

RIESGO DEL HÁBITAT DE LA MARIPOSA MONARCA (*Danaus plexippus*) ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

RISK HABITAT OF THE MONARCH BUTTERFLY (*Danaus plexippus*) BY CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Araceli Islas-Báez¹; Ramiro Pérez-Miranda^{2*}; Antonio González-Hernández²; Martín Enrique Romero-Sánchez² y Efraín Velasco-Bautista²

¹Bióloga por la FES Zaragoza de la UNAM. Av. Guelatao 66, Iztapalapa, Ejército de Oriente, Ciudad de México, D.F. C.P. 09230.

²Investigador Titular C del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Ave. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Del. Coyoacán, México, D.F. C. P. 04010. perez.ramiro@inifap.gob.mx.

RESUMEN

La modificación en los patrones de temperatura y precipitación ocasionada por el cambio climático global, está alterando el funcionamiento de los ecosistemas, por lo que es importante realizar estudios que coadyuven al conocimiento de la distribución de las especies, así como a la obtención de predicciones bajo escenarios de cambio climático que permitan ubicar áreas y especies vulnerables al fenómeno. Se estimaron cambios de superficie, bajo escenarios de cambio climático, obtenidos mediante DownScaling y Modelo Ensamble Regional (MER) para el hábitat invernal de la Mariposa Monarca (MM) en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM). De acuerdo con el estudio, el hábitat invernal de la MM desaparecerá en los escenarios A2 y B2 con DownScaling para el año 2030. Con el MER, la reducción de superficie del hábitat de la MM para 2030 se estima en un 37.59 % y en el 2050 será de 49.13 %. Por lo tanto el modelo DownScaling a escala local indica que el hábitat de la MM desaparecerá, y con el MER, indica que habrá importantes pérdidas del hábitat de la MM.

Palabras clave: reducción de escala, hábitat invernal, modelo de ensamble regional.

SUMMARY

The change in temperature and precipitation patterns caused by global climate change is altering the ecosystem functioning, so it is important to conduct studies that contribute to the knowledge of species distribution under climate change scenarios, to locate areas vulnerable to the phenomenon. Potential changes were estimated area under climate change scenarios, obtained by downscaling and Regional Assembly Model (RAM) for the winter habitat of the Monarch Butterfly (MM) in the nucleus zone of the Biosphere Reserve of the Monarch Butterfly area. According to the study, the overwintering habitat of the MM disappears in the A2 and B2 scenarios downscaling 2030. With the RAM, reducing the area of habitat MM 2030 is estimated at 37.59 % and in 2050 will be 49.13 %. Therefore, the downscaling model indicates that MM habitat disappears, and the RAM shows that there will be significant losses of habitat MM.

Key words: overwintering habitat; downscaling; model regional assembly.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) es un fenómeno que produce alteración en los patrones de temperatura y precipitación. Constituye una de las grandes preocupaciones a nivel mundial debido a los riesgos y efectos que puede causar a la sociedad. La necesidad de mitigar los daños y de adaptarse al nuevo entorno plantea desafíos y oportunidades para diversos sectores (Biringer, 2003; Lorente *et al.*, 2004; IPCC, 2014). Según la FAO (2003) debido al CC global, entre 20 y 30 % de las especies de plantas y animales afrontarán un mayor riesgo de extinción y una parte significativa de las especies endémicas se habrán extinguido para el 2050. Los hábitats ubicados en diferentes gradientes ambientales estarán sujetos a cambios y las poblaciones biológicas no podrán adaptarse a la velocidad que sucede el fenómeno climático. Las especies de lento crecimiento serán reemplazadas por especies de rápido crecimiento, lo cual afectará la composición de la biodiversidad (Biringer, 2003; Lorente *et al.*, 2004). Fundamentalmente, las variaciones de temperatura y precipitación presentan una relación estrecha con el desarrollo de las especies biológicas y su geografía. En este sentido los procesos fisiológicos y tasa de crecimiento

poblacional de las especies invertebradas dependen del aire y humedad ambiental (Ruppert y Barnes, 1996; Ortiz y Zapata, 2010).

Ante el CC algunas especies de mariposas han migrado para adaptarse. En España algunas se desplazaron a ladera arriba a 293 m de altitud, contribuyendo a la pérdida de riqueza biológica y composición de mariposas, estimada hasta en 90 % (Biringier, 2003; Lorente *et al.* 2004). En particular, la MM proveniente anualmente de Norteamérica, en invierno, ha tenido una tendencia de disminución de su población, entre las causas principales son originadas por el CC, frío fuertes en los lugares de invernación y fluctuaciones de frío/calor en primavera-verano en la etapa de fecundación y reproducción (Brower *et al.*, 2012; Vidal y Rendón, 2014).

Los modelos de distribución de especies son algoritmos estadísticos o analíticos que predicen la distribución (actual o potencial) de uno o varios organismos; usan técnicas de cartográficas, sistemas de información geográfica, percepción remota y estadísticos (Sandoval y Real, 2005). Son herramientas utilizadas en la toma de decisiones para el manejo de especies (Del Valle, 2008), definir adaptaciones ambientales de algunos organismos (Chefaoui *et al.*, 2005) entre otros. Por otro lado, los modelos climáticos se usan para simular el comportamiento del sistema climático global, prediciendo los impactos sobre el clima que originan los gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 1997; Delgado y Suarez, 2009). Los modelos de circulación general (MCG) son una representación genérica simple del sistema climático general, mediante el cual se predicen el cambio del clima de la Tierra. Son de escala global y se usan para estudios de vulnerabilidad (IPCC, 1997).

En México se han empleado para estudios de vulnerabilidad de especies ante CC los MER, los cuales fueron obtenidos de las medianas de 10 MCG (mpi_echam5, miub_echo_g, csiro_mk3_0, csiro_mk3_5, cccma_cgcm3_1, giss_model_e_r, ncar_ccsm3_0, miroc3_2_hires, mri_cgcm2_3_2a, ukmo_hadcm3) y son de mediana resolución (Magaña y Caetano, 2007). Los modelos de resolución más finos se obtienen del procesamiento de información que proveen los MCG, mediante la técnica de reducción de escala (DownScaling). Este consiste en extraer información más fidedigna aportada por las simulaciones de los MCG y usa datos meteorológicos para bajar la resolución (Cano *et al.*, 2001; Magaña, 2007).

En México se han empleado diferentes versiones de los modelos de circulación general (ECHAM, HADGEM, y GFDL) con resoluciones de 2.5 x 2.5° y 50 x 50 km, para estudios de impactos de especies ante CC (Conde y Gay, 2008). No obstante, también se ha aplicado el Modelo de Ensamble Regional el cual fue obtenido de las medianas de 10 MCG (mpi_echam5, miub_echo_g, csiro_mk3_0, csiro_mk3_5, cccma_cgcm3_1, giss_model_e_r, ncar_ccsm3_0, miroc3_2_hires, mri_cgcm2_3_2a, ukmo_hadcm3) y son de mediana resolución (Magaña y Caetano, 2007). Los modelos de resolución más finos se obtienen del procesamiento de información que proveen los MCG, mediante la técnica de reducción de escala (DownScaling). Este consiste en extraer información más fidedigna aportada por las simulaciones de los MCG y usa datos meteorológicos para bajar la resolución (Cano *et al.*, 2001; Magaña, 2007).

La MM proviene anualmente de Norteamérica, viajan aproximadamente 3 000 km, desde su hábitat de verano y los refugios de invierno, vuelan 120 km por día, en un promedio de 25 días (CONANP, 2001). Existen tres rutas migratorias. La primera se ubica por el lado del Pacífico en donde las mariposas que habitan en las montañas del suroeste de Canadá y el noroeste de los Estados Unidos, hasta llegar a lo largo de la costa entre San Francisco y San Diego. La segunda la

realizan algunas mariposas del sureste de Canadá y noreste de los Estados Unidos y se dirigen hacia Florida y pasan a Cuba y la Península de Yucatán. La tercera se origina en la región de los Grandes Lagos, al noreste de Estados Unidos y sureste de Canadá, penetra en México por Coahuila y Tamaulipas, pasan por la Sierra Madre Oriental a la altura de Monterrey y Saltillo, se dirigen por las montañas bajas de San Luis Potosí. Toman dirección suroeste acercándose a la Sierra Gorda y Querétaro. A principios de noviembre, las monarcas se van acercan a los sitios de hibernación, desde Bosencheve, El Oro, Amealco, Atlacomulco, San Felipe del Progreso, Anganguero, Ocampo, Maravatío y otras localidades de los estados de México y Michoacán (CONANP, 2001). En años recientes, su población se ha observado una disminución, entre las causas principales son originadas por el CC, frío fuertes en los lugares de invernación y fluctuaciones de frío/calor en primavera-verano en la etapa de fecundación y reproducción (Brower *et al.*, 2012; Vidal y Rendón 2014).

Entre los estudios de vulnerabilidad de la MM con escenarios de CC se tiene el de Oberhauser y Townsend (2003). Ellos proyectaron la distribución de la mariposa con escenarios del modelo climático HadCM2, para 50 años, los resultados fueron que las condiciones no serían propensas para la MM en invierno debido al aumento de las precipitaciones y bajas temperaturas lo que podría causar un aumento de la mortalidad. Saenz *et al.* (2012) proyectaron el nicho climático futuro del oyamel especie donde inverna la MM en la RBMM, con escenarios de los MCG: CGCM3, HadCM3 y CM2. Obtuvieron que el área ocupada por el oyamel disminuya con un descenso de 69,2 % en el 2030, 87,6 % para 2060, y 96,5 % para 2090; para la cual el hábitat de la MM ya no ocurrirá dentro de la RBMM.

Por lo anterior, el uso de escenarios de CC de escala mayor permite determinar la distribución espacial de las áreas amenazadas de la MM por el fenómeno climático. El cambio en el clima amenaza el bosque de oyamel y la degradación ambiental de los recursos naturales de la RBMM. El objetivo de este estudio fue determinar áreas potenciales dentro de la zona núcleo (ZN) de RBMM que reúnan las condiciones ambientales para el establecimiento de colonias de MM ante escenarios de CC obtenidos por el método de DownScaling y el Modelo de Ensamble Regional (MER).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas: 19° 59' 42" a 19° 57' 07" Norte y 100° 09' 54" a 100° 06' 39" Oeste para Altamirano y 19° 44' 27" a 19° 18' 32" Norte y 100° 22' 26" a 100° 09' 07" Oeste para el corredor Chincua-Cerro Pelón. Dentro de los municipios de Temascalcingo, San José del Rincón, Donato Guerra y Villa de Allende en el Estado de México, y Contepec, Senguio, Anganguero, Ocampo, Zitácuaro, y Aporo en el estado de Michoacán (*Figura 1*). Su extensión es de 56 259.275 ha, divididas en tres ZN con una superficie total de 13 551.445 ha y dos zonas de amortiguamiento de 42 707.830 ha de superficie total (CONANP, 2001).

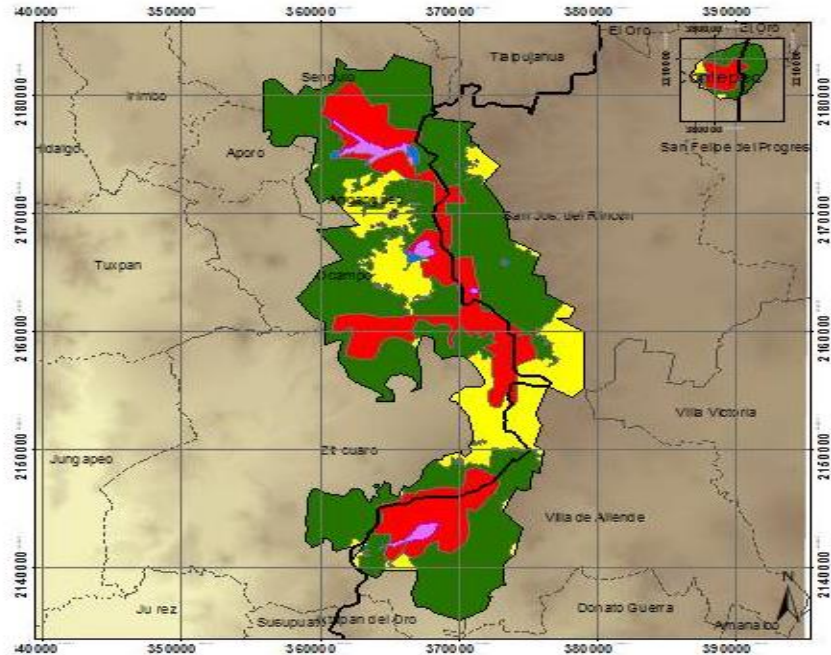


Figura 1.- Localización del área de estudio.

El clima predominante es templado subhúmedo Cw con lluvias en verano, temperaturas medias anuales de 8 °C a 22 °C, precipitaciones promedio de 700 mm hasta 1,250 mm, y temperaturas mínimas para el mes más frío de entre -3 °C y 18 °C. En las zonas con altitudes mayores a los 3 000 m se tienen condiciones semifrías (CONANP, 2001). La altitud varía de los 2 400 a 3 600 m, las máximas elevaciones corresponden en la parte norte a los cerros Campanario, 3 640 m, El Mirador 3 340 m, Pelón 3 500 m, Cacique 3 300 m, El Piloncillo y La Palma, 3 300 m. Predominan las pendientes pronunciadas, la mayor parte de la región presenta desniveles mayores a 15 grados (CONANP, 2001). Los suelos predominante son Andosoles húmico y órtico y en menor extensión Acrisoles, Planosoles, Feozem, Litosoles, Luvisoles, Cambisoles, Regosoles y Vertisoles (CONANP, 2001). La vegetación predomina el bosque de coníferas (representa 31.67 % de la superficie total de la RBMM): oyamel, en codominancia con *Pinus* spp. y *Juniperus* spp.; bosque de pino-encino (24.40 %); bosque de encino (14.28 %), coberturas diferentes (10.16 %) y otros usos del suelo (19.50 %) (López y Vega 2010).

Metodología

Los requerimientos ambientales del hábitat invernal de la MM se determinaron consultando las siguientes de fuentes bibliográficas: De la Maza (1995), Brower (1996), CONANP (2001), Bojórquez *et al.* (2003), Slayback *et al.* (2007) y Garduño (2011).

De acuerdo a los requerimientos ambientales se procedió a generar la caracterización cartográfica del hábitat invernal de la MM. Se emplearon coberturas espaciales de precipitación, temperatura máxima, mínima y media (de los meses de noviembre a marzo), altitud, pendiente y exposición. Con los datos obtenidos se realizó una matriz de requerimientos empleando dos categorías de aptitud: Apta y No Apta (*Cuadro 1*). La Apta son áreas que incluyen intervalos donde se encuentran las condiciones ambientales que necesita la especie para su establecimiento y la No Apta es donde no las cumple.

Cuadro 1.- Categorías de aptitud del terreno para el establecimiento hábitat de la mariposa monarca

	Categoría de Aptitud		
	Variable	Apto	No apto
Climáticos	Precipitación del período invernal (mm)	<68	>68
	Temperatura media del período invernal (°C)	9 a 12	<9, >12
	Temperatura mínima del período invernal (°C)	0 a 3	<0, >3
	Temperatura máxima del período invernal (°C)	17 a 19	>19
	Altitud (m)	2 819 a 3 400	<2 819 >3 400
Topográficos	Pendiente (%)	3-87	<3, >87
	Exposición	S, SO, O, NO, N, SE, NE	E

Coberturas climáticas. Las coberturas de clima actual: precipitación y temperatura, fueron generadas a partir de los datos elaborados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y actualizadas en 2003, con una resolución de pixel de 90 x 90 m (Díaz, 2007). Por otro lado, las coberturas de temperatura y precipitación con escenarios de CC se usaron para los años 2030 y 2050, y fueron obtenidas por el método de DownScaling y del MER. El primero utilizó los escenarios A2 y B2 de los MCG CGCM_2 y HadCM_3, y el segundo con el escenario A2 del MER.

Variabes topográficas. Las variables topográficas de altitud, pendiente y exposición se generaron a partir del modelo digital de elevación (MDE) con una resolución de 50 m; se obtuvo de la página electrónica de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datos relieve/continental/Descarga.asp>. El MDE fue procesado en el SIG ArcGis™ 10.2 en el módulo *Spatial Analysis* para obtener las coberturas. El procedimiento para generar las áreas de distribución potencial del hábitat de la MM fue mediante operaciones booleanas de las coberturas climáticas y topográficas, de acuerdo con la matriz de aptitud de los requerimientos ambientales, aplicados a toda la ZN de la RBMM, bajo dos modalidades: 1) Solo el área que cubre el bosque de oyamel (que es la especie arbórea donde establecen las colonias de la MM), y 2) en áreas de bosques de oyamel más pino, de pino-encino y encino-pino (donde ocasionalmente las colonias de la MM llegan a ocuparlos).

RESULTADOS

Superficie potencial actual

La superficie potencial actual del hábitat de la MM corresponde a 8 982.53 ha, el cual concierne a 66.22 % (con respecto a la superficie total de la ZN) de la superficie total de la ZN, y abarca tipos de coberturas, además de bosque de oyamel, bosques de pino, pino-encino y encino-pino. La distribución potencial actual, pero acotada solo al bosque de oyamel, se considera una superficie de 6 620.35 ha, es decir a 48.91 %.

Superficie potencial con escenarios obtenidos por el método de DownScaling en toda la ZN

Las áreas con requerimientos ambientales para hábitat de la MM en la ZN bajo escenarios de CC presentan diferentes valores. De acuerdo a los resultados del *Cuadro 2* los escenarios B2 son los que presentan mayores superficies potenciales para hábitat invernal de la MM. De la misma manera, el MCG CGCM_2 tuvo más alta las superficies con aptitud potencial. Las alteraciones de la superficie del hábitat bajo escenarios de CC con respecto a la distribución potencial actual en toda la ZN se presentan reducciones de superficie de 33.10 % hasta 51.09 % para el 2030 en toda la ZN, y datos más contrastantes, del 17.48 % hasta de 94.96 % para el 2050.

Cuadro 2.- Superficie potencial para hábitat de la MM con escenarios obtenidos mediante el método de DownScaling en toda la ZN

Año de proyección	Escenarios	CGCM_2		HadCM_3	
		Superficie (ha)	%*	Superficie (ha)	%*
2030	A2	4 393.71	32.41	5 404.68	39.87
	B2	4 714.91	34.78	6 009.21	44.33
2050	A2	5 347.16	39.45	5 024.25	37.06
	B2	7 412.12	54.68	452.60	3.34

*Porcentaje con respecto a la superficie total de la ZN.

Superficie potencial con escenarios obtenidos por el método de DownScaling aplicado a bosque de oyamel de la ZN

En el *Cuadro 3* se observa la superficie potencial del hábitat de la MM obtenidos por CC en el bosque de oyamel en la ZN.

Los datos indican que para el 2050 en el escenarios A2 y B2 del MCG HadCM_3, el área potencial para el hábitat de la MM se vería afectada severamente para el 2050 reduciendo su área a menos de 4.58 %. Todo indica que habrá mayores afectaciones de grandes proporciones mayores del 50 % de la superficie en la ZN del bosque de oyamel. La mayor privación se observa para el 2050 en el escenario A2 y B2 del MCG HadCM_3, que está por arriba de 94.40 %.

Cuadro 3.- Superficie potencial para hábitat de la MM en oyamel, obtenidos por el método de DownScaling en bosque de oyamel

Año de proyección	Escenario	CGCM_2		HadCM_3	
		Superficie (ha)	%*	Superficie (ha)	%*
2030	A2	1 591.65	19.68	1 688.85	20.88
	B2	1 907.55	23.58	3 566.43	44.09
2050	A2	1 406.97	17.39	287.55	3.56
	B2	2 576.61	31.86	370.17	4.58

*Porcentaje con respecto a la superficie del hábitat invernal de la MM sobre bosque de oyamel en la ZN.

Superficie potencial del hábitat invernal de la MM con escenario del MER

En toda la zona núcleo, el área potencial para el establecimiento del hábitat de la mariposa monarca con el MER para los diferentes años de proyección se presentan en el *Cuadro 4*.

Cuadro 4.- Distribución potencial del hábitat invernal con escenario A2 de MER

Año de proyección	En toda ZN (ha)	%^a	En área de oyamel de ZN (ha)	%*^b
2030	4 131.80	30.51	1 851.80	13.67
2050	3 367.70	62.51	0.00	0.00

^a Porcentaje con respecto a la superficie total de la ZN. ^b Porcentaje respecto a la distribución potencial actual del hábitat invernal de la MM sobre bosque de oyamel en la ZN.

Mediante el uso del escenario del MER, el principal daño se dará para el 2050, en los límites del bosque de oyamel, donde se observa que prácticamente la superficie potencial de hábitat invernal de la MM desaparecerá.

DISCUSIONES

Es importante mencionar que los valores de precipitación de los escenarios obtenidos de los modelos CGCM_2 y HadCM_3 por la técnica de DownScaling, están por debajo de los requerimientos del hábitat de la especie. Por consiguiente, difícilmente habrá condiciones naturales óptimas para el hábitat invernal de la MM. En la RBMM habrá menos precipitación y la temperatura tendrá modificaciones menores. A pesar de ello, se procedió a realizar la modelación de la distribución potencial con escenarios (A2 y B2) de DownScaling, usando la variable temperatura, con el fin de conocer el riesgo y aproximación espacial de las áreas afectadas. A diferencia del escenario A2 del MER, el procedimiento metodológico se incluyó todas las variables climáticas.

Los escenarios de los modelos HadCM_3 y CGCM_2 generados por el método de Downscaling muestran variaciones climáticas importantes en el futuro. Presentan valores de temperatura y precipitación muy por debajo de los patrones actuales y requeridos para la hibernación de la MM, y no tanto en el MER. Todo indica que habrá afectaciones en la capacidad del terreno en mantener las condiciones ambientales para el establecimiento de la MM en la región, puesto que el oyamel desaparecerá (Sáenz *et al.*, 2012).

La variable climática que fuertemente afectará al bosque de oyamel para los años 2030 y 2050 es la precipitación, ya que las condiciones futuras estarán por debajo de los requerimientos óptimos de la especie arbórea. Esto se puede soportar también con los estudios de vulnerabilidad de escala nacional realizado por Gómez *et al.* (2006); y por Gómez *et al.* (2007) que proyectan una disminución del área de bosques templados de 23 %. Ante estas previsiones de cambios en la vegetación y la reducción del bosque de oyamel, tienen coincidencia con los resultados de este estudio, lo cual traerá como consecuencia modificaciones al hábitat de la MM y su desplazamiento hacia otras regiones.

Adicionalmente, el hábitat de la MM también será afectado, además de la temperatura y precipitación, por eventos meteorológicos extremos generados por el cambio global. Ejemplo de ello fue el sucedido en 1992, cuando una fuerte precipitación con un descenso de la temperatura importante mató a más del 80 % de la población en el Santuario Piedra Herrada (Brower, 1996). Las condiciones de sequía provocarán estrés en los árboles de oyamel, lo que originaría amplia susceptibilidad a plagas y enfermedades, como actualmente se observa por muerte descendente en árboles de la RBMM (Garduño, 2011).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los escenarios de los modelos CGCEM_2 y HadCM obtenidos mediante la técnica de Downscaling y el MER, el hábitat invernal de la MM en la ZN de la RBMM será vulnerable ante el CC. Las condiciones climáticas futuras impedirán el desarrollo de la vegetación del oyamel donde se establecen las colonias anualmente en la ZN de la RBMM; y por consiguiente desaparecerá el hábitat invernal del área geográfica bajo estudio.

LITERATURA CITADA

- Biringer, J. (2003). *Forest ecosystems threatened by climate change: promoting long-term forest resilience*. En L. J. Hansen, J. L. Biringer And J. R. Hoffman, (Eds.), *Buying Time: A user's Manual for Building Resistance and Resilience to Climate Change in Natural Systems*. WWF. (pp: 43-71), Washington, U.S.A.
- Bojórquez, T. L. A., Brower, P. L., Castilleja, G., Díaz, S., Sánchez, C. S., Gómez, P. P., Alcantar, G., Melgarejo, E., Solares, M., Gutiérrez, L., Juárez, M., Hernández, M. y Calvert, W. (2003). *Mapping expert knowledge: Redesigning the monarch butterfly reserve*. *Conservation Biology*, 17, 367-379.
- Brower, L. (1996). *Monarch butterfly orientation: missing pieces of a magnificent puzzle*. *The Journal of Experimental Biology*, 199, 93-103.
- Brower, L., Taylor, O. R., Williams, E. H., Slayback, D. A., Zubieta, R. R. y Ramírez, M. I. (2012). *Decline of monarch butterflies overwintering in Mexico: is the migratory phenomenon at risk?* *Insect Conservation and Diversity*, 5, 95–100.
- Cano, R., López, J. F., Cofiño, A. S., Gutiérrez, J. M. y Rodríguez, M. A. (2001). *Aplicación de métodos de clasificación al downscaling estadístico*. En V Simposio Nacional de Predicción. Editorial Instituto Nacional de Meteorología. Disponible en: http://grupos.unican.es/ai/meteo/articulos/snp01_downscaling.pdf. Fecha de consulta 05 de mayo de 2012.
- Conde, A. A. C. y Gay, G. C. (2008). *Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México, D. F. 104 p. Fecha de consulta 15 de septiembre de 2015. Disponible en: http://www.atmosfera.unam.mx/cclimat/Taller_CCA_INE_dic08/Guia_escenarios.pdf
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2001). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. México. 140 p. Disponible en: http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/monarca.pdf. Fecha de consulta 24 de abril de 2012.
- Chefaoui, R. M., Hortal, J. y Lobo, J. M. (2005). *Potential distribution modeling, niche characterization and conservation status assessment using GIS tools: a case study of Iberian Copris species*. *Biological Conservation*, 122, 327 – 338.

- Delgado, T. y Suárez, D. D. (2009). *Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria Reserva Ecológica El Ángel bosque protector golondrinas en el norte del Ecuador*. *Ecología Aplicada*, 8, 37-36.
- De la Maza, E., R. G. (1995). *La monarca del vuelo*. *Revista Ciencias*, 37, 4-18.
- Del Valle, H. F. (2008). *Controversias y tendencias de la modelación cartográfica ambiental*. En Cantú M. P., Becker A. R. y Bedano J. C., (Eds.), EFUNARC. *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en Sistemas Agropecuarios*. (pp: 89-96). Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Díaz, G. (2007). *Potencial agroproductivo de especies forestales en México*. En Fernández R., Ortíz C., Reyes M., Legorreta P., García G., (Eds.), *Reporte anual de investigación e innovación tecnológica*. INIFAP. (304 p.), México, D. F.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). (2003). *La fauna silvestre en un clima cambiante*. Estudios FAO: Montes 167. Roma, Italia. 114 p.
- Garduño, B. N. (2011). *Diagnóstico Fitosanitario Forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. Gobierno del Estado de México. Toluca, Estado de México. 106 p. Disponible en: <http://transparencia.edomex.gob.mx/sma/informacion/publicaciones/archivo%20a18.pdf>. Fecha de consulta 23 de enero de 2012.
- Gómez, D., Monterroso, R. A., Tinoco, R. A. y Toledo, M. L. (2006). *Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Sector forestal. Informe Técnico. México, D. F. 93 p.
- Gómez, D. J. D., Monterroso, R. A., Tinoco, R. A. y López, G. J. (2007). *Comportamiento de la vegetación bajo escenarios de cambio climático en la reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México*. *Zonas Áridas*, (11), 61-69.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). (1997). *Introducción a los modelos climáticos simples utilizados en el segundo informe de evaluación del IPCC*. En Houghton J., Meira G., Griggs D., Maskell K. (Ed.), (60 p.), Ginebra, Suiza.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad*. – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea y L. L. White (Eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34p. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf. Fecha de consulta 15 de septiembre de 2015.
- López, G. J. y Vega G. A. (2010). *Vegetation and land use 2009: Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico*. *Journal of Maps*, 665-673.

Lorente, I., Gamó, D., Gómez, J. L., Santos, R., Flores, L., Camacho, A., Galindo, L. y Navarro, J. (2004). *Los efectos biológicos del cambio climático*. Ecosistemas, 13 (1), 103-110.

Magaña, V. (2007). *Elaboración de escenarios de cambio climático para la región de estudio en el Golfo de México*. Informe final de trabajo. SEMARNAT, México, D. F. México. 92 p.

Magaña, V. y Caetano, E. (2007). *Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM, INE, SEMARNAT. México D.F. 41 p.

Oberhauser, K. y Peterson, A. T. (2003). *Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(24), 14063-14068.

Ortiz, P. A. C. y Zapata, P. J. (2010). *Implicaciones históricas y biológicas del cambio climático*. Publicación Científica en Ciencias Biomédicas, 8(13), 102-114.

Ruppert, E. y Barnes, R. (1996). *Zoología de los Invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. México, D. F. 1114 p.

Sáenz, R. C., Rehfeldt, G., Duval, P. y Linding, C. R. (2012). *Abies religiosa habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in México*. Forest Ecology and Management, 275, 98-106.

Sandoval, V. y Real, P. (2005). *Modelación y prognosis estadística y cartográfica del cambio en el uso de la tierra*. Bosque, 26(1), 55-63.

Slayback, D. A. y Brower, P. L. (2007). *Further aerial surveys confirm the extreme localization of overwintering monarch butterfly colonies in Mexico*. American Entomologist, 53 (3), 146-149.

Vidal, O. y Rendón, S. E. (2014). *Dynamics and trends of overwintering colonies of the monarch butterfly in Mexico*. Biological Conservation, 180, 165–175.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo de investigación derivado del proyecto 148358 titulado “Riesgo del hábitat invernal de la Mariósa Monarca por *Scolytus mundus* y Cambio Climático” financiado por Fondo CONAFOR-CONACYT 2010-C02.

SÍNTESIS CURRICULAR

Ramiro Pérez Miranda

Doctorado en Ciencias Forestales (2003-2007) por el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. Maestría en Edafología (1998-1999) por el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. Ingeniero en Agroecología (1990-1995) por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. Cargo actual Investigador Titular C del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento en Ecosistemas Forestales del INIFAP. Laboratorio de Geomática. México, D. F. Áreas de trabajo: manejo y planeación de los recursos naturales, zonas potenciales, aptitud del terreno, ordenamiento territorial ecológico, análisis espacial (sistemas de información geográfica, geoposicionadores y percepción remota), modelación cartográfica. Correo electrónico: perez.ramiro@inifap.gob.mx, teléfono: 01 (55) 36 26 87 00 ext. 406 y 401.