gráfica 7. Superficie de ocupación forestal y número de colonias por ladera en El Rosario, 2006-2007.

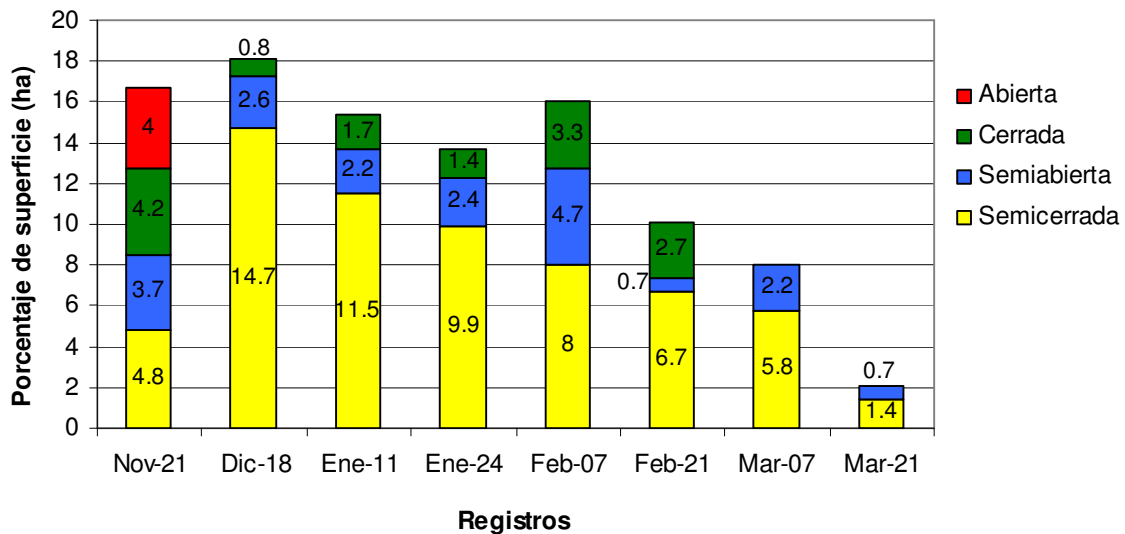


La vegetación de los sitios de hibernación de las colonias de mariposa monarca, estuvo representada por el bosque de *Abies religiosa* durante toda la temporada. El 62.8% de la superficie total se representó por la cobertura forestal semicerrada, en la cual se localizaron colonias durante toda la temporada, al igual que el bosque semiabierto que ocupó el 19.2% de la superficie, el bosque cerrado ocupó el 14% de superficie forestal desde el mes de noviembre hasta finales de febrero, y el bosque abierto fue ocupado el mes de noviembre con el 4% de superficie (Cuadro 8 y Gráfica 8).

Cuadro 8. Superficie y cobertura vegetal de las colonias de hibernación en El Rosario, 2006-2007.

Tipo de vegetación	Cobertura vegetal	% Superficie (ha)
Abies	Semicerrada	62.8
Abies	Semiabierta	19.2
Abies	Cerrada	14.1
Abies	Abierta	4

Gráfica 8. Cobertura vegetal por superficie y altitud de los sitios con colonias de hibernación en El Rosario, temporada 2006-2007.



La edafología de los sitios en los que se ubicaron las colonias de hibernación durante la temporada 2006-2007, está representada por andosoles (húmico y órico) y luvisol órtico, la geología se representa por andesitas pseudoestratificadas; y la geomorfología se caracteriza por un sistema montañoso denudatorio de laderas muy inducidas por la red torrencial.

Cerro Pelón

En el análisis de Cerro Pelón durante la temporada de hibernación 2006-2007, se registraron 27 colonias distribuidas en una superficie total de 5.83ha de bosque y un promedio de 0.89ha.

El desplazamiento de las colonias alrededor de la temporada 2006-2007 en Cerro Pelón se dio del siguiente modo: en el mes de diciembre algunas colonias se encontraron en la parte alta y otras en la cañada; para el mes de enero y principios de febrero la colonia de la parte alta descendió un poco y otra colonia permaneció en la cañada, mientras que para finales de febrero y principios de marzo las colonias descendieron en altitud desplazándose sobre la cañada. (Figura 9)

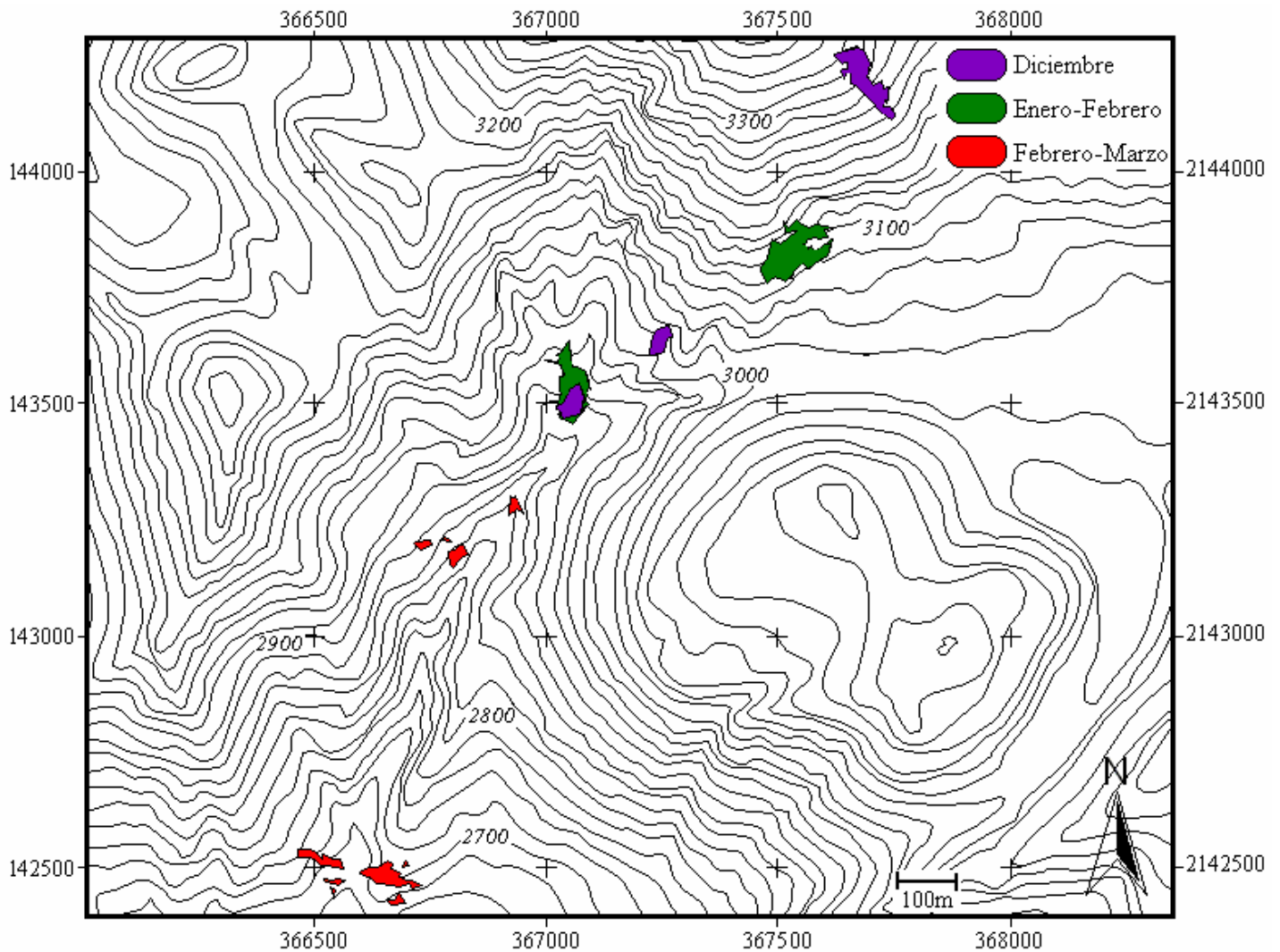


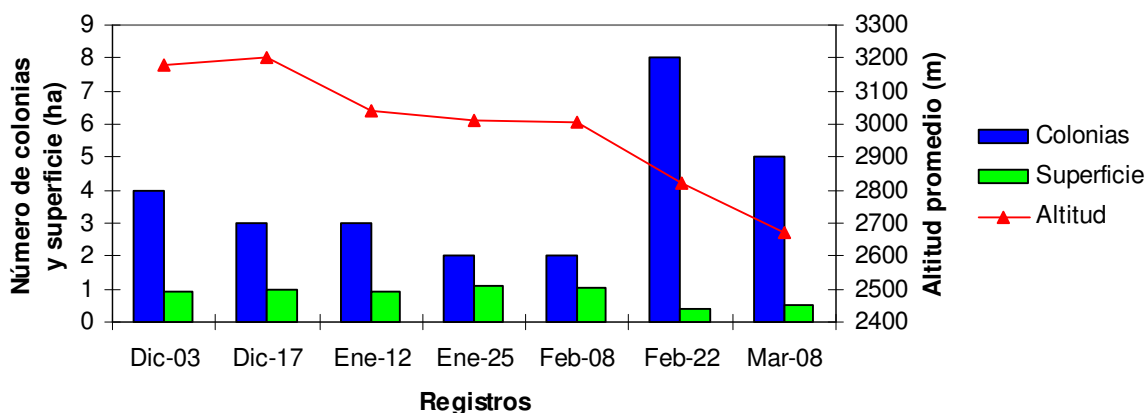
Figura 9. Mapa de distribución de las colonias de hibernación localizadas en Cerro Pelón durante la temporada 2006-2007.

A principios de diciembre se registraron 4 colonias a 3180m de altitud promedio que ocuparon una superficie de 0.9ha, a finales del mes se registraron 3 colonias que ocuparon una altitud media de 3175 a 3230m y una superficie de 0.98ha, en enero-12 se mantuvo el número de colonias y la altitud promedio y la superficie bajaron a 3040m y 0.9ha, para finales de enero y principios de febrero se registraron 2 colonias que se localizaron a 3010msnm y ocuparon 1ha, a finales de febrero se formaron 8 colonias que ocuparon 0.42 ha y disminuyó el promedio altitudinal a 2820m; finalmente, a principios de marzo se registraron 5 colonias de 0.49ha y las altitudes más bajas, de 2670m en promedio (Gráfica 9).

Cuadro 9. Datos tomados durante las visitas realizadas a Cerro Pelón, temporada 2006-2007.

Fecha	Número de colonias	Superficie forestal (ha)	Altitud mínima promedio	Altitud máxima promedio	Pendiente mínima promedio	Pendiente máxima promedio
Dic-03	4	0.9	3160	3200	23	42
Dic-17	3	0.98	3175	3230	26	41
Ene-12	3	0.9	3030	3050	20	44
Ene-25	2	1.07	2980	3040	17	52
Feb-08	2	1.06	2980	3030	16	53
Feb-22	8	0.42	2810	2830	25	33
Mar-08	5	0.49	2660	2680	20	35
Promedio	3.7	0.89	3022	3063	21	44

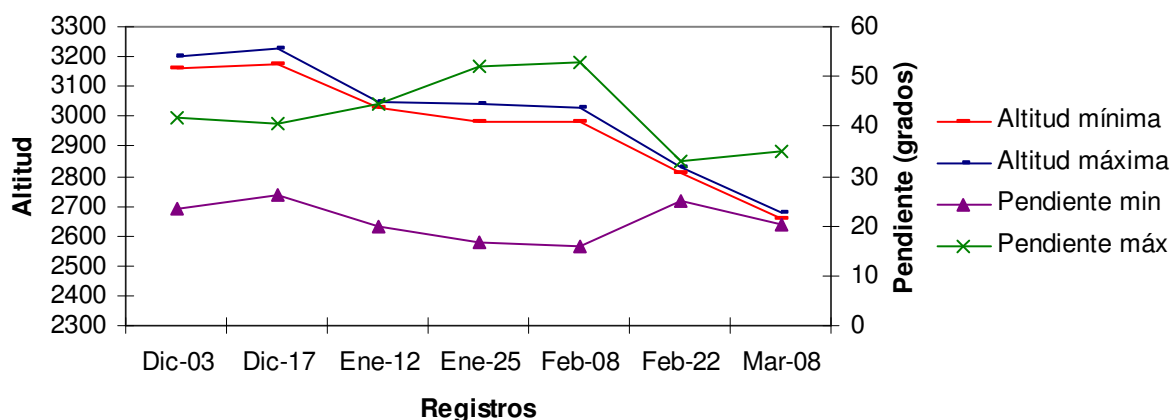
Gráfica 9. Superficie, altitud promedio y número de colonias de hibernación de mariposa monarca en Cerro Pelón, 2006-2007



El rango de altitud de los sitios en los que se ubicaron las colonias de hibernación de mariposa monarca en Cerro Pelón a principio de diciembre fue de 3160-3200m para finales del mes aumentó en un 1% a 3175-3230m, a principios de enero descendió en un 5% a 3030-3050 msnm y a finales bajó a 2980-3040msnm, en la primera mitad de febrero se mantuvo en el rango de 2980-3030msnm, pero en la segunda mitad de ese mes, descendió alrededor del 6% ocupando un rango altitudinal de 2810-2830m, descendiendo otro 5% a una altitud entre 2660 y 2680m para el mes de marzo. En cuanto a la pendiente de los sitios ocupados por colonias de hibernación de mariposa monarca, osciló entre los 8° y los 75° en promedio, ocupando un rango de 20° a 40° de diciembre a principios de enero,

ampliándose de 15° a 50° de finales de enero a principios de febrero, y acortándose de 20-35 para finales de febrero y principios de marzo. (Gráfica 6)

Gráfica 10. Altitud y pendiente de los sitios ocupados por colonias de mariposa monarca en Cerro Pelón, 2006-2007



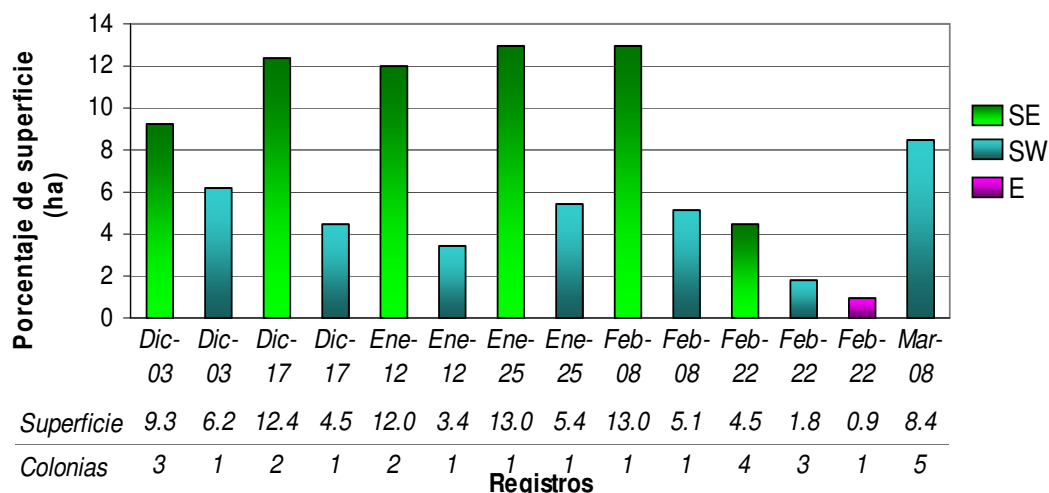
Las laderas Sureste ocuparon el 64.2% de la superficie con 13 colonias, las laderas Suroeste ocuparon el 34.9% de la superficie con 13 colonias, finalmente, una colonia se localizó en una ladera Este ocupando el 0.9% de la superficie (Cuadro 10).

Cuadro 10. Superficie en hectáreas y colonias por ladera en Cerro Pelón, temporada 2006-2007.

Orientación de laderas	% superficie (ha)	Número de colonias
SE	64.2	13
SW	34.9	13
E	0.9	1

Las colonias de hibernación se localizaron en laderas Sureste y Suroeste durante toda la temporada, solamente una colonia se ubicó en la ladera Este hacia finales de febrero, ocupando 0.9% de la superficie total (Gráfica 11).

Gráfica 11. Superficie de ocupación forestal y número de colonias por ladera en Cerro Pelón, temporada 2006-2007.



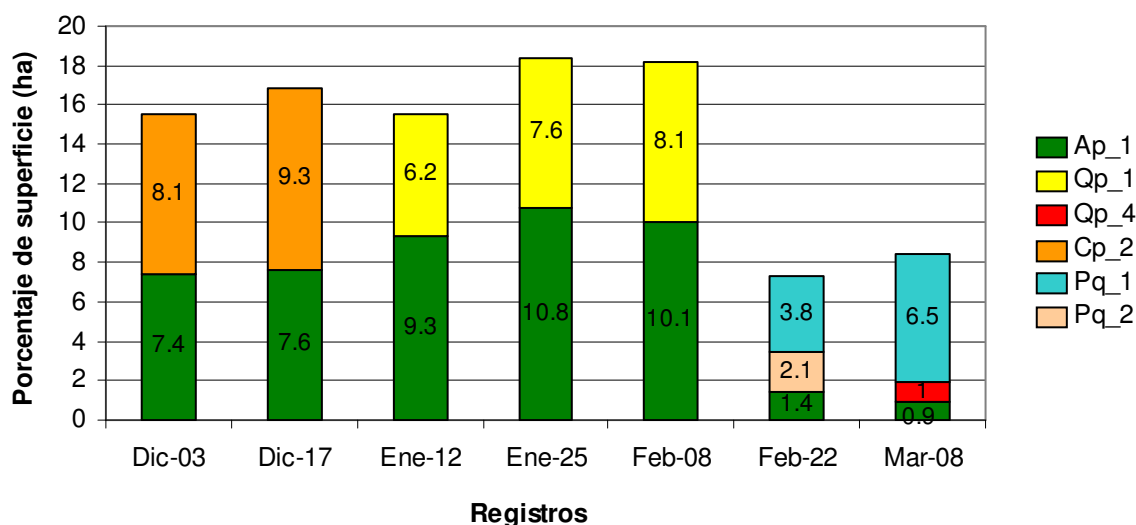
La vegetación de los sitios en los que se ubicaron las colonias de mariposa monarca en Cerro Pelón, es variada, y se representa en primer lugar por bosque de *Abies-Pinus* de cobertura cerrada con el 47.4% de la superficie total de las colonias; seguido de *Quercus-Pinus* que ocupó el 22.9% de la superficie, el bosque de *Cupressus-Pinus* con el 17.3% y el bosque de *Pinus-Quercus* con 12.4% de la superficie de ocupación forestal (Cuadro 11).

Cuadro 11. Superficie por tipo de vegetación y cobertura de colonias de hibernación en Cerro Pelón, 2006-2007.

Clave	Tipo de vegetación y cobertura	Superficie (ha) %
Ap_1	<i>Abies-Pinus</i> cerrada	47.4
Qp_1	<i>Quercus-Pinus</i> cerrada	21.9
Qp_2	<i>Cupressus-Pinus</i> semicerrada	17.3
Qp_4	<i>Quercus-Pinus</i> abierta	1
Pq_1	<i>Pinus-Quercus</i> cerrada	10.3
Pq_2	<i>Pinus-Quercus</i> semiabierta	2.1

En el bosque de *Abies-Pinus* cerrado se presentaron colonias de diciembre a principios de febrero en casi el 50% de la superficie ocupada para cada fecha, mientras que a finales de febrero y principios de marzo, ocupó sólo el 1% de la superficie total, aproximadamente. El bosque de *Quercus-Pinus* presentó colonias casi toda la temporada con cobertura semicerrada en el mes de diciembre, cerrada durante enero y principios de febrero, y abierta a principios de marzo. El bosque de *Pinus-Quercus* es ocupado por las colonias de hibernación al final de la temporada (Gráfica 12).

Gráfica 12. Tipo de vegetación y cobertura por superficie de ocupación en Cerro Pelón, temporada 2006-2007



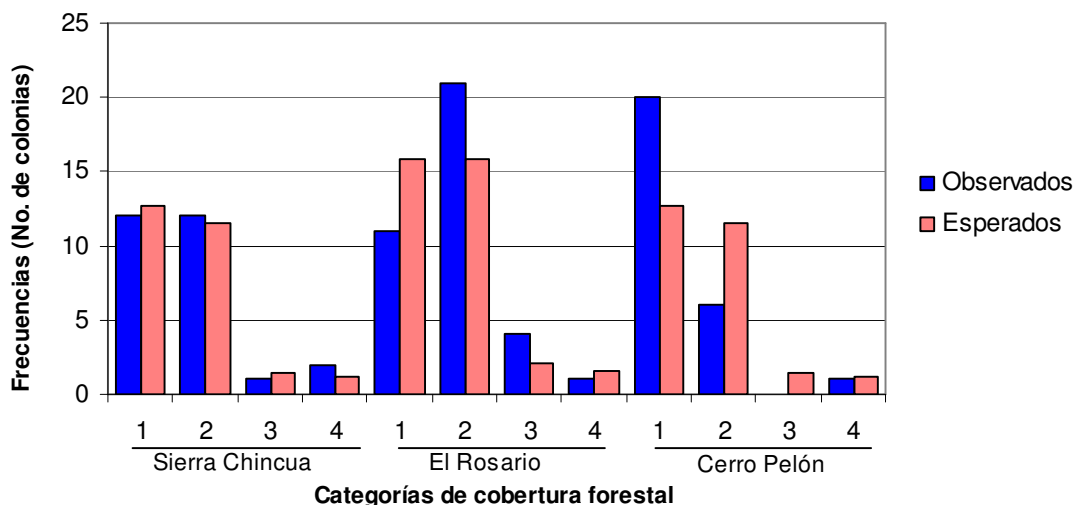
La edafología de los sitios de ocupación de colonias de mariposa monarca durante la temporada 2006-2007 está representada por andosoles (húmico y ócrico) y acrisol húmico que le confiere mayor humedad al terreno, la geología se representa por andesitas pseudoestratificadas; y la geomorfología se caracteriza por laderas de valles intermontanos y laderas altas de interfluvios con aristas encadenadas y cimas agudas, lo que le da la forma propia de una cañada.

3.2 Comparación de las zonas de hibernación.

Las pruebas de X^2 dan como resultado que los sitios de estudio no son homogéneos respecto a la cobertura forestal que ocupan las colonias de mariposa monarca ($X_{(6)}=15.29$, $P < 0.05$).

En Sierra Chincua, no se presentó mucha diferencia entre las frecuencias observadas y esperadas ya que éstas estuvieron cercanas entre sí; en El Rosario los valores observados para la cobertura cerrada fueron menores a los esperados en 31% mientras que los observados de la cobertura semicerrada fueron mayores que los esperados en un 24.4%, mientras que en Cerro Pelón los valores observados de cobertura cerrada superaron en 36.2% a los valores esperados. (Gráfica 13)

Gráfica 13. Frecuencias teóricas y observadas de cobertura forestal en Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, 2006-2007

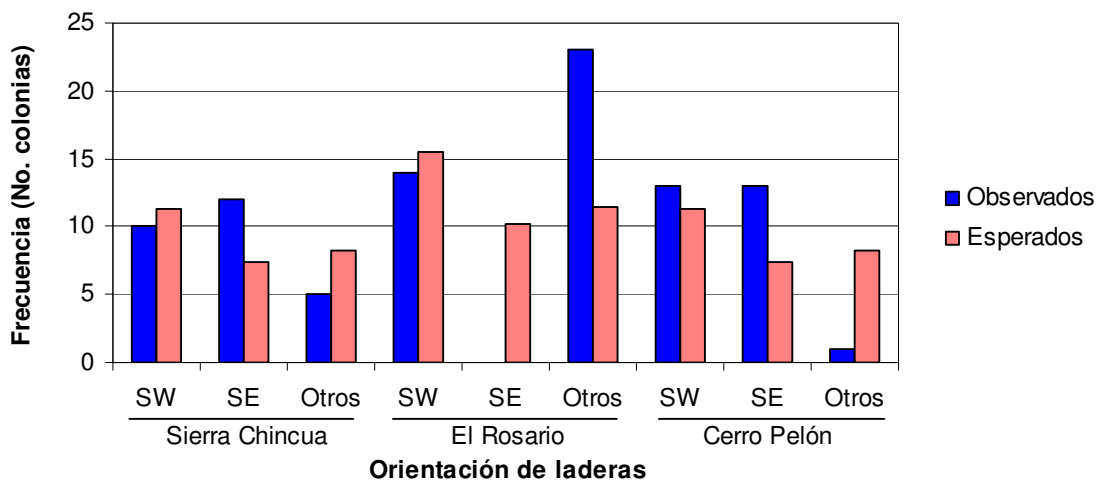


La orientación de laderas que ocupan las colonias de hibernación en cada Santuario no son homogéneas ($X_{(4)} = 39.61$, $P < 0.005$).

En Sierra Chincua predominó la orientación Suroeste de las colonias y los valores observados fueron mayores a los esperados en 61%, en El Rosario la orientación Suroeste presenta 10% menos que lo esperado mientras que la categoría Otros en la que se encuentran las laderas Este, Oeste, Noreste y Noroeste supera en 102% a los valores

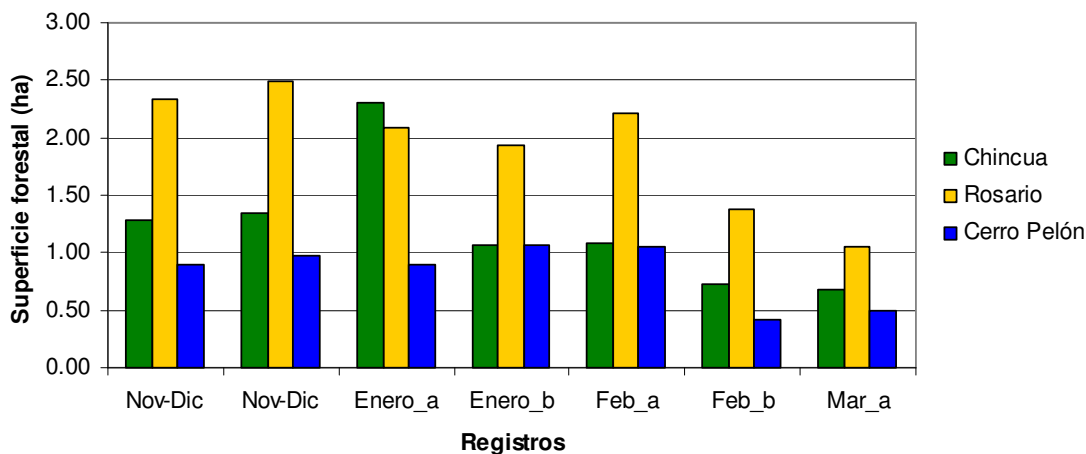
esperados. Para el caso de Cerro Pelón, los valores observados de las laderas y Sureste superan a los esperados en un 15% y 75% respectivamente. (Gráfica 14)

Gráfica 14. Frecuencias teóricas y observadas de las colonias de hibernación según su orientación en Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, 2006-2007



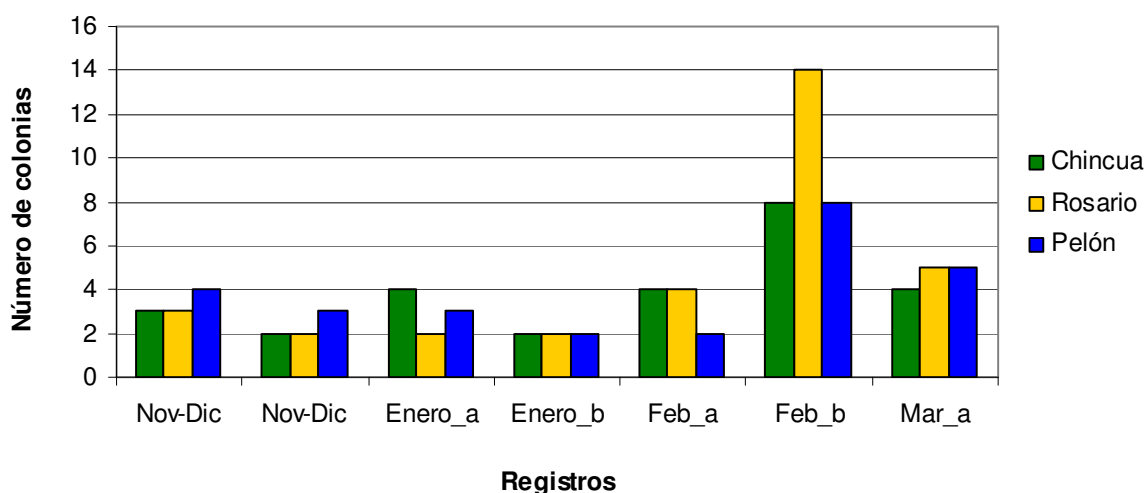
La superficie de ocupación forestal de las colonias de hibernación de mariposa monarca durante la temporada 2006-07, no fue la misma en cada uno de los sitios de estudio (ANDEVA $F_{(2, 20)} = 10.17, P < 0.001$). Según las pruebas de comparación múltiple de Tukey y Fisher, las diferencias no son significativas entre Sierra Chincua y Cerro Pelón, pero sí entre estos dos sitios y El Rosario (Gráfica 15).

Gráfica 15. Superficie en hectareas por fecha para los santuarios de Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, 2006-2007



La altitud y la pendiente de los lugares en los que se establecen las colonias es diferente en cada uno de los sitios estudiados, (ANDEVA $F_{(2, 20)} = 10.09$, $P < 0.001$; y ANDEVA $F_{(2, 20)} = 39.55$, $P < 0.0001$, respectivamente); mientras que el número de colonias de hibernación que se establecieron a lo largo de la temporada, no difiere entre los sitios (ANDEVA $F_{(2, 20)} = 0.131$, $P < 0.005$) pues se mantiene en un número de colonias más o menos constante desde el comienzo de la temporada hasta principios de febrero, donde el número de colonias aumenta un poco, y a finales de febrero en la que se dispara el número de colonias (Gráfica 16), esto se debe al comienzo de los apareamientos, lo que provoca la dispersión de las mariposas y la fragmentación de las colonias.

Gráfica 16. Número de colonias por registro realizado en los Santuarios de Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, 2006-2007



4. DISCUSIÓN

Los datos de superficie forestal referenciada geográficamente permiten el fácil manejo de los datos en Sistemas de Información Geográfica, puesto que es posible sobreponer un número ilimitado de capas de información sobre las áreas disponibles obteniendo resultados de buena calidad con respecto a la cuantificación de áreas, tal es el caso del tipo de vegetación y cobertura forestal, lo cual no se había logrado con anterioridad por la predominancia del método de toma de puntos aislados en el centro o la periferia de las colonias, como en los trabajos de Hoth (1994), Bojórquez-Tapia *et al.* (2003) y Oberhauser (2003) por mencionar algunos casos. El método de medición de superficie se ha llevado a cabo en los monitoreos anuales realizados por la Reserva y WWF, y ha sido utilizado para reportar la superficie forestal que ocupan las colonias en cada sitio de hibernación hasta el mes de diciembre, cuando las colonias están bien establecidas y cuyo objetivo es registrar la fluctuación de la superficie ocupada cada año, sin tomar en cuenta los cambios en el tipo de vegetación o cobertura forestal en la que se localizan las colonias.

Durante la temporada de hibernación 2006-2007, en los Santuarios de Sierra Chincua y Cerro Pelón, poco más del 60% de la superficie forestal de las colonias se localizó en laderas Sureste y cerca del 30% en laderas Suroeste, mientras que en el Rosario el 65% de la superficie de las colonias se localizó en laderas Suroeste, y un 30% en laderas Oeste. El grado de orientación de las zonas montañosas donde se ubican las colonias de mariposa monarca hace que se produzca esta diferencia, pues a pesar de que en los tres sitios los cerros están orientados en dirección Noreste-Suroeste, en Sierra Chincua y Cerro Pelón hay un conjunto de elevaciones dentro de las cuales se ubican las colonias de mariposa monarca, y en El Rosario, las colonias de hibernación se localizan dentro de la única zona montañosa que se encuentra en el lugar. La preferencia de las colonias de hibernación por laderas Sureste y Suroeste está determinada por el grado de insolación que éstas reciben durante el invierno, ya que en el hemisferio Norte el desplazamiento de la luz solar proviene del Sur, de modo que durante las mañanas la luz incide sobre las laderas Sureste, y por la tarde sobre las laderas Suroeste.

La preferencia de las laderas Sureste, sobre las Suroeste, difiere un poco con los estudios realizados anteriormente en los que se ha revelado que las colonias se establecen

en orientaciones Sur o Suroeste durante la temporada (Brower y Calvert, 1986; Reserva de la Biosfera, 2000; Bojórquez-Tapia *et al.*, 2003) puesto que la insolación cae en ambas laderas, ya sea por la mañana o por la tarde.

El número de las colonias que se establecen durante la temporada de hibernación varía de acuerdo al tiempo manteniéndose relativamente estable durante los primeros meses (noviembre-diciembre), aumenta un poco a principios de febrero, y se duplica o triplica a finales del mes, estos cambios en el número de colonias se pueden atribuir al aumento de horas luz que se da en el mes de febrero, así como al comienzo de la actividad reproductiva que provoca la dispersión de mariposas dando como resultado la fragmentación de las colonias.

El número de colonias de mariposa monarca no presenta correlación alguna con la superficie de ocupación forestal, por ejemplo: en Sierra Chincua, 12 colonias ocuparon el 61.2% de la superficie total y 10 colonias ocuparon el 23.5%; lo cual indica que el tamaño de las colonias es variable, por lo que para calcular la cantidad aproximada de mariposas que hay por superficie de ocupación, también es preciso tomar en cuenta la cobertura forestal del sitio en el que se localizan, pues se esperaría encontrar mayor cantidad de mariposas en los sitios con coberturas cerradas que en los sitios con coberturas semicerradas o semiabiertas.

La cobertura forestal sobre la cual se localizaron las colonias de hibernación durante la temporada de estudio, fue principalmente cerrada y semicerrada, las coberturas abiertas y semiabiertas fueron ocupadas en noviembre, cuando las colonias no estaban bien establecidas y al final de la temporada (segunda mitad de febrero y marzo) cuando las colonias se dispersaron por la actividad reproductiva y el retorno al Norte. La cobertura forestal cerrada predominó en los sitios donde se establecieron las colonias, sin embargo, durante los últimos 4 años se ha incrementado su pérdida pues del 2003 al 2005 disminuyó en 3.3% y del 2005 al 2007 se perdió el 9% de la cobertura cerrada (López-García, en preparación) lo que equivale casi al triple de la pérdida del periodo anterior, y aunque las áreas de estudio no presentaron cambios en la cobertura forestal, sí lo hicieron otras áreas que se encuentran en la zona núcleo y a donde solían llegar colonias de mariposa monarca, tal es el caso de Lomas de Aparicio y Chivatí-Huacal, cuyas comunidades no participan en el pago por conservación y que han sido deforestadas casi en su totalidad.

Dadas las condiciones en las que se encuentra la RBMM, no es adecuado proponer el aprovechamiento forestal moderado del que habla Hoth (1995) sino por el contrario, es necesario tomar medidas que permitan la conservación y preservación de los bosques que albergan a la mariposa monarca, pues la pérdida total de las áreas de hibernación en Lomas de Aparicio y Chivatí-Huacal son un llamado de atención para la comunidad entera, especialmente a las políticas de conservación llevadas a cabo, ya que la tala que se realizó en esos sitios puede ser explicada por la pobreza que impera en esas zonas donde la población es indígena casi en su totalidad, y cuyos habitantes no tuvieron oportunidad de explotar la zona turísticamente ni gozaron en ningún momento de los beneficios del Fondo Monarca (Merino, 2004).

Las mariposas monarca que hibernan en México, como es el caso de Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, ocupan áreas muy pequeñas comparadas con los sitios en los que pasan el verano, que comprenden las partes medias y altas de las montañas, así como de las cañadas cercanas a ríos y arroyos, esto es debido a la formación de colonias, en las que se mantienen en densos grupos compactos; las zonas ocupadas por colonias de hibernación a lo largo de la temporada, son incluso (y por mucho) más pequeñas que la Reserva que está designada para su protección, pero esto no quiere decir, que se puede deforestar o hacer un uso insostenible de los recursos, pues para mantener sanas esas pequeñas zonas, es necesario cuidar todo el entorno, en especial las tres unidades topográficas que propone De la Maza (1982, 1995) que son las cimas de las montañas, los lugares donde se localizan constantemente y las cañadas que les proporcionan refugio y sirven como corredores para la reemigración, pero esto no sólo por la importancia del fenómeno migratorio de la mariposa monarca, sino para la recarga de los mantos freáticos que abastecen de agua a las poblaciones, y la conservación de la biodiversidad en las zonas templadas.

5. CONCLUSIONES

Los santuarios de Sierra Chincua, El Rosario y Cerro Pelón, difieren en las formas del relieve, el tipo de vegetación dominante (Abies) y sus asociaciones, la orientación general y particular de las montañas sin embargo, las colonias de hibernación que se alojan en esos santuarios comparten características tales como la preferencia por ubicarse en sitios de coberturas cerradas y semicerradas; así como en laderas orientadas al Sureste y Suroeste dado que reciben mayor insolación durante el invierno, con la dinámica de localizarse en las partes altas de las montañas al principio de la temporada e ir descendiendo paulatinamente conforme avanza la temporada, así como la fragmentación de las colonias a partir de la segunda mitad de febrero, cuando comienza la actividad reproductiva y se preparan para la reemigración hacia los sitios donde pasan el verano.

Las zonas que ocuparon las colonias de hibernación de mariposa monarca son relativamente pequeñas, pero son comparables a corredores que deben ser prioritarios para la conservación de los bosques donde hiberna la mariposa monarca, no sólo para la permanencia del fenómeno migratorio de esta especie, sino para la conservación de la biodiversidad y para asegurar la presencia de agua limpia para las poblaciones cercanas a la zona.

Las tasas de cambio del 9% en la cobertura cerrada registrados del 2005 al 2007 en la Reserva son alarmantes, y aunque los sitios que han desaparecido hasta el momento no participaban en las políticas de ayuda proporcionada por el Fondo Monarca, es necesaria la acción conjunta de autoridades y comunidades para frenar los cambios negativos en la zona, para preservar el fenómeno de hibernación de la mariposa monarca.

Literatura citada

- Alonso-Mejía, A. y A. Arellano. 1989. *Mariposa monarca, su hábitat de hibernación en México*. Ciencias 15:6-11.
- Alonso-Mejía, A., E. Montesinos-Patiño y E. Rendón-Salinas. 1995. *Realidades energéticas de la mariposa monarca*. Ciencias 39: 48-49.
- Bojórquez-Tapia, L., L. P. Brower, G. Castilleja, S. Sánchez-Colón, M. Hernández, W. H. Calvert, S. Díaz, P. Gómez-Priego, G. Alcázar, E. Melgarejo, M. J. Solares, L. Gutiérrez y M. L. Juárez. 2003. *Mapping expert knowledge: redesigning the Monarch Butterfly Biosphere Reserve*. Conservation Biology. 17(2): 367-379.
- Brower, L. P., W. H. Calvert, L. Hedrick, y J. Christian. 1977. *Biological observations on a overwintering colony of Monarch Butterflies (Danaus plexippus) in México*. Journal of the Lepidopterist's Society. 31 (4):232-243.
- Brower, L. P. y W. H. Calvert. 1985. *Foraging dynamics of bird predators on overwintering monarch butterflies in Mexico*. Evolution 39: 852-868.
- Brower, L. P. 1987. *Biological rationale for the conservation of the overwintering sites of the monarch butterfly, Danaus plexippus L., in the states of Michoacan and Mexico*. Primer Simposium Internacional de Fauna Silvestre, Ciudad de México. Mayo de 1985. 66-88 pp.
- Brower, L. P. 1995. *Revisión a los mitos de Jürgen Hoth*. Ciencias 39: 50-51.
- Brower, L. P. 1997. *Biological necessities for monarch butterfly overwintering in relation to the oyamel forests ecosystem in Mexico*. Keynote Address Morelia Symposium. 1-29 pp.
- Brower, L. P., G. Castilleja, A. Peralta, J. López-García, L. Bojórquez-Tapia, S. Díaz, D. Melgarejo y M. Missrie. 2002. *Quantitative changes in forest quality in a principal overwintering area of the monarch butterfly in México, 1971-1999*. Conservation Biology. 16 (2): 346-359.
- Brower, L. P., D. R. Kust, E. Rendón-Salinas, E. García-Serrano, K. R. Kust, J. Miller, C. Fernández del Rey y K. Pape. 2004. *Catastrophic winter storm mortality of monarch butterflies in Mexico during January 2002*. pp 151-166. In Oberhauser, K. S. y M. J.

- Solensky. *The Monarch Butterfly: Biology and conservation*. Cornell University Press. Ithaca, Nueva York.
- Calvert, W. H. y J. A. Cohen. 1983. *The adaptive significance of crawling up onto foliage for the survival of grounded overwintering monarch butterflies (Danaus plexippus) in Mexico*. *Ecological Entomology*, 8: 471-474.
- Calvert, W. H. y L. P. Brower. 1986. *The location of monarch butterfly (Danaus plexippus L.) overwintering colonies in Mexico in relation to topography and climate*. *Journal of the Lepidopterist's Society*. 40 (3):164-187.
- Calvert W. H., M. B. Hyatt y N. P. Mendoza-Villaseñor. 1986. *The effects of understory vegetation on the survival of overwintering monarch butterflies, (Danaus plexippus L.) in Mexico*. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva serie)* 18: 1- 17.
- Calvert W. H., S. 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* 2:38-48.
- Cockrell, B. J., S. B. Malcolm y L. P. Brower. 1993. *Time, temperature and latitudinal constraints on the annual recolonization of eastern North America by the monarch butterfly*. En: S. B. Malcolm y M. P. Zalucki (eds.), *Biology and conservation of the monarch butterfly*. pp. 233–251. Natural History Museum of Los Angeles County. Los Angeles. USA.
- De la Maza Elvira, R. 1975. *Notas sobre lepidópteros de Rancho Viejo y Tepoztlán, Morelos, México 1.- Papilionoidea*. *Rev. Soc. Mex. Lep.* 1 (2): 43-61.
- De la Maza Elvira, R. 1982. *Anteproyecto para el aprovechamiento racional de las áreas de hibernación de la mariposa monarca (D. plexippus) en Donato Guerra, Estado de México*. Fideicomiso para el desarrollo agroindustrial del Estado de México. 29 de abril.
- De la Maza Elvira, R. 1995. *La Monarca del vuelo*. *Ciencias*, 37: 4-18.
- De la Maza Elvira, R. 2002. *The monarch butterfly. The ties that bind Us*. Scotiabank Inverlat. México. 119 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 1980. *Decreto que declara zonas de reserva y refugio silvestre, los lugares donde la mariposa inverna y se reproduce*. 9 de abril, México.

- Diario Oficial de la Federación. 1986. *Decreto que declara áreas naturales protegidas para fines de migración, invernación y reproducción de la Mariposa Monarca*. 9 de octubre, México.
- Diario Oficial de la Federación. 2000. *Decreto de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM)*. 10 de noviembre, México.
- Espejo-Serna, A., R. Brunhuber-Menéndez, G. Segura-Warnholtz, y J. Ibarra-Caballero. 1992. *La vegetación de la zona de hibernación de la mariposa monarca (Danaus plexippus L.) en la Sierra Chincua*. Biogeography of Mesoamerica. Suppl 1:79-99
- FAO-UNESCO. 1974. *FAO-UNESCO Soil Map of the World 1:5,000,000*. UNESCO, París.
- Felicísimo, A. 1994. *Modelos Digitales del Terreno: Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo, España. 122 pp.
- Galindo-Leal, C. y E. Rendón-Salinas. 2005. *Danaidas: Las Maravillosas Mariposas Monarca*. Publicación especial No. 1. WWF México-Telcel. 82 pp.
- García, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen (para adaptarlo a la República Mexicana)*. Offset Larios. México, D. F. 219 pp.
- García-Serrano, E., J. Lobato R., y X. Mora. 2004. *Locations and area occupied by Monarca Butterflies Overwintering in México from 1993-2002*. pp 129-134. In Oberhauser, K. y M. J. Solensky. *The Monarch Butterfly: Biology and conservation*. Cornell University Press. Ithaca, Nueva York.
- Garduño, R. 2003. *El veleidoso clima*. La Ciencia para todos, No. 127. Fondo de Cultura Económica. México. 169 pp.
- Glendinning, J., A. Alonso-Mejía y L. P. Brower. 1988. *Behavioral and ecological interactions of foraging mice (Peromyscus melanotis) with overwintering monarch butterflies (Danaus plexippus) in México*. Oecologia. 75: 222-227.
- Hoffmann, C. C. 1940. *Catálogo sistemático y zoogeográfico de los Lepidópteros mexicanos*. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México. 11 (2): 30-31.
- Hoth, J. 1994. *Posicionamiento de los Santuarios de Mariposa Monarca y observaciones ecológicas cualitativas*. Reporte de campo al INE. 18 pp.
- Hoth, J. 1995. *Mariposa Monarca, mitos y otras realidades aladas*. Ciencias. 37: 19-28

- Honey-Rosés, J., E. Rendón-Salinas, J. López-García, A. Peralta, P. Ángeles, I. Contreras, C. Galindo-Leal. 2004. *Monitoreo Forestal del Fondo Monarca 2003*. WWF-Programa México. 27 pp. (Informe no publicado)
- INEGI. 2000. *Carta topográfica, Angangueo. E14A26. México y Michoacán. Escala 1: 50,000.*
- INEGI. 2000. *Carta topográfica, Villa de Allende. E14A36. México y Michoacán. Escala 1: 50,000.*
- Joli-Coeur, F. A. 2004. *From enemies to allies: transforming the relationship with local communities in the management of protected areas. The uncertain case of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve*. Tesis de Maestría. Universidad McGill, Montreal.
- Joly, F. 1988. *La Cartografía*. Oikos-Tau. Barcelona.
- Jones, C. 1999. *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. LONGMAN, Inglaterra, 319 pp
- Leopold, S. 1950. *Vegetation zones of Mexico*. Ecology, 31 (4): 507 – 518.
- López-García, J. 2006. *Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2005-2006)*. Reporte al Fondo Monarca, México, D. F.
- López-García, J. (en preparación). *Cambios en la cobertura forestal en la zona núcleo de la RBMM (2003-2007)*.
- Merino Pérez, L. y M. Hernández-Apolinar. 2004. *Destrucción de instituciones comunitarias y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México*. Revista Mexicana de Sociología. 66 (2): 261-309.
- Missrie, M. 2004. *Design and implementation of a new protected area for overwintering monarch butterflies in México*. En Oberhauser, K. y M .J. Solensky (eds.). *The Monarch Butterfly: Biology and conservation*, pp. 141-150 Cornell University Press. Ithaca, Nueva York.
- Montesinos-Patiño, E. 1996. *Estudio de la depredación de la mariposa monarca (Danaus plexippus) por aves, en relación a la estructura del bosque de oyamel en un sitio de hibernación en el Estado de Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. 68 pp

- Oberhauser, K., y T. Peterson. 2003. *Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies*. PNAS, 100: 14063-14068.
- Oberhauser, K. 2006. *El programa norteamericano de monitoreo de la mariposa Monarca*. En: Pisanty, I. y M. Caso. *Especies, espacios y riesgos*. SEMARNAT, INE, Comisión para la Cooperación Ambiental, Unidos para la conservación. 240 pp. México, D. F.
- Ortiz-Pérez, M. A. 2000. *Informe técnico para la SEMARNAT*. México, D. F.
- Phillips, T. K. y K. A. Johnson. 1990. *High altitude aggregations of Anetia briarea Godart in Hispaniola (Nymphalidae)*. Journal of the Lepidopterist's Society. 44(4): 209-216.
- Rendón-Salinas, E. 1997. *Diagnóstico de las mariposas monarcas hibernantes que intentaron alimentarse y la estructura del rodal del bosque donde se agrupó la colonia del Llano del Toro en la Sierra Chincua, Michoacán, durante la temporada de hibernación 1993-1994*. Tesis profesional de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Rendón-Salinas, E. y C. Galindo-Leal. 2005. *Monitoreo de las colonias de hibernación de la mariposa monarca, diciembre 2004: Reporte preliminar*. WWF, 9 pp.
- Rendón-Salinas, E., A. Valera-Bermejo, M. Cruz-Piña, S. Rodríguez-Mejía, y C. Galindo-Leal. 2006. *Monitoreo de las colonias de hibernación de mariposa monarca: Superficie forestal de ocupación en diciembre 2005*. Reporte de WWF, 6 pp.
- Rendón-Salinas, E., S. Rodríguez-Mejía, M. Cruz-Piña y C. Galindo-Leal. 2007. *Monitoreo de las colonias de hibernación de mariposa monarca: Superficie forestal de ocupación en diciembre 2006*. Reporte de WWF, 6 pp.
- Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. 2000. *Análisis de los sitios de hibernación propuestos en la nueva zonificación de acuerdo a los registros de monitoreo de la reserva*. Morelia, Michoacán.
- Rzedowski, J. 1981. *La vegetación de México*. Limusa, México. 430 pp.
- SEDESOL. 1994. *Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL), que determinan las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece*

- especificaciones para su protección*. Diario Oficial de la Federación, 16 de mayo. México.
- SEMARNAT. 2001. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. CONANP, Subdirección General de Conservación y Manejo de Áreas Naturales Protegidas. México, D.F. 138 pp.
- Snook, L. 1993. *Conservation of the monarch butterfly reserves in Mexico: Focus on the forest*. En Stephen B. Malcom y Myron Zalucki (eds.) *Biology and Conservation of the Monarch Butterfly*, pp 363-374. Natural History Museum of Los Angeles County. Science series No. 38.
- Solís-Calderón, R. y E. García-Serrano. 2000. *Análisis del comportamiento de la mariposa Monarca (Danaus plexippus L.) en los sitios de hibernación en México*. CONANP, SEMARNAT, México.
- Urquhart, F. A. y N. R. Urquhart. 1976. *The overwintering site of the eastern population of the monarch butterfly (Danaus plexippus plexippus; Danaidae) in southern México*. Journal of the Lepidopterist's Society. 30(3): 153-158.
- Urquhart, F. A. y N. R. Urquhart. 1977. *Overwintering area and migratory routes of the monarch butterfly (Danaus plexippus plexippus, Lep. Danaidae) in North America with special reference to the western population*. Canadian Entomologist. 109:1583 – 1589.
- WWF. 2004. *La tala ilegal y su impacto en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. Informe preparado por WWF-Programa México. 36 pp.
- WWF. 2006. *Pérdida y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2005-2006*. Informe de WWF. 8 pp.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, Nueva Jersey. Segunda edición. 717 pp.

<http://www.eclac.cl/esalc>

<http://www.inegi.gob.mx>

<http://www.monarchwatch.com>

<http://www.wwf.org>