



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

Escenarios de Cambio Climático en la
Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

Tesis

Para obtener el grado de

Licenciada en Geografía

Presenta

Yessica Sandoval Vázquez

Asesora

Dra. Leticia Gómez Mendoza

Ciudad Universitaria, CDMX, 2021





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradezco el apoyo para la realización de esta tesis al Proyecto PAPIME

Clave: PE303514: Clima, naturaleza y sociedad bajo la responsabilidad:

Dra. Leticia Gómez Mendoza (2014-2015)

A todas las queridas personas que hicieron posible llegar al final de este trabajo.

Cuando la telaraña sutil se mueva sin que haya viento, y, vaneciendo, suaves ondeen las flamas de los candiles, o, en un tiempo apacible, con problema ardan fuego y candiles, desconfía del mal tiempo. ¿Cómo te cuento tantas señales que se dan a los hombres?

Arato, Fenómenos.

Agradecimientos

Quiero agradecer especialmente a los revisores, por sus acertados aportes para la realización de este trabajo; a la Mtra. Angélica Margarita Franco por sus enseñanzas y comprensión en todo momento, al Dr. Abraham Navarro por el entusiasmo e interés a lo largo de todo el trayecto, a la disposición y valiosos aportes del Mtro. José Manuel Espinoza y al Mtro. Enrique por ayudarme a reforzar el aprendizaje obtenido a lo largo de la carrera.

También al Mtro. Luis Clemente Bravo, por su guía y compañía, y a Isaac por todo el apoyo y cariño.

Agradezco las consideraciones que la Dra. Leticia Gómez Mendoza tuvo en todo momento.

La disposición y el ánimo que me ha brindado para no renunciar.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	5
Justificación	6
Marco conceptual.....	8
Marco teórico.....	10
Objetivo general.....	14
Objetivos particulares	15
CAPÍTULO I	17
DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	17
1.1 Ubicación geográfica	17
1.2 Caracterización física.....	17
1.3 Flora y Fauna	18
1.4 Población.....	21
1.5 Actividades económicas.....	21
CAPÍTULO II	26
METODOLOGÍA Y DATOS	26
2.1 Base de Datos Climatológica	29
2.1.1 Prueba de funcionamiento.....	31
2.2 Series de tiempo.....	36
2.2.1 Precipitación.....	36
2.2.2 Temperatura	37
2.3 Búsqueda hemerográfica.....	37
2.4 <i>DesInventar</i> (Sistema de Inventario de Desastres)	37
2.5 Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico GETM-LARS.....	38
2.6 Interpolación del inverso de la distancia IDW (Inverse Distance Weighting)	40
2.6.1 Elaboración de mapas	41
CAPÍTULO III	45
RESULTADOS	45

3.1 Climatología actual	45
3.1.1 Región I.....	45
3.1.2 Región II	46
3.1.3 Región III	47
3.1.4 Región IV	48
3.2 Tendencia actual del clima en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.....	50
3.2.1 Precipitación promedio diaria	50
3.2.2 Temperatura máxima promedio diaria.....	52
3.2.3 Temperatura mínima promedio diaria.....	54
3.3 Eventos atmosféricos extremos en la región.....	56
3.3.1 Precipitación extrema diaria.....	58
3.3.2 Temperatura máxima extrema diaria	60
3.3.3 Temperatura mínima extrema diaria.....	62
3.4 Series históricas.....	64
3.4.1 Precipitación.....	64
3.4.2 Temperatura del aire en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	68
3.5 Documentación de eventos extremos.....	70
3.6 Proyecciones a 25 años para eventos atmosféricos extremos	74
3.6.1 Precipitación extrema diaria escenario A2, 25 años	74
3.6.2 Temperatura máxima extrema diaria escenario A2, 25 años	76
3.6.3 Temperatura mínima extrema diaria, escenario A2, 25 años.....	78
3.7 Escenarios de Cambio Climático	80
3.7.1 Precipitación promedio diaria, escenario de cambio climático A2 (25 años).....	81
3.7.2 Temperatura máxima promedio diaria, escenario de cambio climático A2 (25 años)	83
3.7.3 Temperatura mínima promedio, escenario de cambio climático A2 (25 años)	85
Conclusiones.....	89
Referencias bibliográficas.....	93
Referencias electrónicas.....	95

FIGURAS

FIGURA 1. ZONAS NÚCLEO Y ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM)	3
FIGURA 2. FAMILIAS DE ESCENARIOS DE EMISIONES	13
FIGURA 3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CLIMATOLOGÍA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	28
FIGURA 4. AÑOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	32
FIGURA 5. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL	35
FIGURA 6. VECINDAD DE IDW DEL PUNTO SELECCIONADO	41
FIGURA 7. PALETA DE COLORES PARA LA CARTOGRAFÍA	43
FIGURA 8. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA TEPUXTEPEC (16129).	46
FIGURA 9. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA CHINCUA (16033)	47
FIGURA 10. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA ENCARNACIÓN (16192)	48
FIGURA 11. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EL BOSQUE (16036).	49
FIGURA 12. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	51
FIGURA 13. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	53
FIGURA 14. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	55
FIGURA 15. PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	59
FIGURA 16. TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	61
FIGURA 17. TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	63
FIGURA 18. SERIE HISTÓRICA DE PRECIPITACIÓN (1980-2020) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA	67
FIGURA 19. SERIE HISTÓRICA DE ANOMALÍAS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE (1950-2020) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA	71
FIGURA 20. PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	75
FIGURA 21. TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	77
FIGURA 22. TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.	79
FIGURA 23. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS	82
FIGURA 24. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS	84
FIGURA 25. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS	86

RESUMEN

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca es una de las Áreas Naturales Protegidas más importantes de México, categorizada por la UNESCO en el año 2008 como “Bien Natural”, con la finalidad de preservar y dar a conocer la importancia de la diversidad biológica que alberga. Presta una gran variedad de servicios ecosistémicos, como la captación de agua de la cuenca del Río San Juan Zitácuaro que sirve como fuente de abastecimiento para la Ciudad de México y la captura de carbono a partir de la biomasa generada por los bosques de pino-encino y oyamel. Sin embargo, una superficie importante de hectáreas se pierde cada año debido a la presencia de fenómenos atmosféricos extremos, derivados del cambio climático y de la variabilidad natural del clima. Con la realización de los Escenarios de Cambio Climático regionalizados se pretende conocer cuáles serán los posibles impactos generados en la tendencia de la climatología en el año 2035 por los diferentes eventos atmosféricos extremos si, la dinámica poblacional continúa en crecimiento con un desarrollo económico y tecnológico fragmentados. Los principales resultados obtenidos de este proyecto de investigación serán la generación de mapas de Escenarios de Cambio Climático para las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, donde se pueda visualizar cuáles serán las zonas más afectadas dentro de la región de estudio con lo cual se espera que en el plan de manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, se creen medidas de mitigación correspondientes con los cambios proyectados en los escenarios.

ABSTRACT

The Monarch Butterfly Biosphere Reserve is one of the most important Protected Natural Areas in Mexico, categorized by UNESCO in 2008 as "Natural Asset", in order to preserve and publicize the importance of the biological diversity that it houses. It provides a great variety of ecosystem services, such as the capture of water from the San Juan Zitácuaro river basin that serves as a supply source for Mexico City and the capture of carbon from the biomass generated by the pine-oak forests and oyamel. However, an important area of hectares is lost each year due to the presence of extreme atmospheric phenomena, derived from climate change and natural climate variability. With the realization of the regionalized Climate Change Scenarios, it is intended to know what will be the possible impacts generated in the climate trend in the year 2035 by the different extreme atmospheric events if the population dynamics continues to grow with a fragmented economic and technological development. The main results obtained from this research project, will be the generation of maps of Climate Change Scenarios for the variables of maximum temperature, minimum temperature and precipitation, where it can be visualized which will be the most affected areas within the study region, thereby It is expected that in the management plan of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, mitigation measures will be created corresponding to the changes projected in the scenarios.

INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) fue decretada en el año 2000 para proteger 56,259 ha de bosque templado a lo largo de las montañas de la Faja Volcánica Transmexicana (DOF, 2000). Dentro de la reserva existen subzonas de preservación, de uso tradicional, de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de los ecosistemas, que son denominadas zonas de amortiguamiento; estas subzonas conforman el 75.91% del total del Área Natural Protegida (ANP), correspondiente a 42,707 ha. La zona de amortiguamiento incluye bosques templados y zonas agrícolas que protegen las zonas núcleo del impacto exterior. En las zonas de amortiguamiento sólo pueden realizarse actividades productivas dirigidas hacia el desarrollo sustentable, por las comunidades que habitan en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca desde el momento de la expedición de su declaratoria como ANP; asimismo, las actividades de aprovechamiento deben cumplir con dichos requerimientos para lograr las condiciones necesarias de conservación del ecosistema a largo plazo. Otro tipo de actividades que se realizan en las zonas de amortiguamiento son las educativas, en las cuales, asociaciones civiles y organizaciones sin fines de lucro capacitan a las comunidades rurales en el uso, manejo y valoración de los recursos naturales, con el objetivo de recuperar y conservar los ecosistemas y elevar la calidad de vida de sus habitantes (SEGOB, 2013).

Las actividades turísticas y recreativas constituyen otra manera de aprovechamiento del paisaje de la RBMM. Desde mediados de los años ochenta se ha convertido en un polo de atracción turística durante la temporada de hibernación y reproducción de la mariposa monarca; sin embargo, deben ser actividades de bajo impacto y sujetas a estrictas medidas

de control para no modificar el ecosistema; estas actividades generan empleos temporales y una derrama económica local importante. La investigación científica y el monitoreo del ambiente se pueden llevar a cabo tanto en zonas de amortiguamiento, como en zonas núcleo, siempre y cuando no se comprometa la estabilidad y equilibrio del ecosistema (CONANP, 2001).

Las zonas mejor conservadas, o no alteradas, son clasificadas como zonas núcleo, se componen por tres zonas principales, que contienen la mayoría de los santuarios de la mariposa monarca, en el norte el Cerro Altamirano, en la zona central, la Sierra de Chincua, Sierra el Campanario y Cerro Chivatí – Huacal, y en la zona sur el Cerro Pelón (Galindo–Leal y Rendón–Salinas, 2005). Dichos santuarios, se ubican por arriba de los 2,300 msnm, representan el 24% restante de la superficie protegida de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca con 13,552 ha, son de especial importancia porque presentan ecosistemas o fenómenos naturales; especies de flora y fauna que no se presentan en otro lugar y requieren protección específica (CONANP, 2001) (Figura 1).

En el año 2008, la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca fue nombrada Patrimonio de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), con el objetivo de preservar y dar a conocer a las generaciones futuras la importancia de la diversidad biológica que alberga, el fenómeno migratorio de la mariposa monarca y la estrecha relación de las comunidades campesinas con su entorno, dentro de una ANP (UNESCO, 2008).

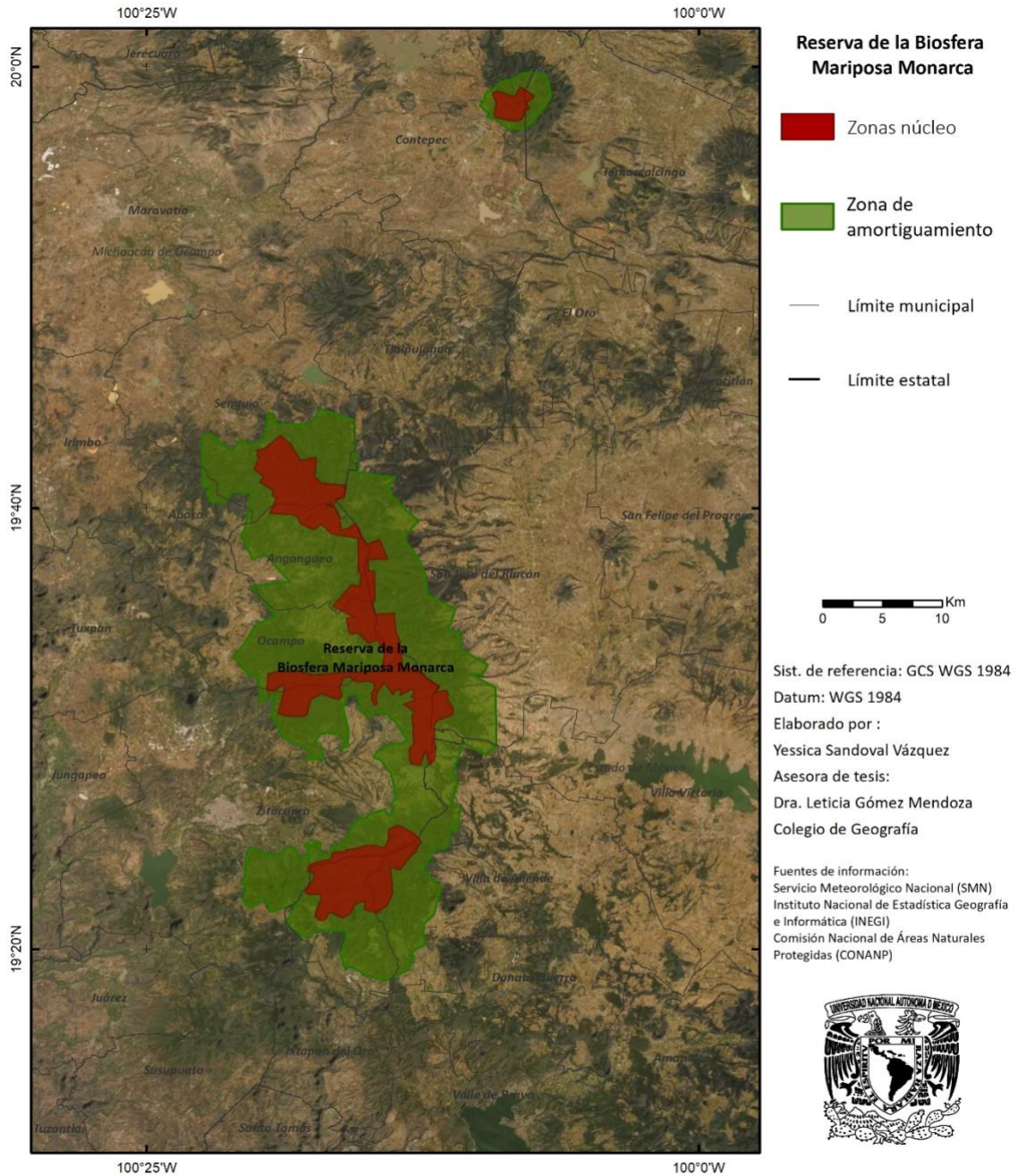


FIGURA 1. ZONAS NÚCLEO Y ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE LA CONANP.

En la RBMM se presenta el fenómeno natural de la migración de la mariposa monarca durante la época de invierno en los bosques de oyamel del centro-occidente mexicano. Este fenómeno es ancestralmente conocido por los pueblos y comunidades indígenas, campesinos y pobladores de la región. Los Purépechas que habitaron la zona antes de la llegada de los españoles, consideraban la mariposa monarca “*el alma de los muertos*” e interpretaban su llegada como el anuncio de la visita de los difuntos, debido a la fecha de su arribo, los días primero y segundo de noviembre (CONANP, 2001).

Las culturas de Mazahuas y Otomíes asociaron la mariposa con los ciclos de producción agrícola llamándola “*cosechadora*”, pues llegaba durante la etapa de las labores de cultivo y se retiraba al inicio de la preparación de la siembra (CONANP, 2001).

Planteamiento del problema

Las variaciones climáticas a las que se enfrenta la población hoy en día generan consecuencias a diferentes niveles en donde los humanos se interrelacionan con los componentes físicos y biológicos del ecosistema. Uno de los peligros para la diversidad biológica es la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, tales como fríos severos, veranos fríos o las temperaturas invernales que se han vuelto más frecuentes e intensas en los últimos años (Rendón-Salinas, 2013). Del año 2001 al 2012 ha habido un decremento de la biodiversidad en las zonas núcleo de la RBMM, 112 ha han sido afectadas por inundaciones, fuertes vientos, sequías e incendios. Durante el periodo comprendido entre los años del 2009 al 2011, 115 ha de bosque fueron afectadas por inundaciones, fuertes vientos, sequías e incendios, y 29 ha más han sido afectadas por la sequía y plantas parasitarias en el 2012 y 2013 (Vidal *et al.*, 2014). Asimismo, en el año 2014, 2.81ha fueron degradadas por la sequía, precipitaciones severas, nevadas y bajas temperaturas que causaron una mortandad masiva en los sitios de hibernación, entre estos fenómenos una tormenta que afectó aproximadamente a 2.5 millones de mariposas en enero de 1981 (Calvert *et al.*, 1983).

A pesar de que no se puede pronosticar con precisión cuándo se presentará un evento extremo, se pueden analizar estadísticas y la ocurrencia de dichos fenómenos para saber si, a medida que transcurre el tiempo, éstos son más frecuentes. Por ello, los escenarios de cambio climático son una herramienta útil para proyectar la climatología futura de la zona de estudio y sus sitios más vulnerables.

Los escenarios de cambio climático ofrecerán una perspectiva sobre los futuros cambios en la temperatura y precipitación; de esta manera, será posible evaluar cuáles serán

las mejores acciones de conservación y adaptación para los bosques y cultivos en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Vidal, López–García y Rendón–Salinas, 2014).

Justificación

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca alberga miles de organismos vivos que, en conjunto con los factores geográficos, constituyen el hábitat propicio para la conservación, reproducción de especies y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Sin embargo, debido a las frecuentes variaciones climáticas, existe incertidumbre sobre cuál es el futuro de los eventos atmosféricos extremos, los cuales son cada vez más intensos y afectan tanto a las sociedades que interactúan con la biota, como a las poblaciones de flora y fauna que la ANP está destinada a conservar. Una manera de estimar las variaciones climáticas a las que la población podría estar expuesta en el futuro cercano y lejano, es con la generación de Escenarios Regionales de Cambio Climático, donde se requiere la información de las series de datos de variables climáticas, a escala local, de tal forma que, al reducir la escala estadísticamente, mediante un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM) y con base en la familia de líneas evolutivas y escenarios A2, las proyecciones de Cambio Climático para la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, se aproximen más a la realidad.

Con las series de tiempo obtenidas a través del Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico, se podrán interpolar los valores de las variables para realizar mapas, donde se representarán las proyecciones de los escenarios de cambio climático para la región de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, y se efectuará el análisis e interpretación de los resultados, con los cuales se podrá prevenir a las comunidades, en caso de que sea

necesario, para la creación de medidas de adaptación para los cultivos, que sean afines a la tendencia del clima y de los eventos extremos que se observen con mayor frecuencia.

Los Escenarios de Cambio Climático no servirán simplemente para observar los cambios entre la climatología actual y la futura, sino también se podrán utilizar dentro de las Áreas Protegidas, pues en los Programas de Manejo, se implementan estrategias de cambio climático con base en la información que los escenarios de temperatura y precipitación aportan, para así reducir la vulnerabilidad ante los impactos de condiciones extremas del tiempo y clima. El estudio de la vulnerabilidad derivada del cambio climático considerará factores como la naturaleza y la magnitud de la variabilidad climática; el capital natural y humano en riesgo y sobre todo la capacidad de las comunidades y ecosistemas para adaptarse y enfrentarse a los impactos de dichos fenómenos (ECCAP, 2010).

De este modo, los escenarios de cambio climático para la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca aportarán información útil para enfrentarse a las amenazas que representan los eventos atmosféricos extremos, e intervenir creando y ejerciendo medidas de protección, adaptación y conservación dentro de la región con tal de que sufra las menores alteraciones posibles en sus comunidades.

Marco conceptual

Áreas Naturales Protegidas. Es una superficie de mar y/o tierra para la protección y conservación de la diversidad biológica, recursos naturales y culturales, manejada a través de medios jurídicos, tradicionalmente consideradas como parques nacionales y reservas naturales (UICN, 2000).

Cambio climático. De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), es el cambio del clima, el cual se le puede atribuir directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera, sumado a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

Dicha variabilidad puede persistir hasta varias décadas; sin embargo, debe hacerse hincapié entre la diferencia de uno y otra, pues la variabilidad climática es atribuida particularmente a causas naturales mientras que el cambio climático se le atribuye principalmente a la influencia de la actividad humana.

Fenómeno meteorológico extremo. Es un fenómeno raro en un lugar y época del año determinados. La rareza de un fenómeno meteorológico extremo sería normalmente igual o superior a la de los percentiles 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada. Un fenómeno meteorológico extremo no puede ser atribuido directamente a un cambio climático antropógeno, ya que hay siempre una probabilidad finita de que haya sucedido de manera natural. Cuando una pauta de actividad atmosférica extrema persiste durante cierto tiempo (por ejemplo, durante una estación), puede clasificarse como episodio climático extremo, especialmente si arroja un promedio o un total que es en sí mismo un valor extremo, por ejemplo, sequías o precipitaciones (IPCC, 2007).

Percentil. Es el valor que indica, sobre una escala de cero a cien, el porcentaje de valores de un conjunto de datos que son iguales o inferiores a él. Suele utilizarse para estimar los extremos de una distribución (IPCC, 2007).

Adaptación. Se refiere en general, a la conciliación de los sistemas humanos o naturales a nuevos entornos. Mientras que la adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes de los mismos sistemas a climas futuros y reales, o sus efectos, donde pueden aprovechar los beneficios del entorno (IPCC, 2001 a, b, c).

Escenario de cambio climático. De acuerdo con el IPCC (2010), Un escenario es una descripción posible de un futuro estado del mundo, no es un pronóstico, sino una imagen alternativa de cómo el futuro puede desarrollarse. Se basa en conjuntos de relaciones climatológicas y muestra las consecuencias del cambio climático antropogénico, en ocasiones, para su elaboración requieren información del clima observado en un momento determinado. Un escenario es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual. Para comprender los escenarios, es necesario conocer que se componen de:

Historia: Una descripción narrativa de un escenario, destacando las principales características y dinámicas del escenario y las relaciones entre las fuerzas impulsoras.

Familia de escenarios: Uno o más escenarios que tienen la misma trama demográfica, político-social, económica y tecnológica (IPCC, 2010).

Generador estocástico de tiempo meteorológico, LARS –WG. Es un modelo estadístico que puede regularse por condiciones de gran escala al momento de producir condiciones de tiempo local, permite la reducción de escala temporal como datos diarios a partir de medias

mensuales o estacionales. Se aplica principalmente para la elaboración de escenarios de cambio climático (Racsko *et al*, 1991; Semenov *et al*, 1998; Semenov y Brooks, 1999).

Reducción de escala, es un método, por el cual se deriva información de escala local a escala regional (10 a 100 km), partiendo de modelos de mayor escala o del análisis de datos. Existen dos métodos: 1) la reducción de escala dinámica, este método utiliza los resultados de modelos climáticos de escala regional y modelos globales con una resolución espacial variable o modelos globales con una alta resolución. 2) el método empírico-estadístico desarrolla relaciones que vinculan las variables atmosféricas de gran escala con las variables climáticas locales-regionales. Sin embargo, en cualquiera de los casos, los modelos tienen una importante limitación, en cuanto a la calidad de la información que ha sido reducida de escala (IPCC, 2013).

Marco teórico

Este estudio se deriva de la necesidad de obtener información sobre la climatología actual y las proyecciones futuras de ésta, en la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, a través de la reducción de la escala de los datos, mediante el uso del generador estocástico de tiempo meteorológico GETM-LARS, con base en la familia de escenarios A2 del IPCC.

Existen diferentes métodos para generar escenarios de cambio climático, los cuales dependen de la tecnología e información disponible para el área de estudio. Generalmente se basan en la interpretación del problema del posible clima futuro y de la incertidumbre propia de las proyecciones en sistemas complejos como el clima (Conde y Gay, 2008).

De acuerdo con la Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional (2008), uno de los recursos más avanzados, que se encuentran disponibles,

son los Modelos de Circulación General (GCM *por sus siglas en inglés*), basados en las leyes físicas fundamentales para simular los procesos que ocurren en un rango amplio de escalas espaciales y temporales. Significan un recurso para la construcción de escenarios de cambio climático, principalmente para las variables de temperatura y precipitación con proyecciones en diferentes horizontes.

Debido a la escala en la que se requiere generar los escenarios de cambio climático, es necesario aplicar una técnica de regionalización donde el clima no esté caracterizado únicamente por los factores de gran escala que aportan los GCM, los cuales, de acuerdo con Semenov y Barrow (1997), tienen una resolución espacial y temporal ineficiente.

La reducción de escala es más que un proceso de interpolación de una malla de baja resolución a una de alta resolución, puesto que actualmente se emplean esquemas que cumplan ciertas consideraciones físicas.

En el contexto del cambio climático, la reducción de escala puede basarse en diferentes aproximaciones, las cuales se dividen en cuatro formas principales:

1. Métodos de regresión.
2. Aproximaciones basadas en patrones de tiempo.
3. Generadores estocásticos de tiempo.
4. Modelos dinámicos de área limitada.

Para este caso de estudio, se utilizó el generador estocástico de tiempo meteorológico LARS-WG, el cual simula series de tiempo diario en un lugar determinado. Éstas, pueden ser tanto actuales como futuras. Con el uso de un generador estocástico de tiempo

meteorológico, se pueden procesar datos de una manera sencilla para lapsos de varios años, o escalas de tiempo diarias, donde se incorporan cambios tanto en el clima mensual como en la variabilidad climática (Semenov y Barrow, 1997).

El método de reducción de escala por medio de un GETM, es considerado uno de los más simples para obtener una gran muestra de datos diarios a partir de datos con resoluciones temporales de orden mensual de tal forma que, es necesario contar con suficientes datos observados para poder derivar relaciones estadísticas entre las diferentes escalas, ya que las escalas mensuales permiten inferir directamente la estructura diaria de los cambios esperados (Zermeño, 2008).

Para la elaboración de los escenarios, se requiere seguir una tendencia del estado actual del clima, por lo que, en el año 2000, el IPCC publicó un nuevo conjunto de escenarios para el Tercer Informe de Evaluación en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (*SRES por sus siglas en inglés*). Dichos escenarios se elaboraron para explorar futuros desarrollos en el entorno global, con un interés especial hacia la producción de gases de efecto invernadero y las emisiones de aerosoles (Nakicenovic *et al.*, 2000).

De acuerdo con el IPCC (2010), para describir de manera coherente las relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución, así como para añadir un contexto cuantitativo a los escenarios, se desarrollaron cuatro líneas evolutivas diferentes, basadas en una dirección de los acontecimientos futuros. Cada una representa una tendencia demográfica, social, económica, tecnológica y medio ambiental, que puede ser valorada positiva o negativamente.

El conjunto de escenarios basados en una misma línea evolutiva constituye una “familia” de escenarios donde se incluyen emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O). hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF₆), hidroclorofluorocarbonos (HCFC), clorofluorocarbonos (CFC), el precursor de aerosoles y los gases químicamente activos dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVDM).

En la Figura 2, se encuentra representada cada familia de escenarios de emisiones con las características que la definen y el enfoque hacia donde se encuentra orientada, ya sea más regional, global, económico o ecológico.

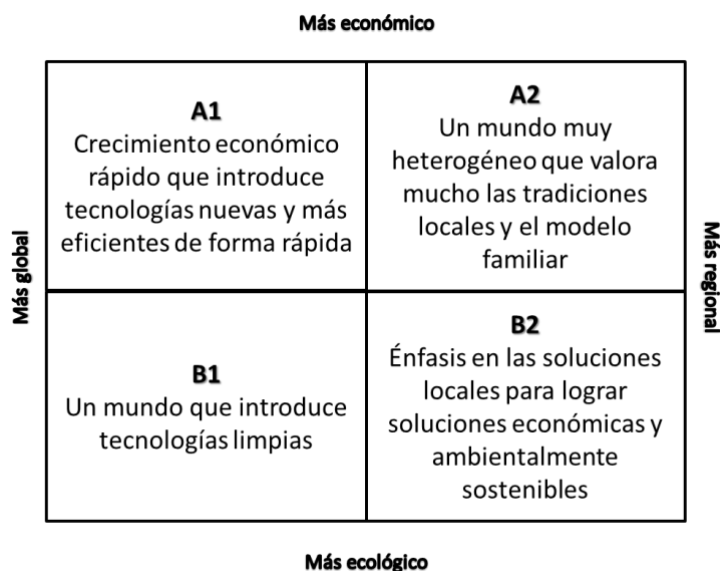


FIGURA 2. FAMILIAS DE ESCENARIOS DE EMISIONES

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DEL IPCC, 2010.

Las cuatro líneas evolutivas combinan dos series de tendencias divergentes: una serie desarrolla las variaciones entre valores económicos y ambientales; la otra serie explora las variaciones entre mayor globalización y regionalización (Nakicenovic *et al.*, 2000)

De esta manera y debido a la dinámica que se observa tanto en la RBMM como en México, al ser un país en desarrollo que tiende a ser más vulnerable ante el cambio climático que otros países, se eligió realizar los escenarios con base en la familia de líneas evolutivas y escenarios A2, la cual considera variables económicas y regionales, ya que describe un mundo muy heterogéneo en cuanto a emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Sus características principales son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Además, una población mundial que se encuentra en continuo crecimiento, donde el desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas (IPCC, 2010).

Con base en lo anterior, esta investigación pretende responder la pregunta:

¿Cuál sería la climatología futura de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, a partir de la aplicación de un modelo estocástico del clima a una escala regional?

Objetivo general

Caracterizar la climatología actual y futura de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca con los datos diarios de las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, obtenidos de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a partir de la aplicación de un modelo estocástico del clima.

Objetivos particulares

A) Elaborar series de tiempo para identificar los eventos atmosféricos extremos en la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

B) Identificar los sitios más afectados por la frecuencia de eventos extremos tales como precipitaciones extraordinarias, ondas de calor y olas frías.

C) Elaborar mapas de escenarios de cambio climático para las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

1.1 Ubicación geográfica

La Región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca está situada al Oriente del Estado de Michoacán en los límites con el poniente del Estado de México, abarca los municipios de Temascalcingo, San Felipe del Progreso, Donato Guerra, Villa Allende, en el Estado de México; y Contepec, Senguio, Angangueo, Ocampo, Zitácuaro y Aporo, en el Estado de Michoacán (GOB MX, 2016)

1.2 Caracterización física

Geología, fisiografía e hidrología

El área se caracteriza por la presencia de cuerpos volcánicos originados en el Cenozoico medio y tardío, donde abundan rocas ígneas extrusivas; principalmente basaltos, riolitas y tobas sobre las cuales se desarrollan suelos clasificados como: andosol, luvisol, acrisol y litosol, ricos en nutrientes y todos ellos con aptitud forestal (INEGI, 1982; Aguilera, 1989).

De acuerdo con la regionalización físico-geográfica del Estado de Michoacán de Ocampo (Espinoza y Bollo, 2017) la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca se encuentra en la provincia físico-geográfica del Eje Neovolcánico Transmexicano, en la subprovincia Mil Cumbres, que comprende los distritos de Zitácuaro-Cerro Prieto-Santuario Mariposa Monarca.

La región de estudio posee un sistema montañoso discontinuo, intensamente disectado por procesos tectónicos, compuesto de un conjunto de sierras y lomeríos, que se encuentran en la región centro-sur, separadas por pequeños valles intermontanos, y llanuras que abarcan menores porciones del territorio (CONANP, 2001).

Las pendientes varían de 0° a 66°, aquellas más pronunciadas (>20°); cubren el 40% de la Reserva, distribuidas en toda el área con orientación de laderas sureste y sur, con una relación directa entre pendientes escarpadas y áreas boscosas mejor conservadas (Carlón *et al.*, 2015).

Lo accidentado del relieve, el predominio de pendientes pronunciadas y la permeabilidad de las rocas, favorecen que la zona sea una importante área de captación pluvial y recarga de acuíferos, sus aportes hidrológicos tienen un papel primordial en la disponibilidad del agua para consumo doméstico, agrícola en las localidades de la región, además de contribuir al abasto de las ciudades de México y Toluca, por lo cual la reserva contribuye de manera importante con el balance hídrico de las cuencas de los ríos Balsas y Lerma (Carlón *et al.*, 2015).

1.3 Flora y Fauna

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca se conforma de bosque de pino, bosque de encino, el bosque de pino y encino, el matorral de táscate, el bosque de cedro, el bosque de oyamel, el bosque de pino y oyamel y el bosque de cedro y oyamel (Semarnap/Conabio, 1995).

Los bosques templados de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca que se encuentran por encima de los 3,000 msnm tienen una vegetación dominada por encinos

como; *Quercus laurina*, *Q. acutifolia*, *Q. rugosa*, *Q. castanea*, *Q. obtusata*, *Q. salicifolia*, *Q. crassifolia*, pinos y encinos en las pendientes bajas y bosques de pinos *Pinus pseudostrobus*, *P. oocarpa*, *P. michoacana*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *P. hartwegii*. También hay cedro blanco *Cupressus lindleyi* y junípero de montaña *Juniperus deppeana*, *J. monticola* y praderas de *Potentilla candicans* (SEMARNAT, 2001).

En la RBMM, la cobertura forestal ocupa el 71%, conformada por bosque de pino-encino cerrado 31%, bosque de oyamel cerrado 27% y bosque abierto de pino-encino 13%. Los porcentajes restantes se distribuyen en agricultura de temporal 15% y el 14% de cubiertas no forestales que corresponden a pastizales, agricultura, arbustos, asentamientos humanos y cuerpos de agua (Carlón *et al.*, 2015). Los bosques se encuentran amenazados por la colonización humana del área, lo que trae consigo actividades agrícolas y explotación forestal, incluso la quema de la vegetación del sotobosque para que sirva de alimento al ganado (Challenger, 1995).

Michoacán y el estado de México ocupan el cuarto y octavo lugar, respectivamente, en cuanto a entidades federativas con extensas áreas de bosque de pino-encino (SARH, 1994). La composición de los bosques de pino-encino mexicanos varía de una región a otra, e incluso de un sitio a otro dentro de cada región, debido a la heterogeneidad de los tipos y subtipos climáticos, la inclinación y orientación de laderas de la zona ecológica (Gómez-Pompa, 1985; Arredondo *et al.*, 1990; Toledo *et al.*, 1989; Valencia, 1990).

Las asociaciones de bosque de pino (*Pinus sp*) se encuentran en co-dominancia con los bosques de oyamel (*Abies religiosa*), los cuales son relictos que se desarrollan de los 2,400 a 3,600 msnm como fragmentos aislados dentro de extensas áreas de pino y encino

(Rzedowski, 1978). Son comunidades relativamente altas, entre 20 y 40 m con diámetros de hasta 1.5 m (Rzedowski, 1978; Nieto Pola, 1984).

Se tienen registradas 493 especies de plantas vasculares, 198 especies de vertebrados de los que 132 son aves y 56 mamíferos y 49 especies de hongos. De las cuales, 13 se encuentran bajo protección especial: oronja (*Amanita caesaria*), enebro azul (*Juniperus monticola*), achoque michoacano (*Ambystoma ordinarium*) 11 están amenazadas; palo fierro (*Carpinus carolineana*), gavilán pecho canela (*Accipiter striatus*), ratón de la Malinche (*Peromyscus levipes*); 14 son raras: flor de hielo grande (*Gentiana spathacea*), lagartija espinosa del mezquite (*Sceloporus gramicus microlepidotis*), cucarachero barranquero (*Catherpes mexicanus*) y musaraña de Saussure (*Sorex saussurei*); tres en peligro de extinción, cirimbo o sirimu (*Tilia mexicana*), rascador zarcero (*Pipilio erythrophthalmus*) y 13 especies endémicas, entre las que destacan el pino azul (*Pinus martinezii*), achoque michoacano (*Ambystoma ordinarium*) y el reyezuelo matraquita (*Regulus caléndula*) (SEGOB, 1994).

La fauna está representada principalmente por dos grandes grupos, el de los mamíferos y las aves. Los mamíferos más representativos de la región son el venado cola blanca, *Odocoileus virginianus*, coyote *Canis latrans*, zorra gris, *Urocyon cinereoargenteus*, mapache, *Procyon lotor*, y cacomixtle, *Bassariscus astutus*, las especies más relevantes de aves son el cernícalo, *Falco sparverius*, cuervo, *Corvus corax* y búho, *Galucidium gnom* (SEGOB, 1994).

Aunque la mayoría de las especies mencionadas son animales grandes, es probable que la especie animal mejor conocida de la zona sea la pequeña mariposa monarca (Urquhart, 1976; Brower, 1988).

1.4 Población

En la tabla siguiente se enlistan los municipios que conforman la RBMM, la población total registrada en la encuesta intercensal por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2015 y el número de habitantes indígenas de acuerdo con la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) en el año 2010.

Los núcleos urbanos más importantes se encuentran en los municipios de Zitácuaro, San Felipe del Progreso y Temascalcingo, ocupando los tres primeros lugares en cuanto a número de habitantes y población indígena.

TABLA 1. POBLACIÓN EN LOS NÚCLEOS URBANOS DE LOS MUNICIPIOS QUE CONFORMAN LA RBMM.

Municipio	Habitantes (INEGI, 2015)	Población indígena (CDI, 2010)
Zitácuaro	164,144	11,124
San Felipe del Progreso	134,143	76,627
Temascalcingo	63,721	21,822
Villa Allende	52,641	8,199
Contepec	34,193	142
Donato Guerra	34,000	9,446
Ocampo	24,424	285
Senguio	19,146	82
Angangueo	11,120	56
Aporo	3,218	20
Total	540,750	127,803

FUENTE: INEGI, ENCUESTA INTERCENSAL 2015 Y CDI, 2010.

1.5 Actividades económicas

De acuerdo con el Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2001), la agricultura es la actividad económica más arraigada entre las comunidades de la

región, debido a que existe un legado histórico en torno a ella. Representa el conocimiento tradicional de los ciclos agrícolas ligados a las características físicas de la RBMM como el relieve, el suelo y los fenómenos meteorológicos aplicados para la producción de alimentos de autoconsumo.

A pesar de que la región es predominantemente rural, las actividades primarias tuvieron una caída importante en la década de los ochenta, sin embargo, el sector primario sigue siendo la base de la producción regional (Programa de Manejo de la RBMM, 2001). La población se dedica a la agricultura de subsistencia, particularmente al cultivo del maíz y de hortalizas, así como la explotación forestal y la cría de ganado menor (CONANP, 2001).

Según las estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017), el maíz se cultiva y se cosecha en mayor extensión, en el municipio de San Felipe del Progreso 23,308 ha, Temascalcingo 14,920 ha, Villa de Allende 13,250 ha, Contepec 11,769 ha, Zitácuaro 7,428.5 ha, Donato Guerra 6,112 ha, Senguio 4,847 ha, Ocampo 2,728 ha, Aporo 1,753 ha, Angangueo 1,058 ha. La avena forrajera, el segundo cultivo con una importante producción, en los municipios de Villa de Allende 4,770ha, Contepec 3,018 ha San Felipe del Progreso 1,930 ha, Senguio 1,452 ha, Donato Guerra 1,080 ha, Zitácuaro 601 ha, Ocampo 288 ha, Aporo 124 ha, Temascalcingo 120 ha, Angangueo 69 ha, cultivada con sistemas de riego en la temporada de otoño-invierno.

La guayaba únicamente se cultiva en el municipio de Zitácuaro en 1,572 ha, sin embargo, es una superficie considerable, pues ocupa el cuarto lugar en orden de ha sembradas (SIAP, 2017). Su importancia puede derivarse de los apoyos para los huertos de guayaba que se otorgaron en el año 2014 por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural,

Pesca y Alimentación (SAGARPA), con el fin de incrementar la exportación hacia países de Europa y Estados Unidos (SAGARPA, 2014).

El aguacate es un cultivo perenne que se mantiene con riego, el mayor productor de la región de la RBMM es el municipio de Donato Guerra 1,391 ha, Zitácuaro 1,238 ha, Villa de Allende 435ha, y por último Ocampo 70ha (SIAP, 2017).

Otro cultivo sembrado extensamente en la RBMM es el frijol; se mantiene con riego en la temporada de otoño-invierno en los municipios de Contepec 482ha y Senguio 95 ha mientras que en primavera-verano el cultivo se mantiene con las lluvias del temporal en el municipio de Donato Guerra 80 ha (SIAP, 2017).

Al conocer los cultivos que se producen mayormente en la región y sus requerimientos agroecológicos, se podrán hacer las recomendaciones pertinentes de acuerdo con las proyecciones de los escenarios de cambio climático para la temperatura máxima, mínima y precipitación.

En la tabla 2 se muestra una comparación entre la superficie en hectáreas que ocupa el municipio y el porcentaje que corresponde a la superficie cultivada tanto de los principales productos agrícolas; maíz, avena forrajera, guayaba, aguacate y frijol, como de otros que ocupan una menor superficie, pero son de importancia para el consumo local.

TABLA 2. SUPERFICIE CULTIVADA EN LOS MUNICIPIOS DE LA REGIÓN DE LA RBMM.

Municipio	Superficie del municipio (ha)	Superficie cultivada (ha)	Superficie cultivada (%)
San Felipe del Progreso	41,786	25,680	61.5
Villa Allende	34,971	19,563	55.9
Donato Guerra	21,629	9,519	44.0
Temascalcingo	40,516	15,422	38.1
Contepec	43,105	16,396	38.0
Aporo	6,622	1,893	28.6
Senguio	28,403	6,718	23.7
Zitácuaro	57,946	11,707	20.2
Ocampo	16,109	3,165	19.6
Angangueo	8,707	1,187	13.6
Total	299,792	111,248	37.1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SIAP, 2017.

Los municipios de San Felipe del Progreso, Villa de Allende y Temascalcingo, aprovechan una mayor extensión de sus territorios para sembrar cultivos de autoconsumo, tienen una población predominantemente indígena, por lo que es notorio el arraigo y la importancia del trabajo de la tierra para su subsistencia.

La floricultura y el uso forestal también son actividades económicas importantes para los ejidos de la RBMM, así como el turismo para observar las colonias de la mariposa monarca, que reciben más de 150,000 visitantes al año, dejando una derrama económica importante para las localidades que prestan servicios a los turistas (Alianza WWF-Fundación Carlos Slim, s.f.).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA Y DATOS

En la Figura 3 se muestra el desarrollo y secuencia de los pasos para la metodología del proyecto de investigación, en primera instancia, caracterizar la climatología de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca con series de tiempo de las variables de temperatura y de precipitación, provenientes de las estaciones climatológicas del SMN para obtener la climatología actual, así como para elaborar los climogramas de las estaciones climatológicas más representativas de la reserva y observar los cambios de las variables a través de la distancia e influencia del relieve en zonas con una geomorfología abrupta.

Las estaciones seleccionadas para el estudio se encuentran dentro de un área de influencia determinada a 20km de la RBMM, las cuales han sido elegidas bajo criterios de calidad de los datos y el tiempo de funcionamiento para así garantizar mejores y confiables resultados al realizar la caracterización del clima y el análisis correspondiente.

Partiendo de dicha información, la cual es la fuente principal para conocer la tendencia del clima desde el año 1951 hasta el 2017, se comenzó la búsqueda hemerográfica de información referente a eventos atmosféricos extremos en la región, se generaron series de anomalías con el mismo lapso, tanto para la variable de precipitación, como para la variable de temperatura, extraídas de la plataforma digital del Instituto Nacional de Investigación para el Clima y la Sociedad de la Universidad de Columbia (IRI, por sus siglas en inglés) donde se identifican los eventos extremos a lo largo de dicho período y se seleccionan aquellos que han sido más significativos, para una vez identificadas las fechas, proseguir con la comparación entre la información hemerográfica y de otras fuentes de

primera mano, como los anuarios estadísticos o revistas científicas e información de plataformas digitales como *DesInventar* que hace referencia a desastres ocurridos, así como de información proveniente de instancias gubernamentales que se obtuvieron en línea.

Con la información recabada sobre los eventos extremos y las afectaciones o consecuencias que se presentan a partir de éstos, tales como inundaciones y deslizamientos de tierra por lluvias torrenciales; incendios forestales provocados por largas temporadas de sequía y heladas por bajas temperaturas, presentes en los diferentes municipios que conforman la RBMM se realizó una serie histórica de eventos extremos, donde se pueden observar las afectaciones ambientales y económicas causadas tanto en las poblaciones como en las inmediaciones de la reserva.

Así como al caracterizar la climatología actual de la RBMM se emplearon los datos de las estaciones climatológicas, para la climatología futura, estos mismos datos fueron procesados a través de un Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico (GETM-LARS) con la finalidad de reducir la escala del clima regional.

Del objetivo general, se derivan los objetivos particulares, los cuales consisten en generar información que confirme la existencia de eventos extremos en la RBMM, con el uso de plataformas digitales especializadas, así como de búsqueda hemerográfica importante para identificar qué tipo de fenómenos han sido más frecuentes en los municipios que componen la ANP.

Finalmente, con las series de datos correspondientes a la caracterización de la climatología futura, obtenidas del GETM-LARS, se realizaron los mapas de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para el año 2035 representando de esta manera

el escenario evolutivo de la familia A2 para la Reserva de la Biosfera, donde se podrá identificar cuáles serán los cambios proyectados para dichas variables, así como los municipios que se verán más afectados por los diversos eventos extremos que puedan presentarse.

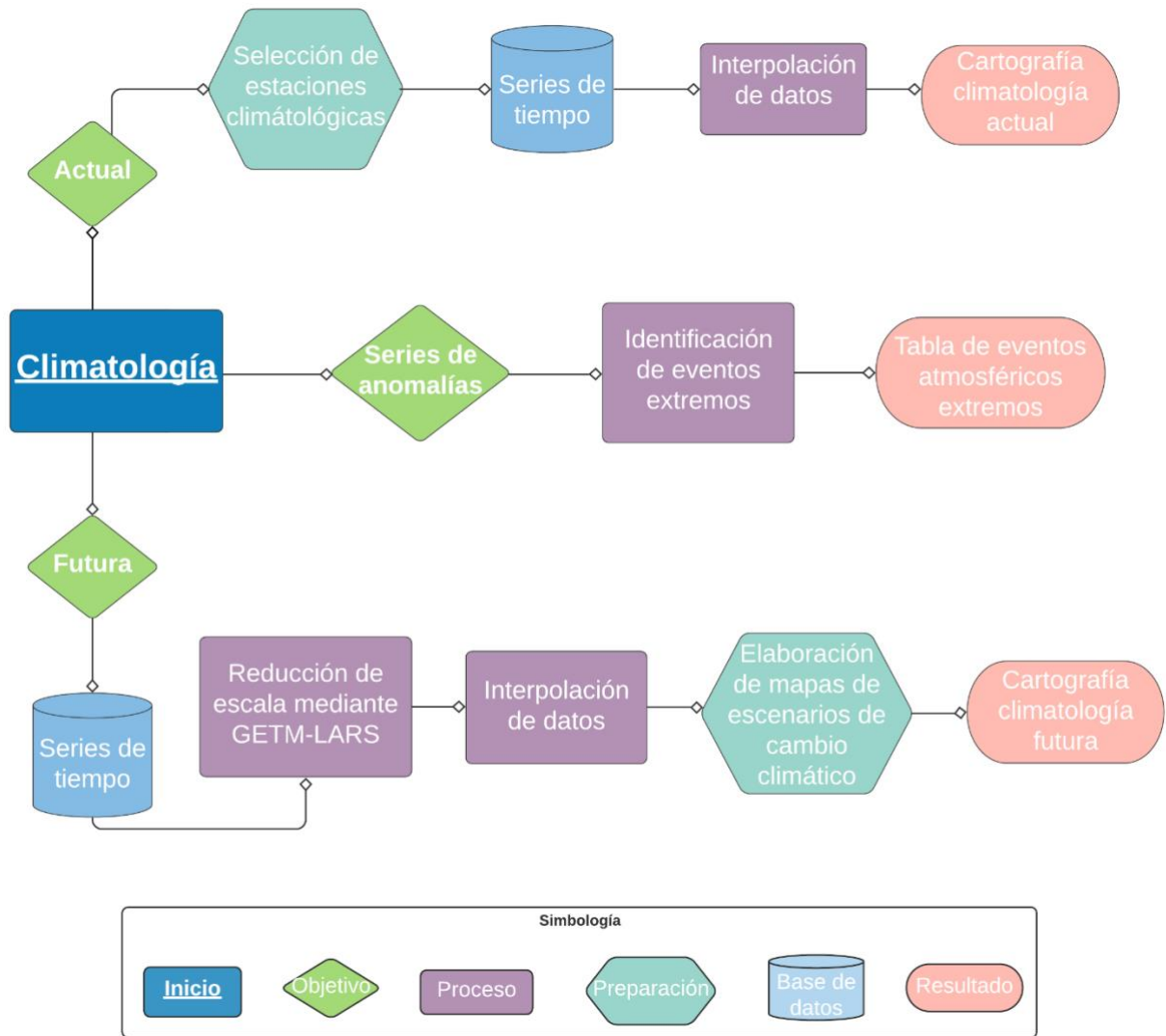


FIGURA 3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CLIMATOLOGÍA DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA TESIS.

2.1 Base de Datos Climatológica

El sistema CLICOM (por sus siglas en inglés *Climate Computing Project*), fue desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y está programado para realizar las observaciones diarias y mostrar la información recopilada las últimas 24 horas, finalizando a las 8:00 horas LST (por sus siglas en inglés *Local Standard Time*). CLICOM obtiene los datos de las estaciones climatológicas administradas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Cuentan con diferentes periodos de información, desde 1920 hasta 2012 dependiendo del año en que la estación climática comenzó a registrar los datos de las variables de la región (CICESE, s.f.).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, s.f.), las estaciones climatológicas del SMN están equipadas con instrumentos que realizan las mediciones diarias de variables como la precipitación (mm), la evaporación (mm), la temperatura máxima y la temperatura mínima (°C). Cuando las estaciones cuentan con registros mayores de 10 años, el SMN realiza el cálculo de las normales climatológicas tomando como base el promedio de los años de 1971 al 2000, también calcula los valores extremos de la temperatura, precipitación; y estadísticas mensuales, las cuales se reportan mediante tablas en su página web.

Para este estudio se eligieron 17 estaciones climatológicas ubicadas dentro de un área de influencia de 20 km alrededor de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, de las cuales se tomarán en cuenta los registros de los datos existentes desde el año de 1981 al 2010, por ser los más recientes y aptos para caracterizar la tendencia de la climatología de la región,

extremos mensuales y valores promedio de las temperaturas máximas, mínimas y la precipitación. Además, las estaciones climatológicas cuentan con dos parámetros de calidad:

- a) El primero, es la antigüedad o años de registro de los datos diarios, las estaciones climatológicas deben tener mínimo 25 años funcionando, no es posible un tiempo de vida más extenso, debido a que en ciertos municipios que comprenden el área de influencia de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, no existen estaciones climatológicas más antiguas.
- b) El segundo parámetro es el porcentaje de datos con el que cuenta cada estación climatológica en los años que ha estado activa; es decir, desde que se instaló, hasta el último día en que se registraron datos recientes. Es conveniente que cumpla por lo menos con el 70% de datos, ya que, si cuenta con menos registros, habrá un margen de error más amplio al realizar la interpolación de los datos de las variables de temperatura y precipitación.

Los requerimientos de los insumos para la metodología fueron considerados de acuerdo con las características físicas de la región de estudio, las fuentes de información existentes, la escala o resolución espacial y con base en el análisis de las estaciones climáticas que se encuentran allí, pues es posible que varíe la cantidad de estaciones de acuerdo con la ubicación, así como con la cantidad de datos almacenada y variables que calcula cada una.

2.1.1 Prueba de funcionamiento

Para garantizar que las estaciones climatológicas cumplen con los parámetros mencionados anteriormente, tales como la antigüedad y porcentaje de datos necesarios para el estudio, se realizaron los siguientes pasos:

1. La base de datos de las estaciones climatológicas del SMN, puede filtrarse por estado para un mejor tratamiento, ésta contiene la altitud a la que se encuentra cada estación, el porcentaje de datos y los años de funcionamiento. Para conocer el tiempo que lleva activa cada estación, se elaboró una gráfica de cotizaciones en una hoja de cálculo, en donde es necesario introducir el año de inicio y el año de término de registro de datos de cada una de las estaciones que se encuentran ubicadas dentro de los 20 km que se delimitaron como área de influencia de la RBMM.

Al elaborar la gráfica de cotizaciones se introdujeron los datos de 53 estaciones climatológicas, que son las que se encuentran distribuidas en toda el área de influencia, de esta manera fue posible identificar aquellas que contaban con el periodo de actividad requerido. En la Figura 4 únicamente se representan las 17 estaciones que fueron seleccionadas para el estudio, por contar con el rango de tiempo estimado. El resto de las estaciones no seleccionadas carecen de los parámetros de confianza o calidad para ser tratadas en el análisis climático.

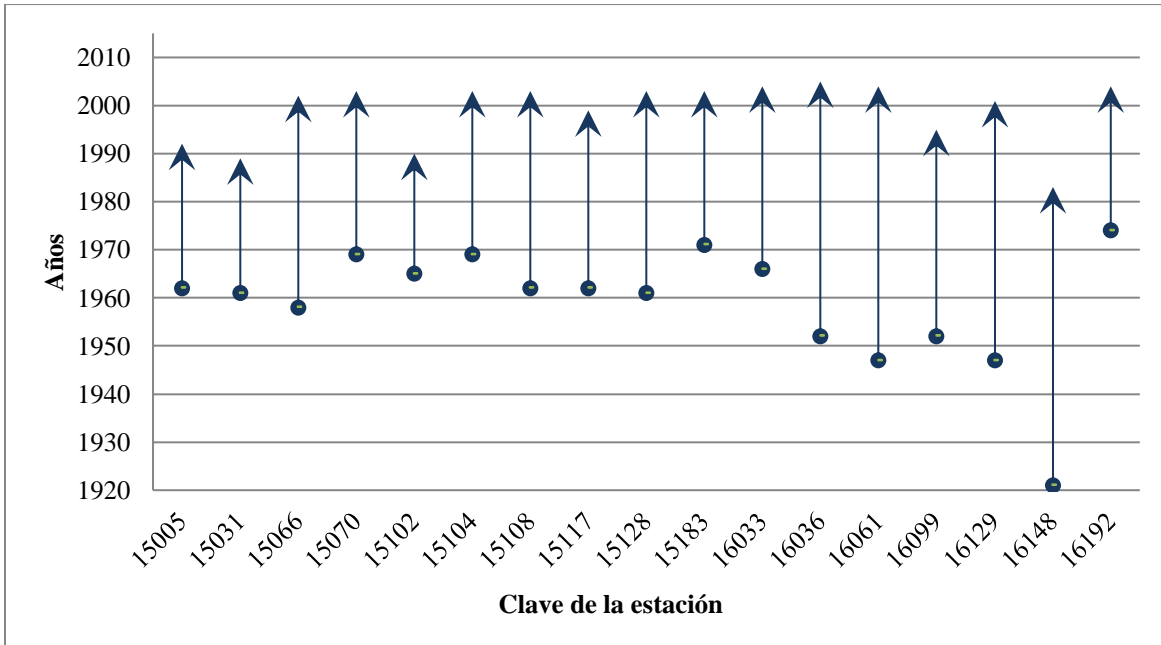


FIGURA 4. AÑOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS TOMADOS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL.

Con la introducción de las fechas en la gráfica, se pueden identificar fácilmente las estaciones climatológicas instaladas desde inicios del siglo XX y aquellas que siguen funcionando o han tenido un lapso de vida amplio. Sin embargo, el año en que se instala una estación no es un indicador de que cuente con periodos extensos de registros de datos, pues existen vacíos de información o años en que dejan de funcionar, por consiguiente, se debe efectuar el siguiente paso, el cual hace referencia al porcentaje de datos

2. Se realizó una tabla con la información de la base de datos de las estaciones climatológicas del SMN, donde se encuentran los campos de clave, nombre, municipio, altitud, localización geográfica, años de funcionamiento y el porcentaje de los datos (Tabla 3), para identificar cuáles de las estaciones seleccionadas, de acuerdo con los años de registro, observados anteriormente en la gráfica de

cotizaciones, son las que tienen mejor calidad de datos en un mayor periodo de registro.

Las estaciones seleccionadas dentro del área de influencia de 20 km, de acuerdo con los criterios de calidad de las series y de antigüedad se presentan a continuación.

TABLA 3. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SELECCIONADAS

ID Estación	Nombre	Municipio	Altitud m.s.n.m	Latitud	Longitud	Años	% Datos
15005	Amanalco de Becerra	Amanalco de Becerra	2,365.00	19°15'18"	100°01'22"	31	92.5
15031	Hacienda Solís	Temascalcingo	2,355.00	19°58'16"	100°03'13"	29	96.1
15066	Palizada	Villa Victoria	2,635.00	19°30'27"	100°05'52"	44	95.4
15070	Presa Brockman	El Oro	2,929.00	19°46'09"	100°08'25"	34	89.9
15102	San Onofre	San Felipe	2,677.00	19°41'31"	100°05'43"	25	93.6
15104	San Pedro Potla	Temascalcingo	2,450.00	19°51'18"	99°58'04"	35	97.4
15108	Sta. María del Monte	Zinacatepec	2,760.00	19°18'22"	99°49'29"	41	95.6
15117	Temascalcingo	Temascalcingo	1,363.00	19°55'11"	100°00'44"	37	92.2
15128	Tultenango, El Oro	El Oro	2,578.00	19°48'43"	100°04'53"	43	96.1
15183	El Oro, El Oro	El Oro	2,731.00	19°48'33"	100°07'46"	32	93.4
16033	Chincua	Senguio	2,415.00	19°46'21"	100°17'18"	38	90.5
16036	El Bosque	Zitácuaro	1,750.00	19°23'00"	100°23'00"	54	70.6
16061	Laguna del Fresno	Maravatío	2,070.00	19°58'00"	100°25'00"	58	83.7
16099	Presa Tuxpan	Tuxpan	1,720.00	19°33'46"	100°28'34"	43	76.1
16129	Tepuxtepec	Contepec	2,380.00	19°59'48"	100°13'49"	55	90.3
16148	Zitácuaro	Zitácuaro	1,981.00	19°26'00"	100°22'00"	61	77.5
16192	Encarnación	Zitácuaro	1,720.00	19°25'00"	100°24'00"	30	78.4

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DEL SMN.

Dichas estaciones se encuentran entre los 1,363 msnm. hasta los 2,929 msnm. En el norte de la RBMM se seleccionaron seis estaciones comprendidas en los municipios de Epitacio Huerta, Temascalcingo y Contepec, en el estado de Michoacán, tres más; en los municipios de Maravatío y Senguio, y dos en el municipio de Tlalpujahuá, Estado de México.

En la zona oriente se concentran cinco estaciones en los municipios de San Felipe del Progreso, San José del Rincón, Villa Victoria, Donato Guerra y Amanalco. Por último, en la zona occidente se localizan las cuatro estaciones restantes en los municipios de Tuxpan, Jungapeo y Zitácuaro.

Como se puede apreciar en la Figura 5, las estaciones climatológicas se encuentran en diversos municipios, algunos son pertenecientes al área de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca y otros son limítrofes, puesto que para el estudio se requiere que las estaciones se encuentren dispersas y tengan cobertura en toda la región.

Una vez identificadas y localizadas las estaciones climatológicas que se utilizarán para realizar el estudio, se comienzan a analizar las variables de temperatura y precipitación por medio de la elaboración de climogramas, los cuales nos ayudarán a identificar la tendencia del clima actual para posteriormente hacer una comparación con los resultados obtenidos del Generador Estocástico de tiempo Meteorológico.

Los climogramas están elaborados con las normales climatológicas del año de 1981 al 2010. Se representan de manera simultánea las variables de la temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima; con líneas, y con barras es simbolizada la precipitación por mes. De tal forma que es posible reconocer la tendencia del clima, es decir, los meses en que la temperatura máxima alcanza el nivel más alto, los meses donde las temperaturas mínimas son más bajas, además de cuándo inicia la temporada de lluvias en la región, los meses que son más lluviosos y los meses con menos precipitación, así como los valores medios y extremos de cada una de las variables.

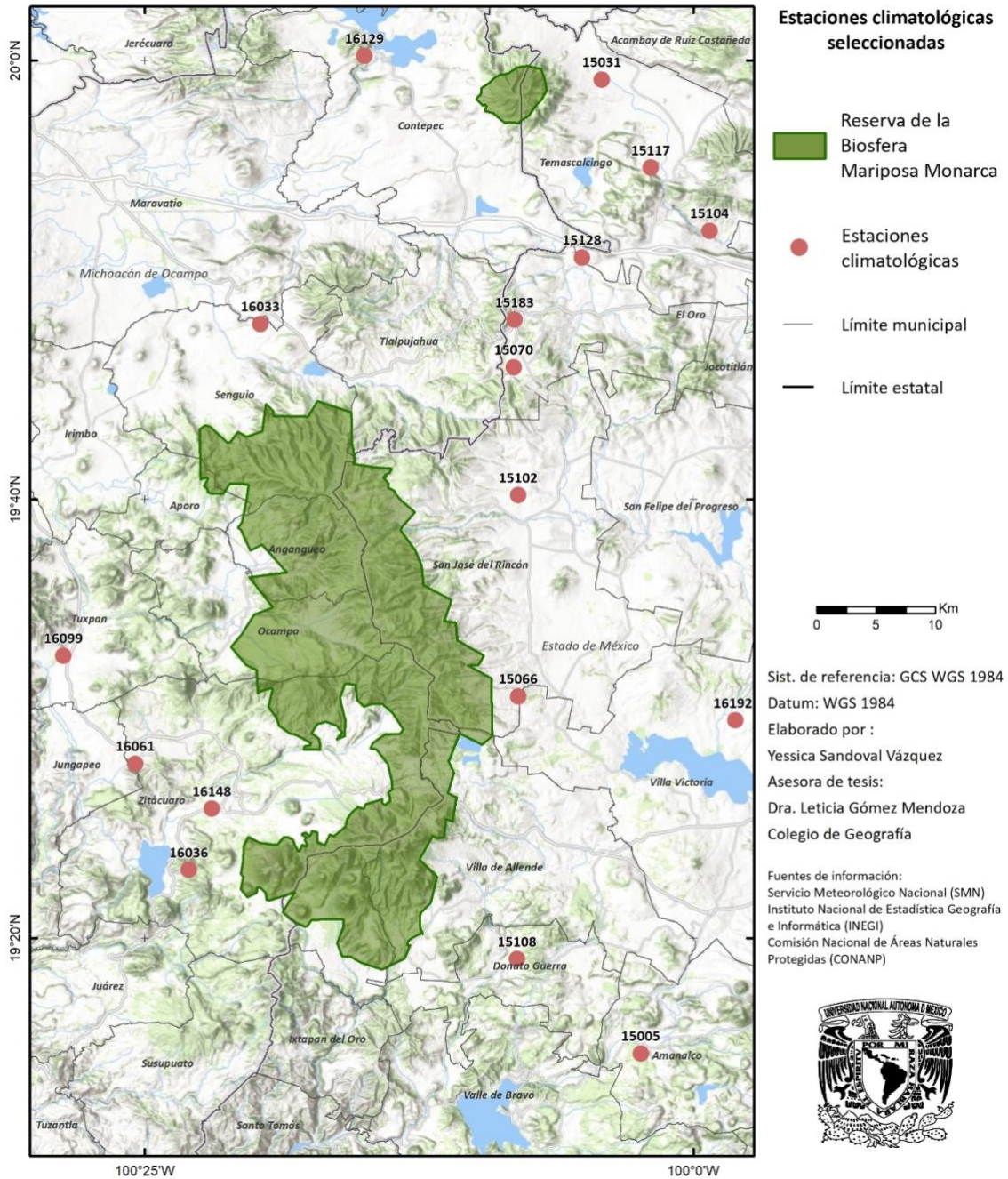


FIGURA 5. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL SELECCIONADAS PARA LA INTERPOLACIÓN DE DATOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DEL SMN, INEGI Y CONANP.

2.2 Series de tiempo

Los datos para la elaboración de las series de tiempo se obtuvieron a través de la Biblioteca de Datos del IRI (por sus siglas en inglés International Research Institute for Climate and Society) de la Universidad de Columbia (IRI, 2019). Es una herramienta de análisis, que se encuentra en línea, la cual almacena datos de diferentes centros y universidades que se dedican a monitorear la atmósfera y sus condiciones climáticas.

Las series de tiempo se realizaron con el objetivo de identificar los años en los que se han presentado eventos atmosféricos extremos en la región, para posteriormente corroborarlos con noticias periodísticas, artículos científicos u otras fuentes de información que sirvan como sustento a la serie histórica realizada con los datos de la librería virtual del IRI.

2.2.1 Precipitación

Para analizar los eventos históricos extremos de precipitación, se utilizaron los datos de la Universidad de California en Santa Bárbara (IRI, 2019), con las cuales se realizaron gráficas mensuales elaboradas a partir de los datos decenales que provee CHIRPS (por sus siglas en inglés *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*), datos globales de precipitación con una resolución espacial a 0.05° (Funk, C. *et al.*, 2015), en donde se mostraron los eventos históricos más importantes para las lluvias torrenciales o extremas de la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, desde el año 1981 al 2017.

2.2.2 Temperatura

Las series de tiempo de la temperatura superficial a nivel mensual se tomaron de la biblioteca de datos del IRI (2019), de la fuente del Centro de Predicción Climática (CPC) proveniente de los Centros Nacionales para la Predicción del Ambiente (NCEP) a cargo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Tienen una resolución espacial de 0.05° con información desde el año de 1948 al presente, sin embargo, se tomaron sólo los datos correspondientes a la temporalidad de 1981 al 2017 para que sean comparables con los datos de precipitación.

2.3 Búsqueda hemerográfica

Después de obtener las series de datos para la precipitación, temperatura máxima y mínima, se inició la búsqueda de noticias en periódicos locales, regionales, nacionales, diarios oficiales y anuarios que se encontraban en la Hemeroteca Nacional de México, así como documentos en línea que pudieran corroborar la existencia de eventos extremos en los años indicados por las series de tiempo, a fin de conocer las consecuencias que éstos provocaron en la RBMM, los municipios que han sido más afectados y cuáles son los eventos que se presentan con más frecuencia en la región.

2.4 *DesInventar* (Sistema de Inventario de Desastres)

La plataforma *DesInventar* (2009), se utilizó con el propósito de agotar todas las fuentes que pudieran contener información sobre eventos extremos y sus consecuencias. *DesInventar*, es una herramienta de información sistemática sobre la ocurrencia de desastres de pequeño, mediano y gran impacto en América Latina, que comenzó a mediados de la década de los 90.

En el año de 1994 se construyó un marco conceptual y metodológico por grupos de investigadores, académicos y actores institucionales de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED), los cuales crearon un sistema de adquisición, consulta y despliegue de información con base en datos preexistentes, tales como fuentes hemerográficas y reportes de instituciones (Desinventar, 2009).

Este sistema facilita la búsqueda de información relevante, ya sea por tipo de evento extremo o por estado, municipio y localidad. Es una plataforma sencilla, con extensa información de diversas fuentes confiables como: diarios, periódicos locales y nacionales y notas informativas. Aunado a esto, la base de datos contiene información sobre las pérdidas económicas y humanas reportadas y los daños o efectos causados por tales emergencias (Desinventar, 2009).

2.5 Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico GETM-LARS

A partir de los estudios sobre cambio climático, surgió un especial interés por la simulación local del clima estocástico. Un generador estocástico de tiempo, puede ser una herramienta sencilla para procesar escenarios de cambio climático de varios años, en una escala temporal diaria, donde se incorporan cambios tanto en el clima mensual como en la variabilidad climática (Semenov y Barrow, 1997).

Los generadores estocásticos del clima fueron desarrollados con dos propósitos principales:

- 1) Simular series meteorológicas sintéticas con características estadísticas correspondientes a las estadísticas observadas en un sitio.

- 2) Proporcionar un medio para extender la simulación de series meteorológicas a lugares no observados a través de la interpolación de los parámetros del generador meteorológico obtenidos al ejecutar los modelos en lugares cercanos.

Representan un método sencillo para obtener secuencias realistas de variables climáticas como precipitación, temperatura máxima, mínima y humedad entre otras, con características estadísticas idénticas a los datos observados, donde un número al azar, se encarga de la componente estocástica, si dicho número cambia, se producirán secuencias con una tendencia similar, pero nunca serán iguales (Magaña, V., 2010).

Permite evaluar probabilísticamente posibles cambios en eventos extremos de precipitación y temperatura bajo escenarios mensuales, ya que genera series de datos diarios tan grandes como cien años o más, lo que asegura estabilidad a las estadísticas y robustez a los resultados en la evaluación de los cambios. No obstante, se necesitan suficientes datos observados para derivar relaciones estadísticas entre las diferentes escalas. De tal manera que las escalas mensuales permiten inferir de forma directa la estructura diaria de los cambios esperados, es decir, los eventos diarios construyen la condición mensual. Por medio del GETM se determinan los escenarios mensuales a partir de condiciones atmosféricas diarias (Zermeño, 2008).

2.6 Interpolación del inverso de la distancia IDW (Inverse Distance Weighting)

La interpolación de datos es un procedimiento, que permite calcular el valor de una misma variable en una posición del espacio, a través de valores que ya conocemos (Philip y Watson, 1982).

Existen diferentes métodos de interpolación, sin embargo, por las necesidades de la investigación y los insumos con los que se cuenta, se utilizará el Inverso de la Distancia (por sus siglas en inglés *IDW*), el cual se basa principalmente en la distancia inversa elevada a una potencia matemática, dicha potencia es un número real positivo y su valor predeterminado es 2. Ésta permite controlar el significado de puntos conocidos en los valores interpolados basándose en la distancia desde el punto de salida (Esri, 2016).

En caso de determinar un valor más alto para la potencia, los puntos más cercanos tendrán mayor influencia y la superficie será más detallada, por el contrario, si se determina un valor más bajo para la potencia, los puntos circundantes adquieren mayor influencia que los que están más lejos, por lo que la superficie se suaviza. En el caso de la interpolación para la región de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, se utilizó la potencia predeterminada, con valor de 2.

El IDW, presupone que la variable representada cartográficamente, disminuye su influencia a mayor distancia desde la ubicación de interés. Para obtener un mejor resultado de la interpolación, la muestra debe ser densa, por el contrario, si los puntos de entrada son dispersos, los resultados no serán representativos (Watson y Philip, 1985).

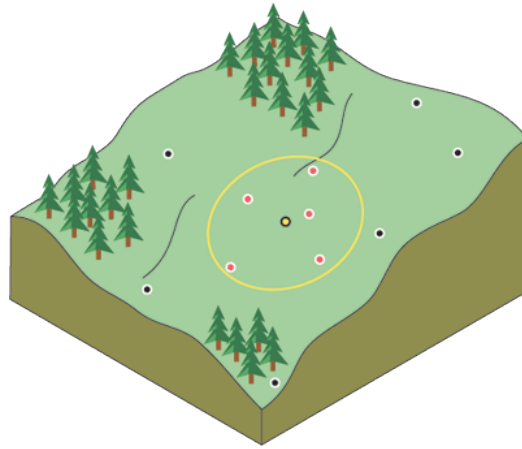


FIGURA 6. VECINDAD DE IDW DEL PUNTO SELECCIONADO

FUENTE: ESRI, 2016

Para realizar la interpolación de los datos, es preciso tomar en cuenta la distribución espacial de las estaciones, pues según Philip y Watson (1982), cuando se presentan puntos con las mismas coordenadas X, Y, que tienen los mismos valores, se consideran duplicados, sin embargo, si los valores son diferentes se consideran como puntos coincidentes. En este caso, se limitaron los puntos de datos de entrada para el geo-procesamiento de acuerdo con la calidad de éstos y tomando en cuenta la ubicación de cada uno, pues si los puntos se encuentran a más de 10 kilómetros de la RBMM, puede no existir correlación espacial y lo mejor sería eliminarlos del cálculo o delimitar un radio fijo para los puntos que se tomarán en cuenta para la interpolación.

2.6.1 Elaboración de mapas

Para la elaboración de los mapas de la caracterización de la climatología futura, se utilizó el software ArcMap, versión 10.5, es un Sistema de Información Geográfica especializado para el procesamiento geoespacial, el cual cuenta con la herramienta de interpolación de datos por

medio del Inverso de la Distancia. Este software permite determinar la potencia y vecindad de la variable, por lo cual se tendrá un mayor control sobre la influencia de los datos en los resultados.

Para la representación tanto de la temperatura máxima como de la temperatura mínima y de la precipitación, se determinaron siete clases para que la variación entre cada rango pudiera apreciarse mejor. En colores cálidos se personalizó la temperatura máxima, a los que se les asignó un tono más intenso en los valores más altos, y tonos más claros para los valores más bajos.

Para la temperatura mínima se sigue el mismo patrón en la intensidad de los tonos, sin embargo, se eligió una paleta con colores fríos, de morados a lilas. Por último, para la variable de la precipitación se eligió una paleta de colores azules, donde los tonos más intensos son para los rangos más altos y los tonos más claros, para los valores más bajos.

Actualmente no existe una estandarización de la paleta de colores para la cartografía de variables climatológicas, debido a esto, se utilizaron las gamas presentadas en la Figura 7.

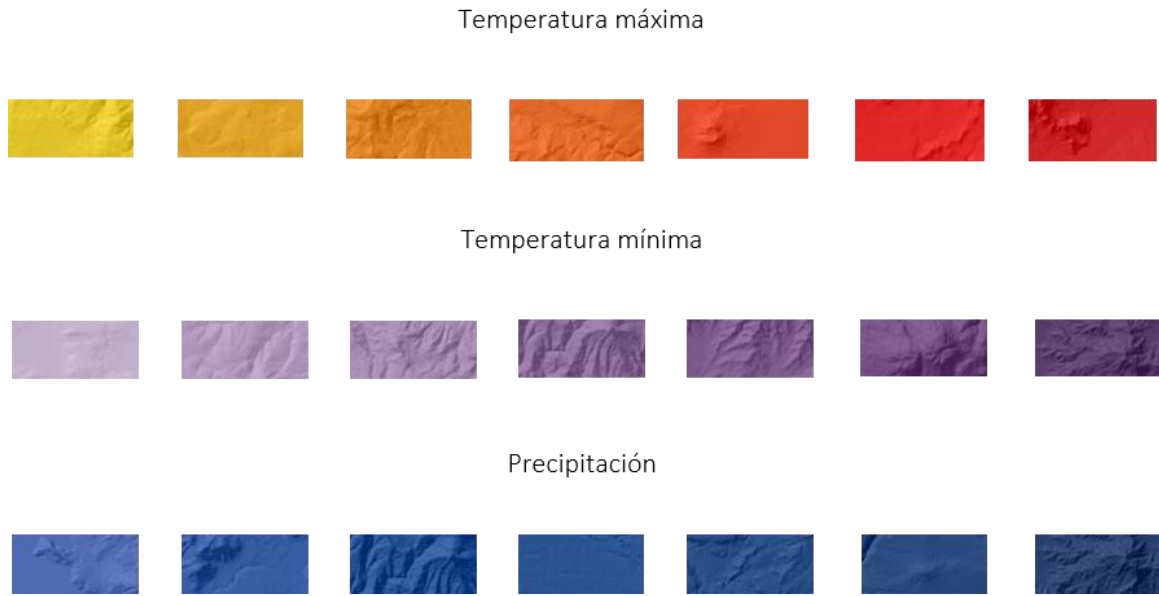


FIGURA 7. PALETA DE COLORES PARA LA CARTOGRAFÍA
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Ya que la geomorfología influye en el clima, se añadió a la edición de los mapas un modelado del relieve para observar los cambios que éste genera en las variables caracterizadas, para así, hacer una diferenciación entre las zonas más altas y las planicies, y poder determinar si existe correlación entre los cambios en la altura y la temperatura y la pluviosidad.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

El clima de la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca cambia en distancias relativamente cortas, debido a las variadas formas del relieve, tales como montañas, sierras y escarpes que dan lugar a distintas temperaturas y, en consecuencia, sitios con mayor o menor presencia de lluvias. Los diferentes insumos que se aplicaron para caracterizar la climatología se ven reflejados en este capítulo, desde los climogramas para conocer la tendencia actual del clima, hasta la presentación de los mapas de los escenarios de cambio climático elaborados a partir de la interpolación de las series de datos obtenidas del Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico GETM-LARS.

3.1 Climatología actual

Con base en los resultados, se describen a continuación las cuatro regiones climáticas de la RBMM a partir de los rangos altimétricos en la región.

3.1.1 Región I

En la región norte del Estado de México, la estación climática de Tepuxtepec (16129) a una altitud de 2,380 msnm, presenta temperaturas máximas que van desde los 25.5°C en el mes de mayo, el mes más cálido hasta los 19.8 °C en el mes más frío, enero. La temperatura promedio mensual se encuentra entre los 18.2 °C en el mes de mayo y 12.3°C en enero. Las temperaturas mínimas se mantienen por encima de los 4.0 °C para el mes de enero y hasta los 11.4°C en el mes de junio. Las precipitaciones de la zona ascienden a los 183.7 mm en el

mes de julio, el más lluvioso y son menores a los 8 mm en la temporada seca que comprende los meses de enero, febrero, marzo y abril (Figura 8).

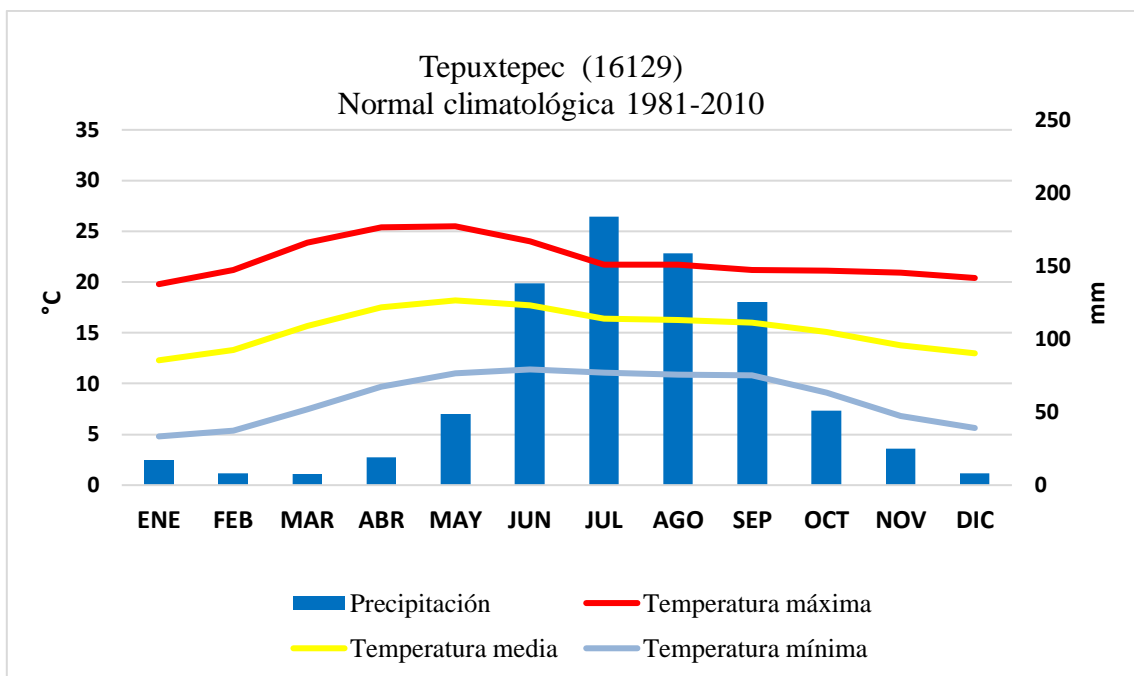


FIGURA 8. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA TEPUXTEPEC (16129).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.1.2 Región II

En la región norte del estado de Michoacán de Ocampo se tomó como referencia para la caracterización climatológica la estación de Chincua (16033) a 2,415 msnm. Presenta temperaturas de por lo menos medio grado más frías que las registradas en la estación de Tepuxtepec (16129) las temperaturas máximas se encuentran entre los 24.6 °C en el mes de mayo que es el más cálido para la zona y 19.2°C en el mes de enero, el más frío del mes. La normal climatológica presenta temperaturas desde los 18°C para mayo y 11.7°C en enero. Las temperaturas más frías se encuentran entre los 4 y 10°C. Presenta una mayor pluviosidad

que la región I, en el mes de julio, el más lluvioso del año alcanza los 222.4 mm, y una mínima precipitación de 6.5 mm en el mes de febrero (Figura 9).

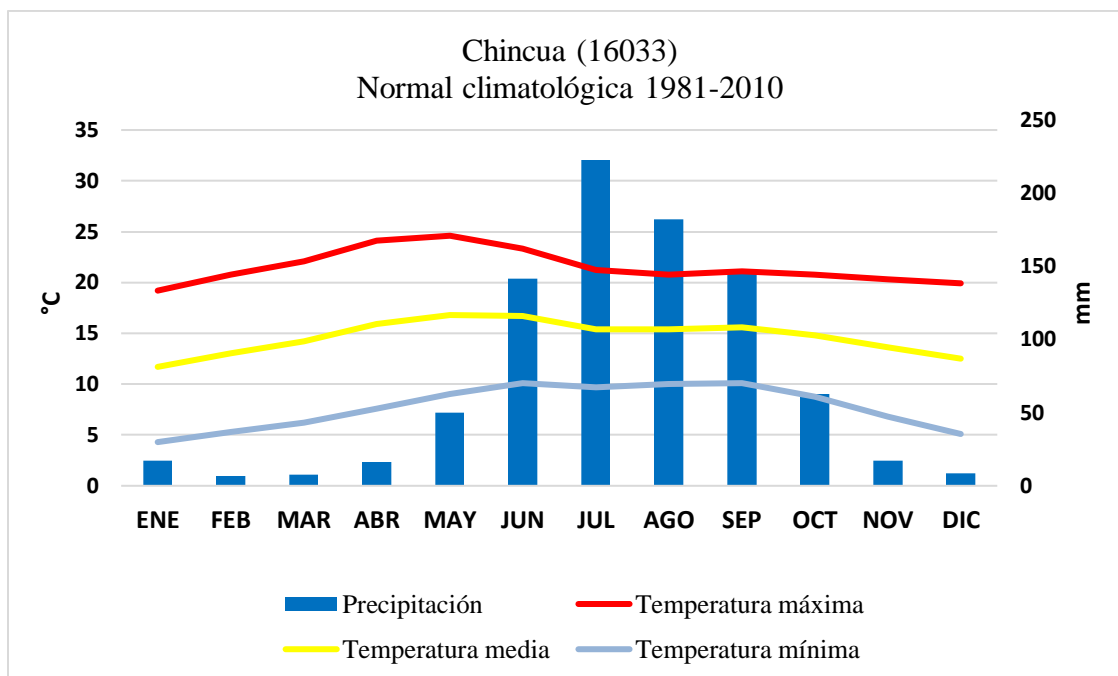


FIGURA 9. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA CHINCUA (16033).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.1.3 Región III

Región oriente del estado de Michoacán de Ocampo, la estación representativa es La Encarnación (16192) con una altitud de 1,720 msnm. La temperatura máxima se presenta en el mes de mayo con 29.5°C, mientras que para el mes de diciembre decrece hasta los 24.2°C. La normal climatológica oscila entre los 21.5°C en mayo y la mínima con 16.7°C en diciembre.

Las temperaturas mínimas en la región se establecen entre los 14.8 en junio y en diciembre decrecen hasta los 8.9°C. La precipitación más elevada se presenta en el mes de

junio por encima de los 186 mm, en el mes menos lluvioso se estiman precipitaciones alrededor de los 6 mm (Figura 10).

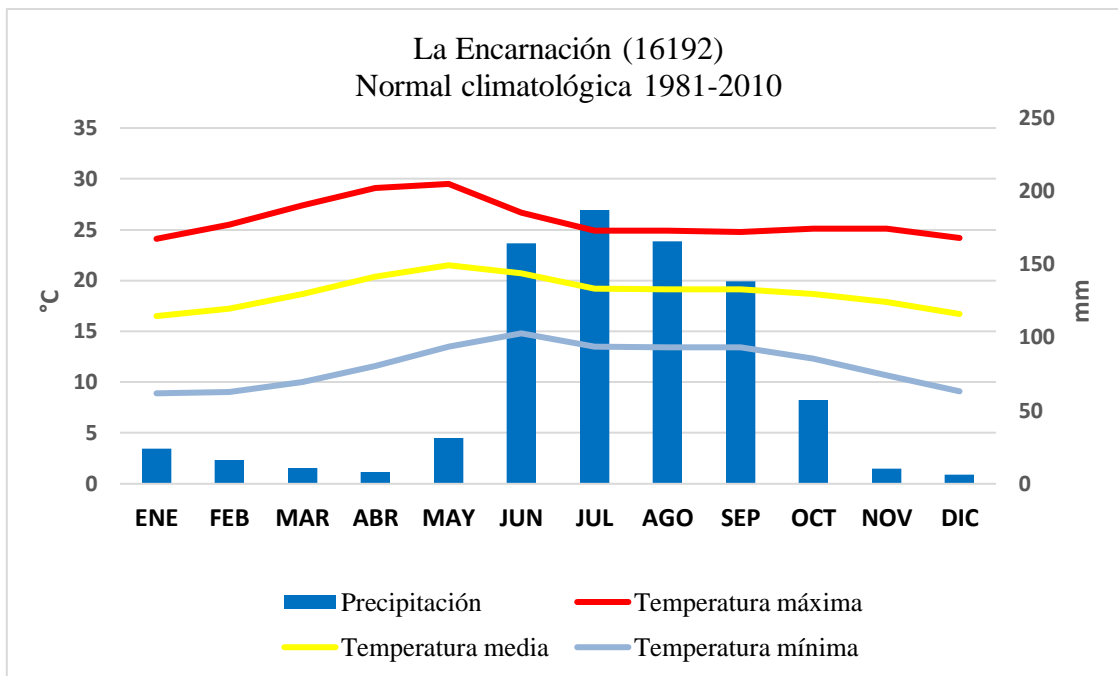


FIGURA 10. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LA ENCARNACIÓN (16192).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.1.4 Región IV

La región occidente del estado de Michoacán de Ocampo contempló la estación de El Bosque (16192) a 1,750 msnm, que presenta temperaturas máximas que van de los 29.7°C en el mes de mayo que es el más cálido del año y en el mes de enero 23.9°C. La temperatura promedio se encuentra entre los 21.9°C en mayo y los 16.4°C en enero cuando la temperatura es la más fría. Las temperaturas mínimas en el mes más cálido descienden a los 14°C y el mes más frío alrededor de los 8°C. La temporada de lluvias inicia en el mes de junio y se establece en el mes de julio con precipitaciones por encima de los 190 mm los meses de septiembre y octubre las precipitaciones disminuyen hasta los 50 mm mensuales, la temporada seca abarca los

meses de noviembre, diciembre con la menor precipitación del año, menor de los 5 mm, le siguen enero, febrero, marzo y abril (Figura 11).

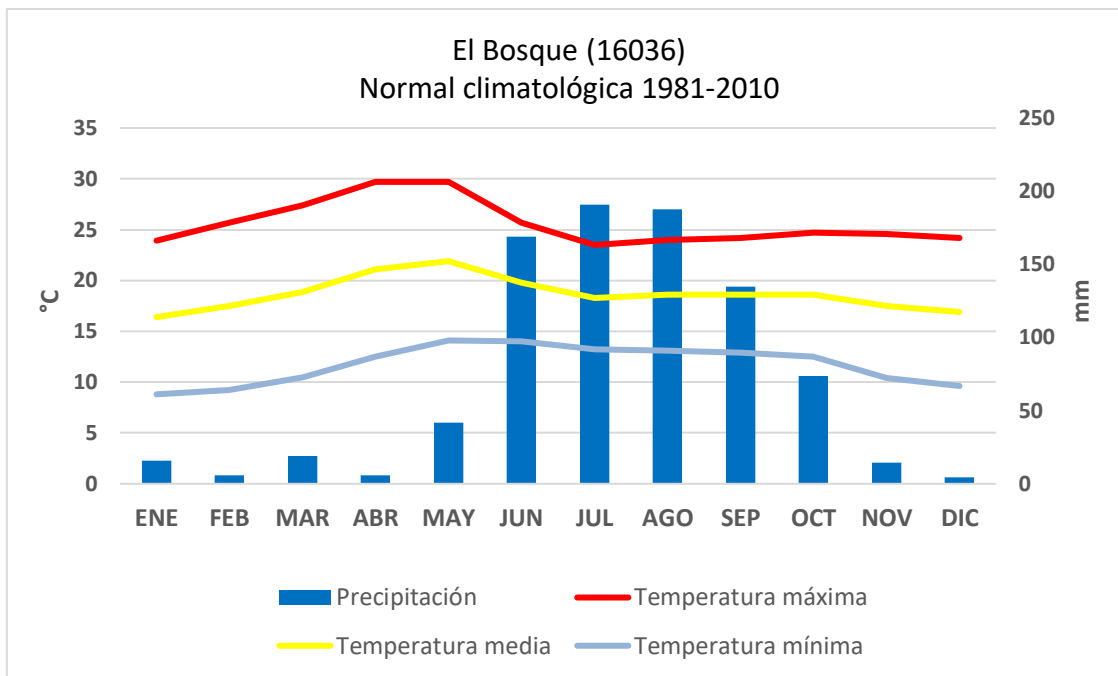


FIGURA 11. CLIMOGRAMA DE LA ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EL BOSQUE (16036).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.2 Tendencia actual del clima en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

Los siguientes mapas muestran los promedios diarios de las variables de temperatura y precipitación, divididas en siete rangos cada una, para posteriormente comparar los cambios en la interpolación de los mapas de escenarios de cambio climático.

3.2.1 Precipitación promedio diaria

El siguiente mapa (Figura 12) corresponde a la precipitación promedio diaria en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, se indican rangos que van desde los 7.0 hasta los 9.2 milímetros. En el norte se presenta una mayor acumulación de la precipitación, puesto que se observan tonos azules más intensos; esta zona tiene precipitaciones que van desde los 8.3 hasta los 9.3 milímetros, por el contrario, la zona con precipitaciones menos significativas se localiza en el suroeste de la región, con rangos que oscilan entre los 7.0 y 8.0 milímetros diarios en promedio, donde se encuentra el municipio de Zitácuaro, al sureste, con una precipitación más representativa, de los 7.7 a los 8.0 milímetros el municipio de Villa Allende. Al hacer una correlación entre la altitud y la precipitación, se observa que la zona más lluviosa, la zona norte, tiene altitudes que varían de los 2,000 hasta los 3,000 msnm., mientras que las zonas con menos pluviosidad corresponden a altitudes desde 500 hasta los 1900 msnm.

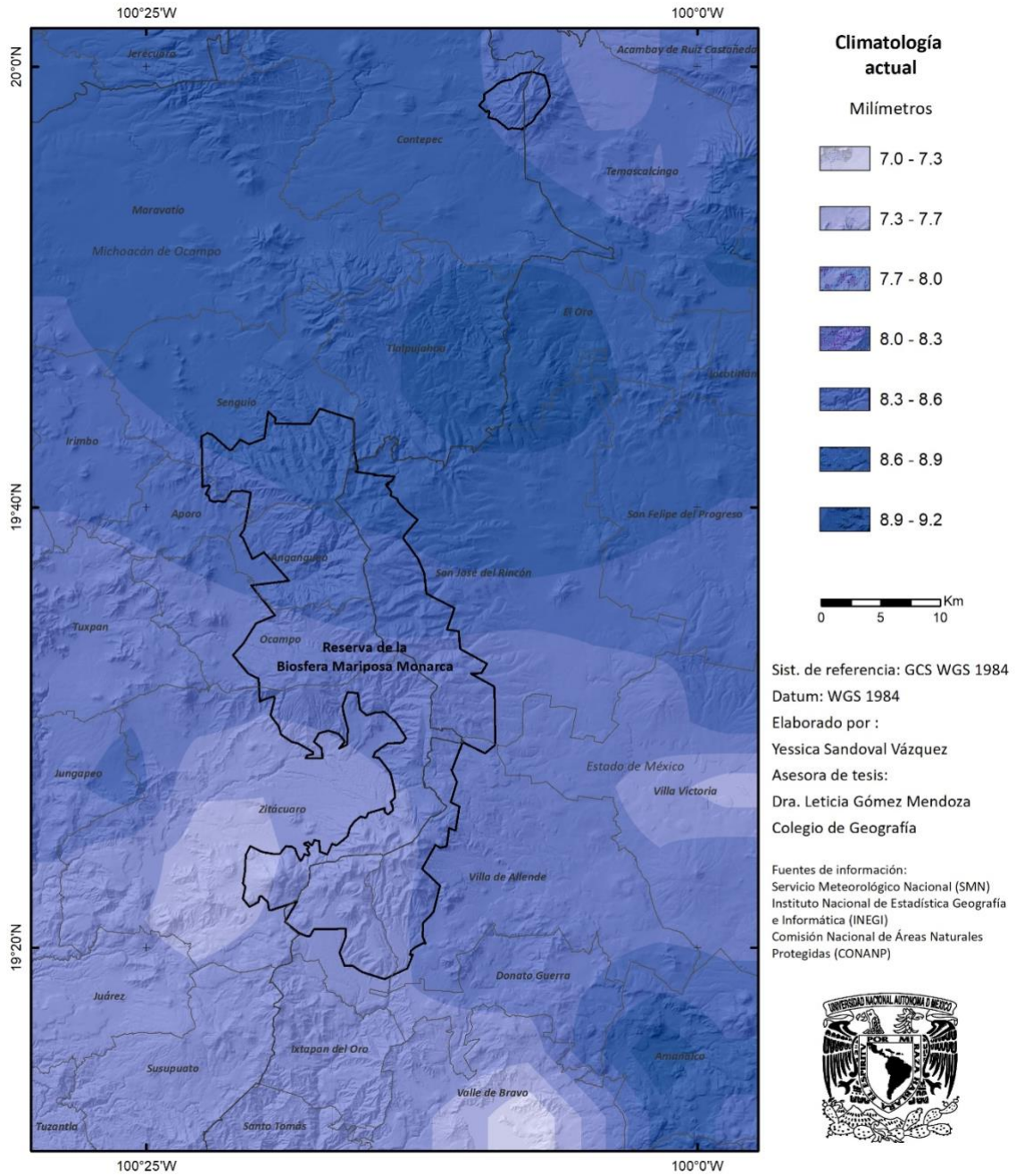


FIGURA 12. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.2.2 Temperatura máxima promedio diaria

En el caso de la temperatura máxima promedio diaria (Figura 13), se observa que el suroeste de la RBMM, que comprende los municipios de Zitácuaro, Tuxpan y Ocampo entre otros de menor extensión, es más cálido que las demás zonas, pues, aunque también se pueden apreciar núcleos con temperaturas cálidas al sur en Valle de Bravo, al este en Villa Victoria y al norte en Contepec y Temascalcingo que, van de los 23 a 25 °C, dicha zona tiene una mayor extensión con temperaturas que ascienden de los 22 a 25.4 °C. La zona menos cálida se presenta en el noreste de la región, en el límite del estado de Michoacán de Ocampo y el Estado de México, en los municipios de Tlalpujahuá y El Oro, presentan las temperaturas menos cálidas, con rangos que van de los 17.4 a los 20 °C. Así como en la variable de la precipitación la altitud juega una importante limitante, para la temperatura máxima se relaciona de igual forma, pues las zonas con altitudes menores a 2,000 msnm, son aquellas donde en el mapa se observan los tonos naranjas más intensos. En cambio, las zonas con altitudes superiores a los 2,000 msnm, son menos cálidas.

De acuerdo con la información obtenida de fuentes hemerográficas sobre eventos atmosféricos extremos en la RBMM (Tabla 6), los municipios de San Felipe del Progreso, Donato Guerra, Villa de Allende, Temascalcingo y San José del Rincón, han presentado sequías e incendios forestales derivados de las condiciones climáticas, así como en el estado de Michoacán de Ocampo en los municipios de Zitácuaro y Ocampo.

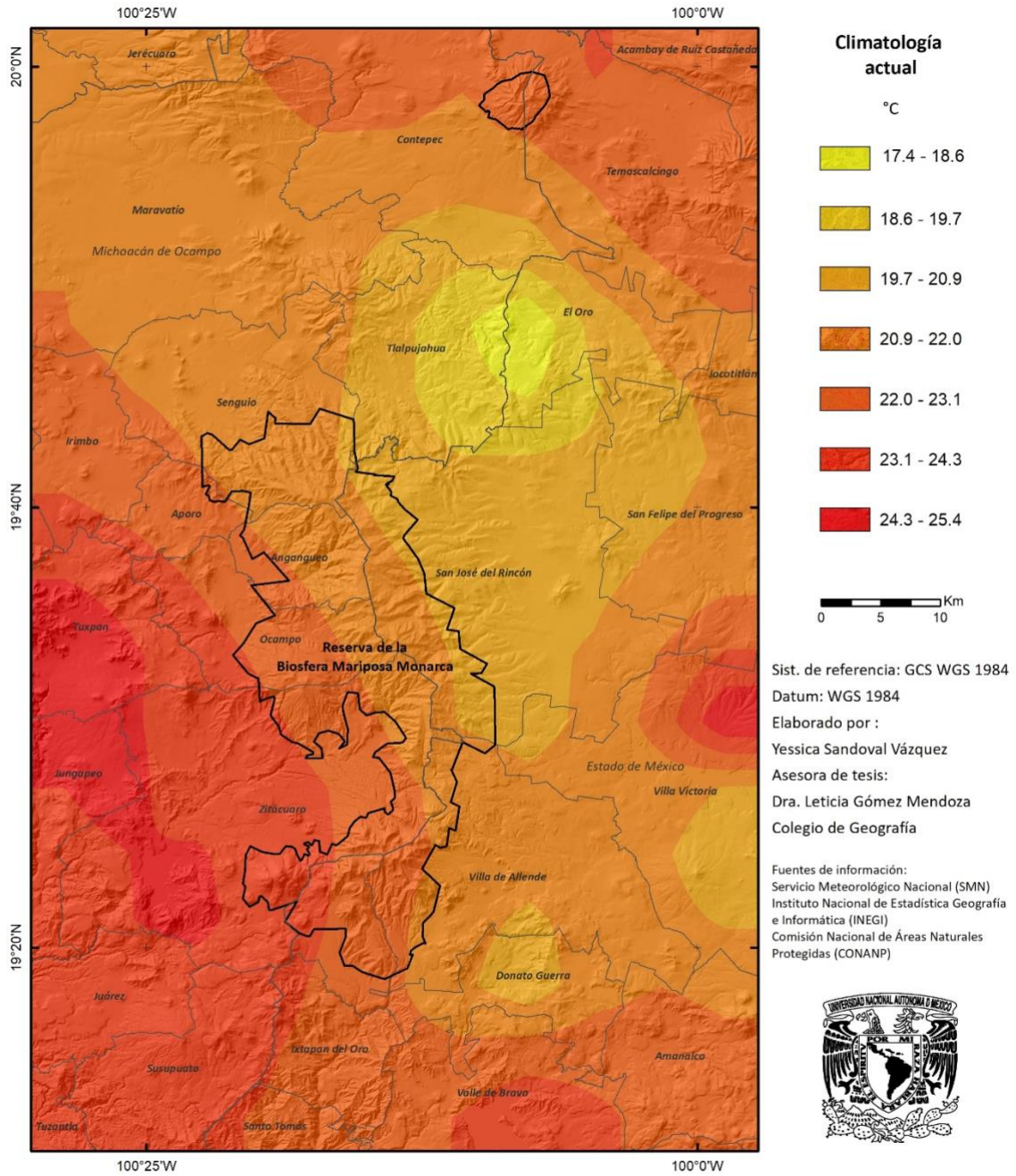


FIGURA 13. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.2.3 Temperatura mínima promedio diaria

En el mapa de temperatura mínima promedio (Figura 14), las temperaturas más frías se concentran en la zona este de la RBMM, en el municipio de San José del Rincón con temperaturas de 2.4 a 5.4°C. Mientras que el suroeste de la región, donde se encuentran altitudes menores de 2,500 msnm., los municipios de Zitácuaro y Tuxpan, así como el suroeste de Villa Allende comprenden temperaturas más cálidas, que van desde los 2.4 a 3.9 °C.

La temperatura mínima promedio diaria del polígono norte, en el Estado de México, se encuentra entre los 5 y 7°C. En el polígono sur, que se encuentra en el límite de los estados de Michoacán de Ocampo y México, las temperaturas cambian gradualmente conforme las altitudes, es por eso que, dentro del ANP las temperaturas van desde los 2°C hasta los 11°C.

Al comparar los mapas de temperatura mínima y máxima promedio, se puede observar que las temperaturas mínimas más cálidas corresponden a la misma zona en donde se encuentran las temperaturas máximas, como en el municipio de Zitácuaro, que constituye la zona urbana más grande cercana a la RBMM, los municipios de Tuxpan y Ocampo.

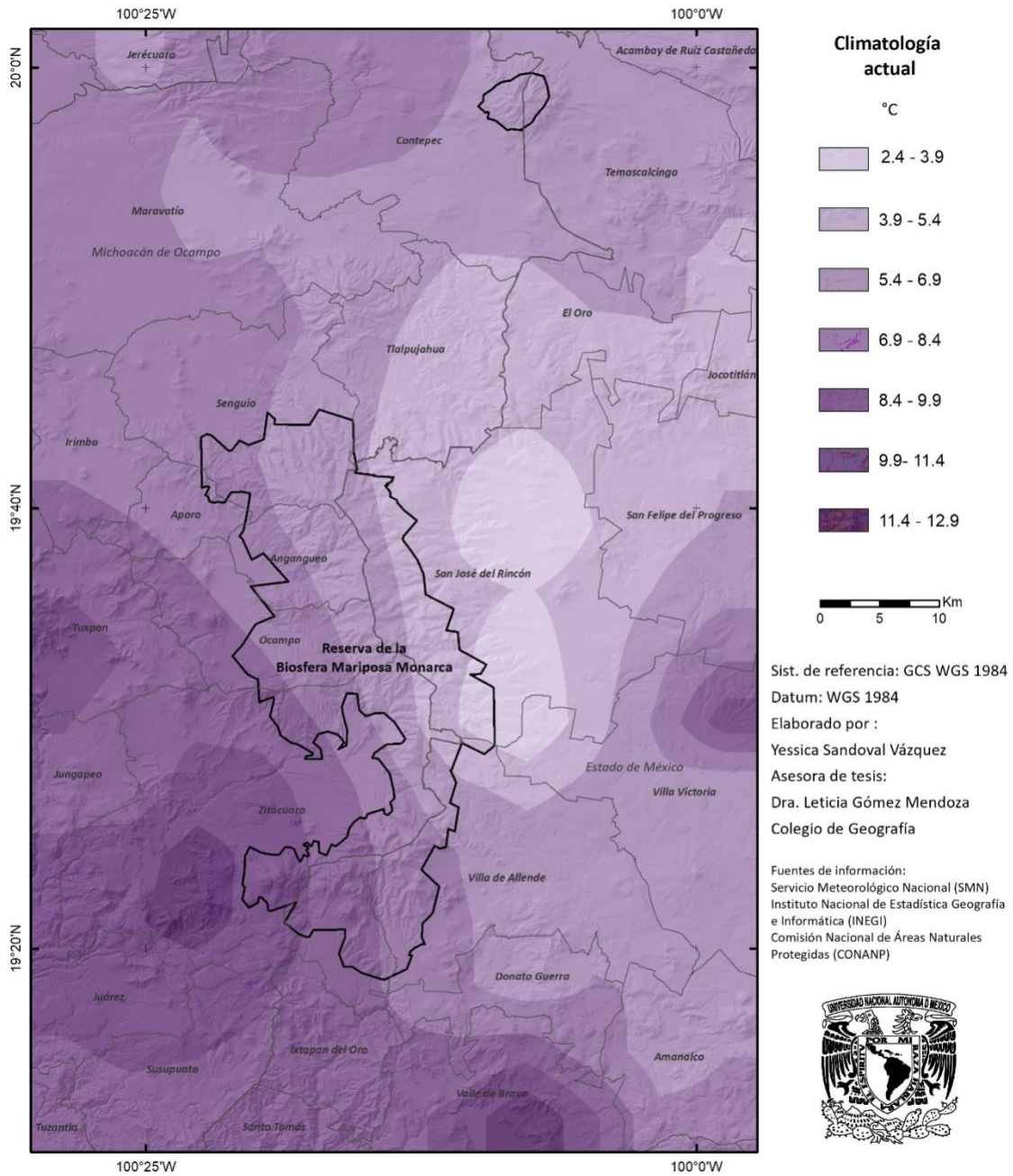


FIGURA 14. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.3 Eventos atmosféricos extremos en la región

Los eventos atmosféricos extremos, son fenómenos que no ocurren con una temporalidad ni intensidad específica, sin embargo, cuando se presentan en un lugar determinado ocasionan daños económicos y sociales debido a que no es común estar prevenidos ante este tipo de eventos.

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), las concentraciones de CO₂ aumentaron un 35% en el periodo de 1750-2005 y siguen aumentando alrededor de 0.4% al año a causa de la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso de los suelos. Los cambios en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son los que están relacionados con cambios regionales y globales en la humedad del suelo, derretimiento de glaciares, incrementos en el nivel del mar y la ocurrencia más frecuente y severa de eventos extremos como huracanes, frentes fríos, inundaciones y sequías (Houghton *et al.*, 1996). Que traen consigo diversas implicaciones, por ejemplo, según Santiago-Lastra, López-Carmona, López-Mendoza (2008):

- Los huracanes más fuertes provocan inundaciones en zonas cercanas a las costas
- Las sequías y ondas de calor prolongadas favorecen los incendios forestales y la desertificación.
- Tornados más intensos.
- Frentes fríos provocando lluvias constantes en las partes altas de las cuencas e inundaciones en las partes bajas.
- Heladas y tormentas de nieve más frecuentes

Para México se estima un 2% de crecimiento anual en las emisiones de GEI (Cabal, 2008) y un aumento de la temperatura promedio del planeta de 1.1 a 6.4 °C. Lo que representa un aumento con mayor rapidez que durante cualquier siglo en los últimos 1000 años (Cornwall, 2008).

Algunas especies vegetales y animales podrán adaptarse a las nuevas condiciones, incluso algunas de distribución restringida podrán ampliar su hábitat. Pero en general, de 20 a 30% de la biodiversidad global estará en riesgo de extinción por la pérdida de su hábitat. Por ejemplo, con un incremento de 2° C en temperatura y una disminución de 10% en la precipitación pluvial anual se estima que los tipos de vegetación más afectados en México serán los bosques de coníferas y encinos, seguidos del matorral xerófilo, el bosque mesófilo de montaña, la vegetación acuática y el pastizal; mientras que los tipos de vegetación que aumentarán su superficie respecto a la actual, son el bosque tropical perennifolio, el bosque tropical caducifolio y el bosque espinoso (Arriaga y Gómez, 2005).

En la RBMM, en el 2009, se produjo una pérdida considerable de árboles producto de la escorrentía y consiguientes deslaves que provocaron las intensas lluvias combinadas con una severa pérdida de cobertura forestal en las partes altas de las cuencas (Vidal y Rendón-Salinas, 2014).

Los siguientes mapas representan los valores extremos de las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima en la RBMM, con datos de la climatología de 1981-2010 obtenidos del SMN.

3.3.1 Precipitación extrema diaria

De acuerdo con los datos obtenidos por el Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico LARS-GW, la precipitación extrema diaria (Figura 15) en la región oscila entre los 45.7-47.9 mm en la parte más alta de los municipios de Contepec al oeste del polígono norte, Zitácuaro al suroeste del polígono sur y Villa Victoria con una altitud aproximada a los 3600 msnm. Las precipitaciones menos significativas alcanzan 32.7 hasta 34.9 mm en el municipio de Donato Guerra al sureste del polígono sur. Los municipios de Senguio, al norte del polígono sur y Temascalcingo al este del polígono norte, muestran precipitaciones alrededor de los 34.9 a los 39.2 mm.

La precipitación, en relación con las zonas más altas de la región, manifiestan una mayor cantidad de milímetros que, en las zonas con menor altitud, sin embargo, dicha correlación es más significativa en la precipitación promedio diaria, donde se observa que en las zonas más altas, existe una mayor pluviosidad.

De acuerdo con la interpolación de los datos del SMN, actualmente, la precipitación promedio diaria se encuentra entre los 7.0 y 9.2 mm por lo que, al ser comparada con la precipitación extrema, la cual alcanza hasta 47.9 mm diarios en algunas unidades de la reserva, se puede observar la variación de los milímetros cuando ocurren eventos extremos, pues aumenta 5 veces más que el promedio diario.

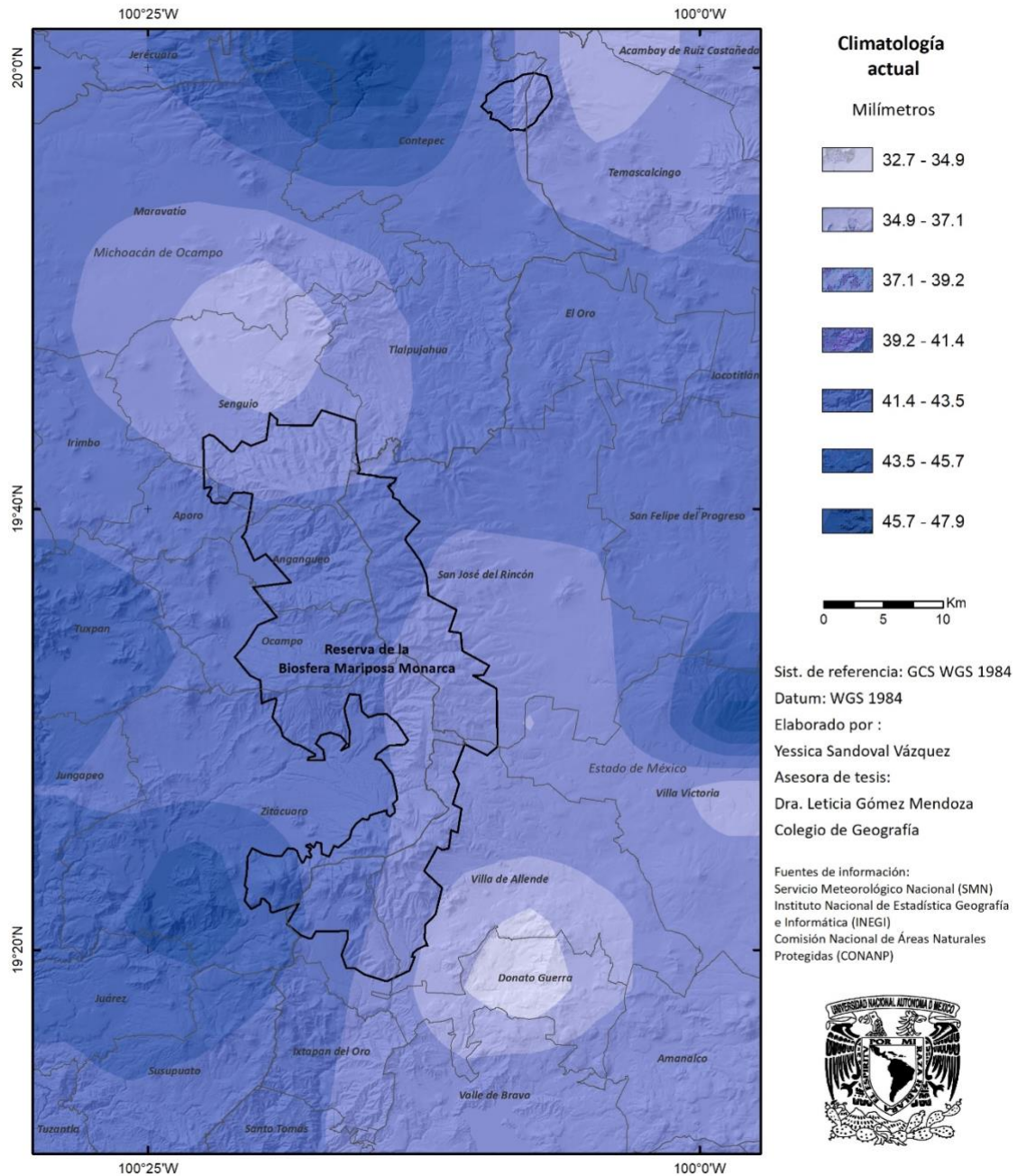


FIGURA 15. PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.3.2 Temperatura máxima extrema diaria

Actualmente las temperaturas máximas extremas diarias (Figura 16) en la región alcanzan rangos desde los 30.2 °C hasta los 31.8 °C en la periferia de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, es decir que, la temperatura aumenta alrededor de 8 °C en comparación con la temperatura máxima promedio diaria (17.4 °C a 25.4 °C), cuando existen eventos extremos vinculados con temperaturas elevadas como las ondas de calor o temporadas de sequía. La mitad de la región correspondiente al Estado de México, muestra temperaturas más cálidas, que el resto de la región (desde 26.2 °C hasta 29.4 °C), donde existen temperaturas que sobrepasan los 30°C. El aumento y descenso de la temperatura está intrínsecamente ligado a la altitud de la zona, ya que dicha región tiene altitudes de 2500 a 3600 msnm, mientras que en las zonas con altitudes menores a los 2000 msnm las temperaturas oscilan entre los 29.4 °C y 31.8 °C, las temperaturas más cálidas de la región.

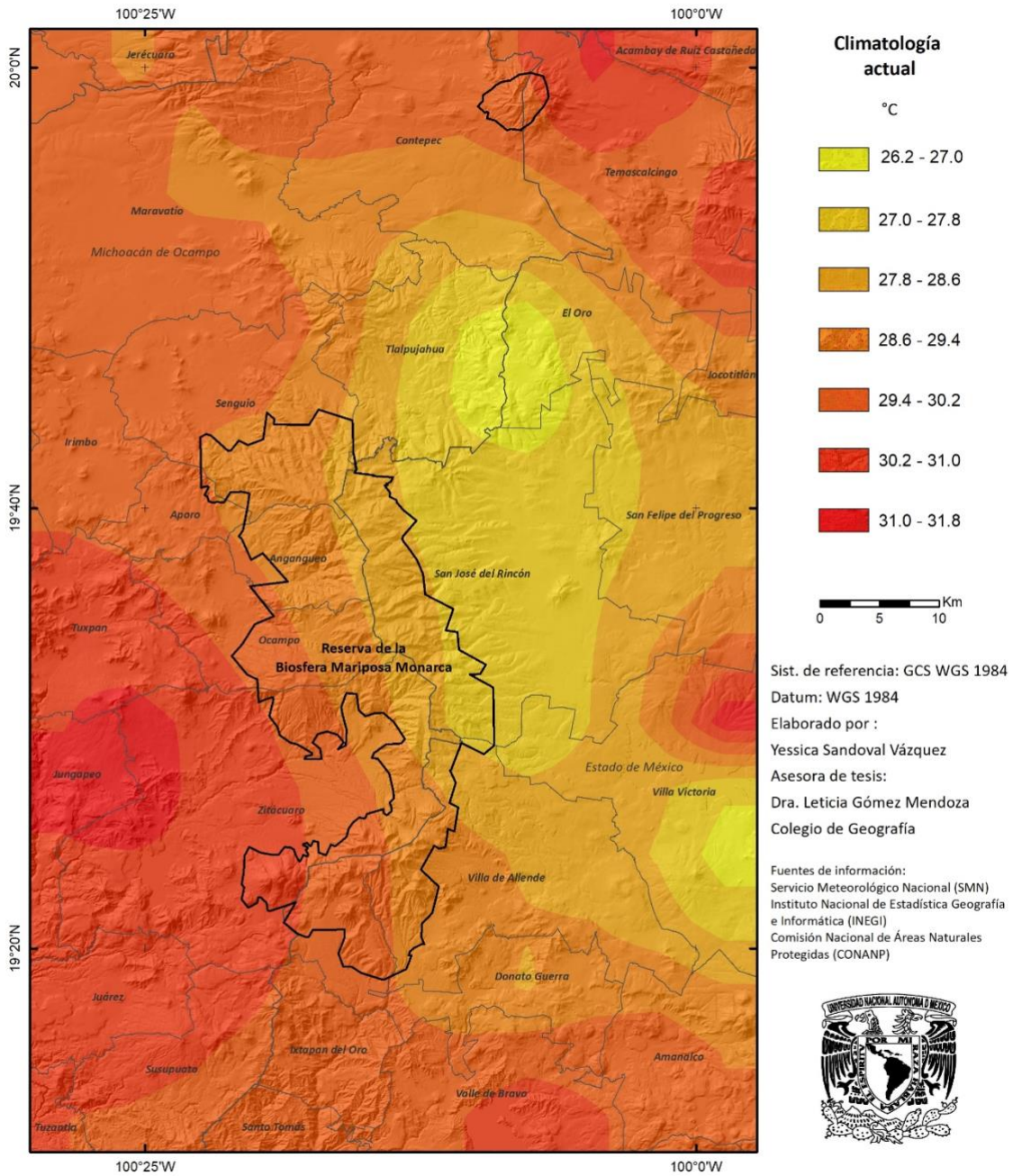


FIGURA 16. TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.3.3 Temperatura mínima extrema diaria

En presencia de eventos extremos originados por bajas temperaturas, la temperatura mínima extrema diaria (Figura 17) alcanza temperaturas que van desde los $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en las zonas más frías hasta los $6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en zonas más cálidas. Como se ha observado en la variable de temperatura máxima, las zonas más cálidas se encuentran al oeste de la reserva en el Estado de Michoacán que, en comparación con el Estado de México, la sección suroeste está conformada por elevaciones menores a los 2500 msnm, por lo que la ocurrencia de fenómenos extremos en la región determina que la temperatura mínima promedio diaria descienda de los $2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en las zonas con altitudes menores las temperaturas extremas diarias oscilan entre $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ al presentarse temperaturas mínimas por debajo del promedio diario. A pesar de que existen zonas menos frías en la región, las temperaturas bajo cero predominan en el 80% de la extensión de la reserva.

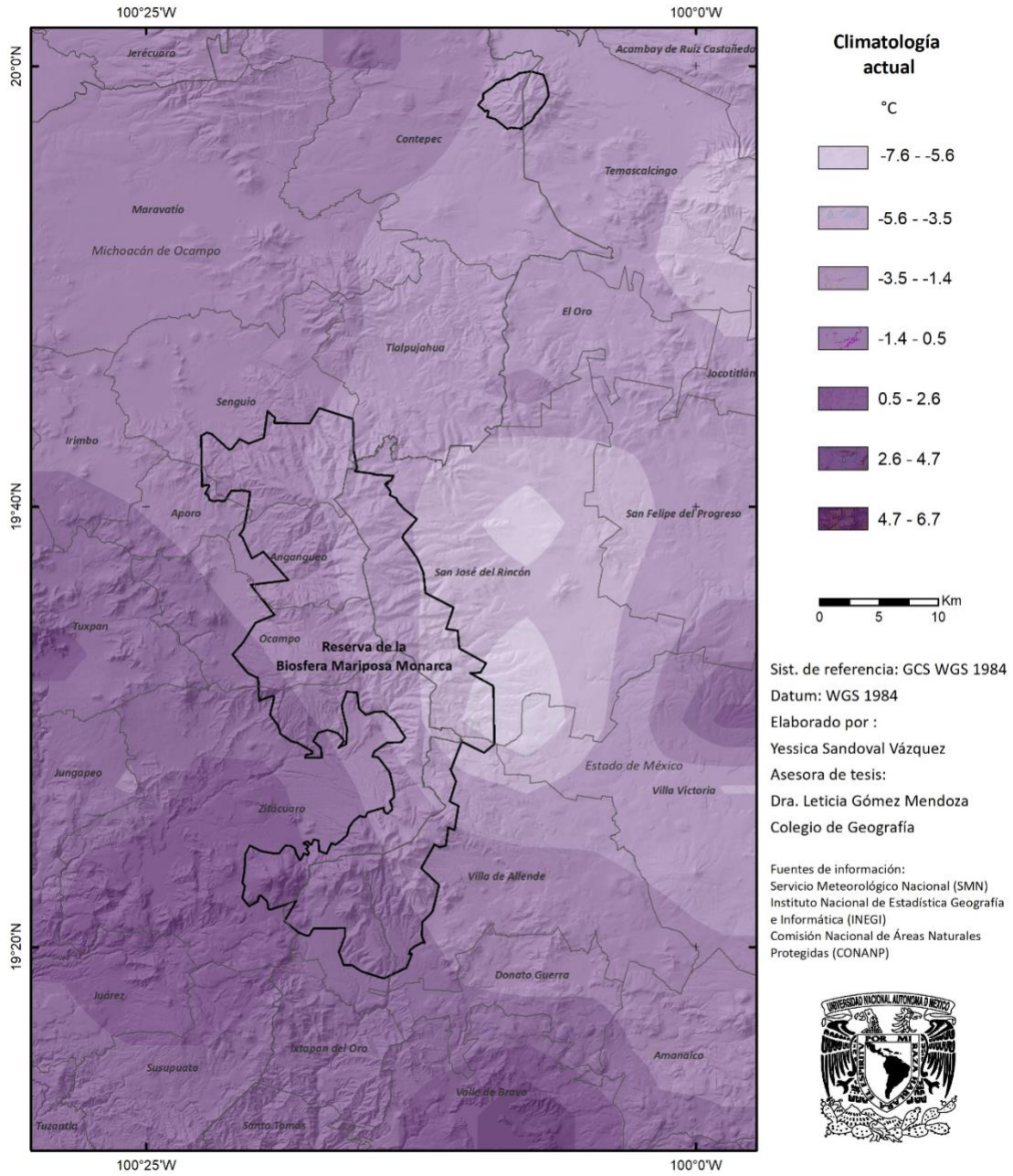


FIGURA 17. TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.4 Series históricas

Las series históricas tanto de precipitación como de temperatura, tienen por objetivo identificar los eventos atmosféricos importantes que han ocurrido en la región para, posteriormente, verificar o constatar dicha información a través de fuentes de primera mano tales como los diarios, periódicos y gacetas locales o nacionales. Incluso, con la elaboración de las gráficas resulta evidente cómo los parámetros se modifican a través de los años, se pueden identificar aquellos meses en donde hay anomalías, el año en que aconteció y cuánto ha cambiado su valor por encima o debajo del promedio, en términos de temperatura y milímetros.

3.4.1 Precipitación

La serie histórica para observar las anomalías de la variable de precipitación fue generada en línea en la página del IRI a partir de la base de datos de la Universidad de California en Santa Bárbara, para la cual se utilizaron registros desde el año de 1981 hasta el 2017. De manera general, se pueden interpretar aquellos meses del año en que la precipitación de la región es más abundante, tales como junio, julio, agosto y septiembre por lo que los patrones de lluvias se encuentran bien definidos; sin embargo, en cada periodo se observa que los valores de los meses de la temporada de lluvia aumentan gradualmente.

El pico más alto en la serie histórica fue en el año 2013, alcanzó 155 mm en el periodo del 21-30 del mes de septiembre. Dicha información se pudo corroborar con las noticias compiladas de fuentes de información digitales de primera mano; sin embargo, en las noticias no se especifican aquellos municipios del estado de Michoacán o el estado de México que fueron afectados, por lo tanto, no aparecen en la tabla de eventos atmosféricos extremos en

la RBMM. Tal fue la magnitud del evento que el estado emitió una declaratoria de desastre natural para nueve municipios en el diario oficial de la federación del 30 de septiembre de 2013 (SEGOB, 2013).

Otro evento importante visible en la serie histórica fue tres años antes, en el año 2010, el cual alcanzó 131.5 mm en el periodo del 21 al 31 de julio. De acuerdo con la información de la tabla de eventos (Tabla 6), fue uno de los años con más impactos por fenómenos naturales en la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. En los municipios de Angangueo, Ocampo y Zitácuaro hubo deslizamientos de tierra derivados de las lluvias torrenciales por los múltiples frentes fríos e inundaciones causadas por la tormenta tropical Alex. En el año 2010, es perceptible el aumento progresivo de la precipitación en los periodos del 11 al 20 de junio (84 mm) y del 1 al 10 de julio (118.5 mm), mes en el que se presenta el evento, a diferencia de los demás años, donde la precipitación sufre un cambio abrupto en el mes de más lluvioso, ya sea junio o julio.

Así como es posible identificar los años con precipitaciones extremas en la serie histórica, también se pueden identificar aquéllos donde hubo escasez de lluvia; el más significativo fue el año de 1997, de acuerdo con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (*por sus siglas en inglés NOAA*) se declaró como año Niño, debido a este fenómeno, los patrones de las condiciones atmosféricas cambiaron y las consecuencias de este evento tuvieron afectaciones globales. Dicho evento, según Escalante (2012), es el episodio más reciente de sequía extraordinaria y ocurre en promedio cada 14 años, por lo que es necesario que cada municipio cuente con un plan de contingencia. Si bien, es una aproximación del tiempo de retorno de los eventos extremos, existe la probabilidad de que se presenten nuevamente en ese lapso de tiempo, razón por la cual también se lleva a cabo este estudio en la región, para

proyectar si es posible que dichos eventos se presenten con mayor frecuencia y de qué tipo podrían ser.

La serie histórica es un elemento más que nos permite comprender la tendencia del clima para la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, en este caso, muestra un aumento en la presencia de lluvias más abundantes y eventos extremos que se presentan cada vez con mayor intensidad y frecuencia.

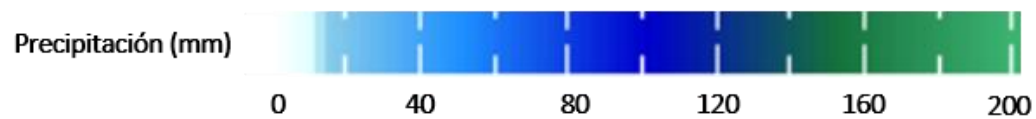
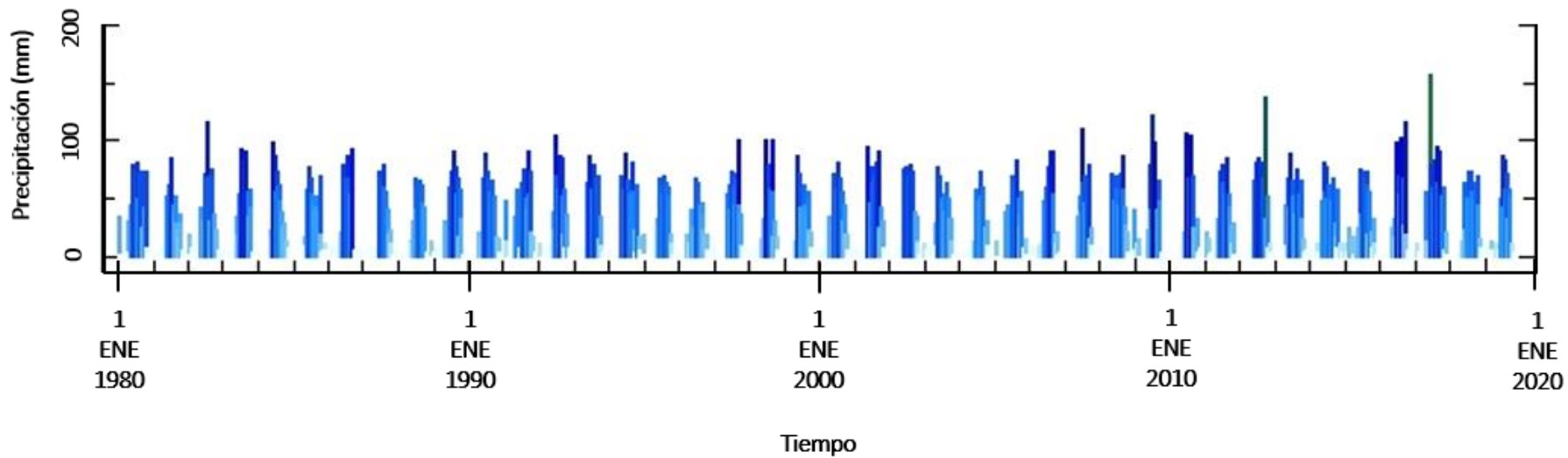


FIGURA 18. SERIE HISTÓRICA DE PRECIPITACIÓN (1980-2020) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA

FUENTE: INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY
 DOMINIO: LONGITUD 100.275 W, LATITUD 19.525 N.

3.4.2 Temperatura del aire en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

La serie histórica de anomalías en la temperatura del aire se obtuvo a partir de los registros del Centro de Predicción Climática, provenientes de los Centros Nacionales para la Predicción del Ambiente de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica a través de la página en línea del IRI (2019) con datos desde el año de 1948 hasta el 2017. En el eje “X” se muestran los años de la serie y en el eje “Y” los valores de la temperatura en grados centígrados (°C) que se encuentra por encima o por debajo de la normal.

Se puede observar que generalmente las temperaturas ascienden por lo menos 1°C en los meses más cálidos; mayo, junio y julio, y descienden alrededor de 1-1.5°C en los meses de enero y diciembre. Sin embargo, hay excepciones para ambos casos, pues hay años donde la temperatura del aire aumenta más de 1°C como en diciembre de 1951 cuando, a pesar de ser uno de los meses más fríos, la temperatura se mantuvo 2°C por encima de la normal, así también fue el año de 1998 donde el mes de mayo tuvo una temperatura 2.28°C más cálido de lo normal. Al igual que en la serie histórica de precipitación, para corroborar las anomalías en la temperatura del aire, se buscó información sobre eventos extremos en fuentes de primera mano. No obstante, para el evento de 1951, debido a la antigüedad del evento, no se encontraron noticias o algún documento con el cual se pueda verificar el suceso. En cambio, para 1998, en la tabla de eventos atmosféricos (Tabla. 6) se identificó en el mes de marzo, un evento de incendio forestal, derivado de la sequía en el municipio de Donato Guerra en el Estado de México, el cual también se vincula con el fenómeno de El Niño. De acuerdo con la serie histórica de la NOAA sobre episodios de El Niño y La Niña (Tabla. 4) el mes de

marzo tuvo una temperatura de entre 1.9 y 1.4 °C por encima de la temperatura promedio mensual.

TABLA 4. EPISODIOS EL NIÑO/LA NIÑA

AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6

FUENTE: CENTRO DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA, NOAA.

A partir del año 2014, la serie histórica de temperatura del aire indica que la tendencia de la temperatura va en aumento. Se presentan años en donde la temperatura desciende en algunos meses, a pesar de que, son más significativos aquellos donde la temperatura se mantiene por encima del promedio mensual. De acuerdo con la serie histórica de eventos El Niño y La Niña de la NOAA, se puede corroborar que al finalizar el año 2014 en los meses de octubre,

noviembre y diciembre la temperatura comienza a aumentar, así como a inicios del año 2015, que fue declarado el fenómeno de El Niño.

TABLA 5. EPISODIOS EL NIÑO/LA NIÑA

AÑO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1				

FUENTE: CENTRO DE PREDICCIÓN CLIMÁTICA, NOAA.

3.5 Documentación de eventos extremos

Los eventos atmosféricos extremos presentes en los municipios que conforman la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca fueron registrados en la siguiente tabla a partir de documentación periodística, anuarios estatales, diarios locales y bases de datos en línea como la plataforma de *DesInventar*. La noticia más antigua que se encontró es del año de 1991, a pesar de que en las series históricas tanto de precipitación como de anomalías en la temperatura del aire se registran eventos importantes desde el año 1950. Derivado de la problemática de la falta de información de primera mano surge el tema sobre la importancia de llevar a cabo un registro local sobre eventos extremos y cambios en la temporalidad de las estaciones que apoyen en la prevención de desastres por fenómenos meteorológicos.

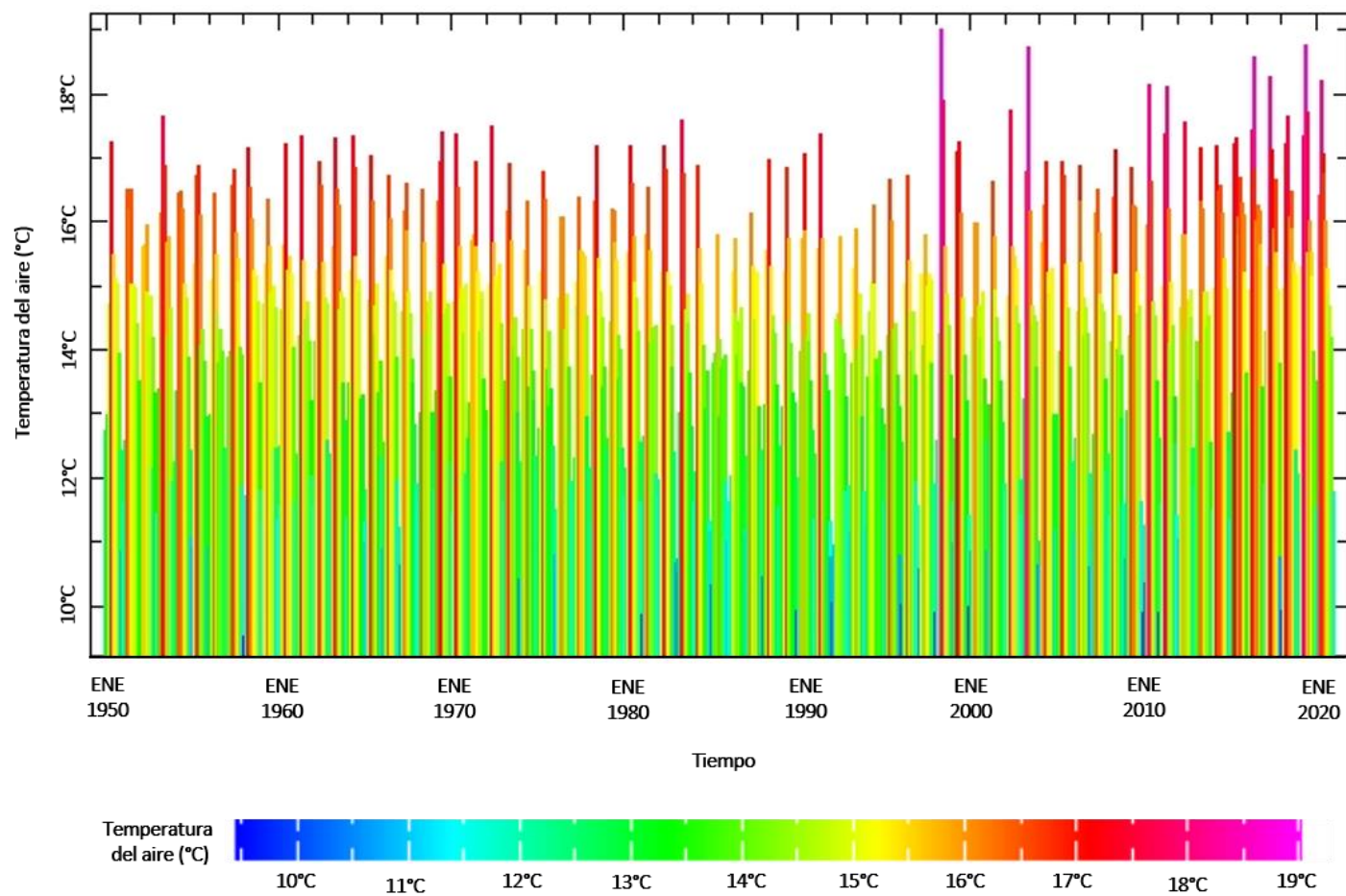


FIGURA 19. SERIE HISTÓRICA DE ANOMALÍAS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE (1950-2020) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA

MARIPOSA MONARCA

FUENTE: INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE AND SOCIETY.
 DOMINIO: LONGITUD 100.25 W, LATITUD 19.75 N.

A continuación, se presenta la tabla de eventos atmosféricos extremos, la cual manifiesta la importancia de un acervo histórico de tipo climático donde se puedan identificar las fechas y eventos con mayores impactos en un determinado lugar. Muestra la compilación de registros de eventos como lluvias torrenciales, frentes fríos y sequías entre otros.

TABLA 6. EVENTOS ATMOSFÉRICOS EXTREMOS EN LA RBMM.

Fecha de inicio	Tipo de evento	Tipo de causa	Estado	Municipio	Localidad
22/07/1992	Lluvias	Condiciones atmosféricas	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
05/06/1993	Sequía	Evento El Niño	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
18/06/1997	Inundación	Lluvias	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
03/03/1998	Incendio forestal	Sequía, evento El Niño	Estado de México	Donato Guerra	Sin Dato
10/04/1999	Incendio forestal	Otra causa	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
14/08/1999	Tempestad	Lluvias	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
14/09/1999	Inundación	Lluvias	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
03/03/2001	Nevada	Onda fría	Estado de México	Temascalcingo	Sin Dato
02/06/2008	Incendio forestal	Otra causa	Estado de México	Donato Guerra	Sin Dato
02/06/2008	Incendio forestal	Otra causa	Estado de México	Villa de Allende	Sin Dato
11/09/2009	Sequía	Otra causa	Estado de México	Villa de Allende	Sin Dato
11/05/2010	Ola de calor	Condiciones atmosféricas	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
11/05/2010	Ola de calor	Condiciones atmosféricas	Estado de México	Temascalcingo	Sin Dato
16/12/2010	Helada	Onda fría, FF no. 14	Estado de México	San Felipe del Progreso	Sin Dato
02/06/2008	Incendio forestal	Condiciones atmosféricas	Estado de México	San José del Rincón	Sin Dato
11/05/2010	Ola de calor	Condiciones atmosféricas	Estado de México	San José del Rincón	Sin Dato
16/12/2010	Helada	FF no.14	Estado de México	San José del Rincón	Sin Dato

Fecha de inicio	Tipo de evento	Tipo de causa	Estado	Municipio	Localidad
31/07/1991	Inundación	Lluvias	Estado de México	Villa Victoria	Sin Dato
16/12/2010	Helada	FF no.14	Estado de México	Villa Victoria	Sin Dato
01/06/2000	Deslizamiento	Lluvias	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Zitácuaro, Poblado de Nicolás Romero (cerro El Cacique)
14/06/2002	Deslizamiento	Lluvias	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ocampo, El Soldado, Ojo de Agua y Los Tepetates
12/01/2004	Helada	Onda fría	Michoacán de Ocampo	Angangueo	Angangueo
07/02/2007	Nevada	Onda fría, FF No. 35.	Michoacán de Ocampo	Angangueo	Angangueo
21/02/2008	Incendio forestal	Otra causa	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Zitácuaro, comunidad Crescencio Morales a 17 km de la R.B.M.M
01/02/2010	Deslizamiento	Lluvias, FF No. 28	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ejido El Rosario
04/02/2010	Deslizamiento	Lluvias, FF no. 28.	Michoacán de Ocampo	Angangueo	Angangueo
05/02/2010	Deslizamiento	Lluvias, FF no. 29	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ejido El Rosario.
05/02/2010	Deslizamiento	Lluvias, FF no. 29.	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Zitácuaro
06/02/2010	Deslizamiento	Lluvias, FF no. 29	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ejido Rancho Escondido
19/02/2010	Nevada	Onda fría, FF No. 32	Michoacán de Ocampo	Angangueo	Angangueo
02/07/2010	Inundación	TT Alex.	Michoacán de Ocampo	Angangueo	Angangueo
05/04/2011	Incendio forestal	Otra causa	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Ejido El Rosario, cerro El Campanario, R.B.M.M

FUENTE: DATOS HEMEROGRÁFICOS OBTENIDOS DE LA JORNADA Y EL UNIVERSAL.

3.6 Proyecciones a 25 años para eventos atmosféricos extremos

El siguiente apartado corresponde a la descripción de los valores extremos de las variables de temperatura y precipitación a partir de los datos obtenidos con el generador estocástico de tiempo meteorológico para el escenario A2, año 2035.

3.6.1 Precipitación extrema diaria escenario A2, 25 años

Las precipitaciones extremas diarias en la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca para el año 2035 podrían aumentar alrededor de 2 a 20 mm dependiendo de la zona y su altitud. Como se puede observar en la Figura 20, existe una marcada delimitación entre las zonas con mayor y menor pluviosidad. La zona este, muestra rangos que van desde los 34.8 mm a los 45.2 mm en zonas con altitudes mayores de 2500 msnm.

La zona oeste está conformada por precipitaciones que oscilan entre los 40 mm y 71.2 mm en la sección suroeste de la región, la cual presenta elevaciones de entre 1500 a 3600 msnm. En lo que concierne al polígono norte y sur de la reserva, la precipitación se mantiene entre los 40 y 45 mm diarios.

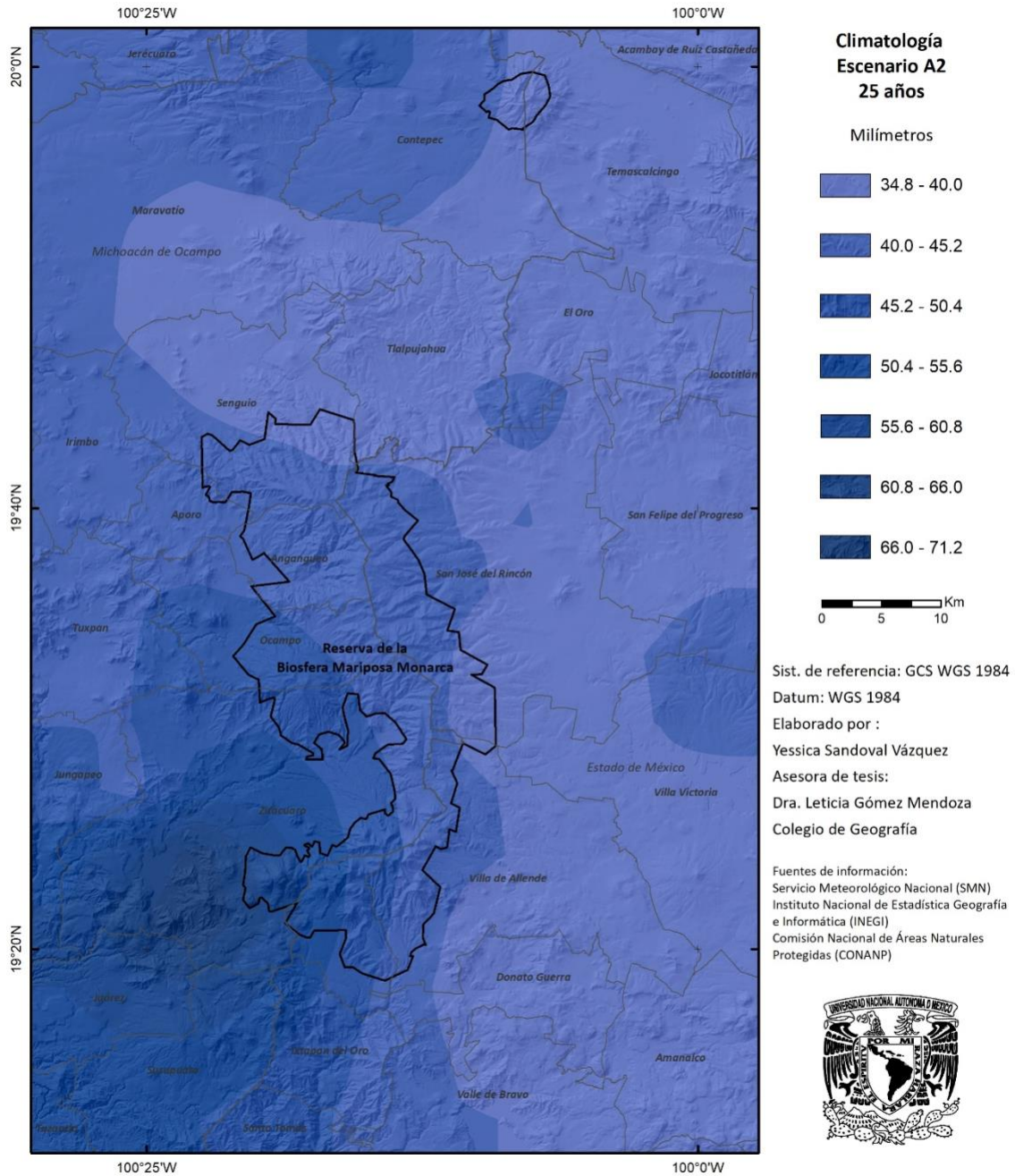


FIGURA 20. PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.6.2 Temperatura máxima extrema diaria escenario A2, 25 años

La temperatura máxima extrema diaria para el año 2035 (Figura 21) muestra un patrón similar a la de la climatología actual en cuanto a las zonas más cálidas de la región. Sin embargo, para este escenario se proyectan temperaturas máximas extremas con valores de 27.2 °C hasta 34°C.

En el municipio de Zitácuaro al oeste de la reserva y en el municipio de Villa Victoria al extremo contrario donde se observan los valores más altos de temperatura máxima, desde 32°C a los 34°C. Debido a la orografía, las temperaturas más cálidas se concentran al oeste de la región, en el estado de Michoacán, mientras que al este de la zona las temperaturas oscilan entre los 27.2°C y 30°C.

En el norte de la región, donde se encuentra el polígono norte en los municipios de Contepec, estado de Michoacán y Temascalcingo, estado de México, la temperatura se encuentra por encima de los 31°C encerrando las temperaturas más cálidas de la zona centro de la región.

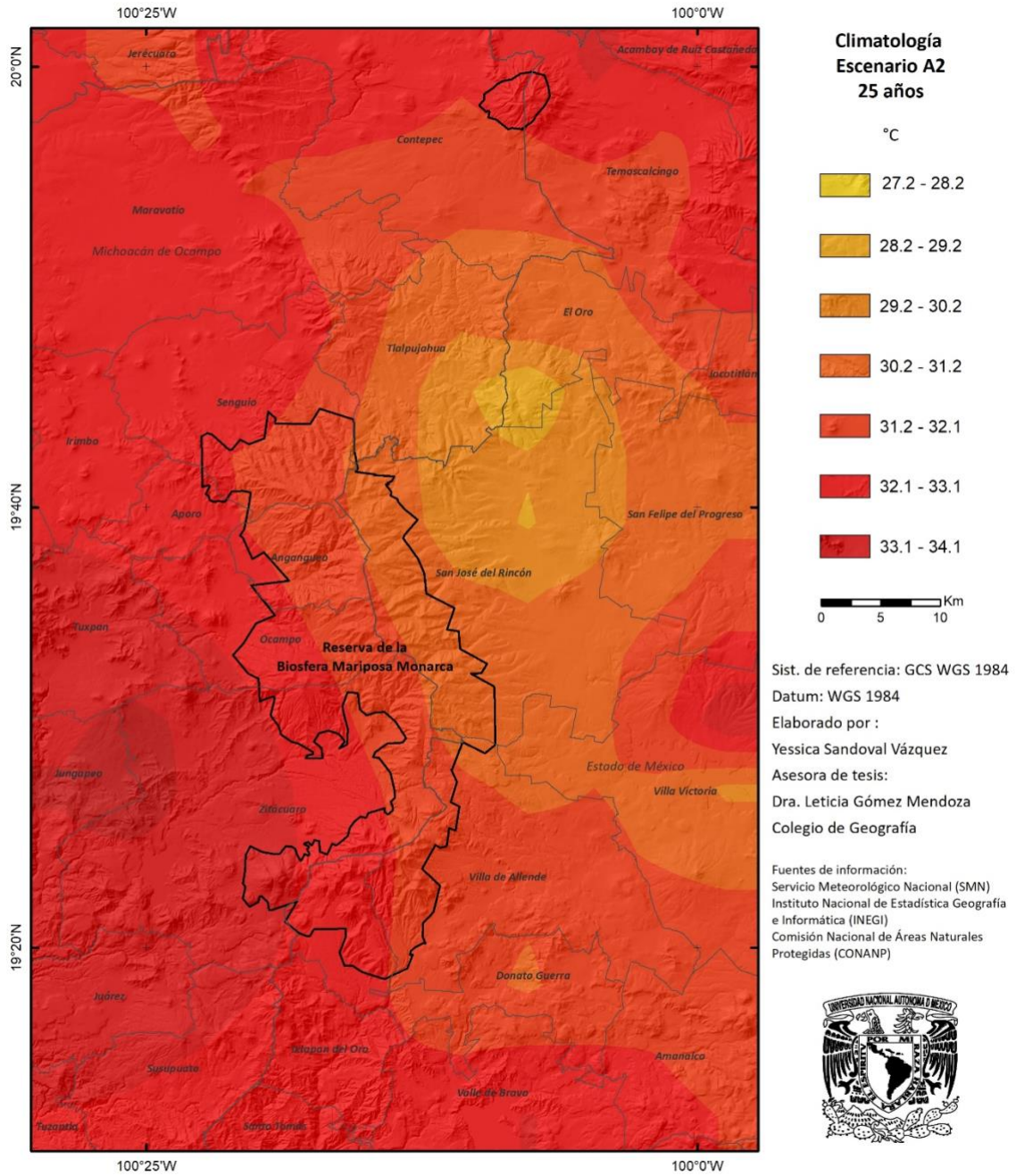


FIGURA 21. TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.6.3 Temperatura mínima extrema diaria, escenario A2, 25 años

De acuerdo con el análisis en los mapas e interpretaciones anteriores, la altitud y las temperaturas de la región se encuentran relacionadas íntimamente, y las temperaturas mínimas extremas diarias para el año 2035 no son la excepción, pues se puede observar que las zonas con altitudes menores de 2500 msnm tienen las temperaturas más cálidas que el resto de los municipios que se encuentran en el estado de México, donde algunas de las altitudes sobrepasan los 3000 msnm.

Al realizar la comparación entre la climatología actual y las proyecciones de la temperatura mínima extrema para el año 2035, se considera que dicha temperatura podrá disminuir alrededor de un 1°C en las zonas menos cálidas; sin embargo, en las zonas cálidas de la región, la temperatura se verá afectada de manera contraria, ya que se muestra una tendencia al aumento de la temperatura mínima en las zonas con menor elevación.

El municipio de San José del Rincón, al este de la reserva, tiene las temperaturas más frías que van de -6.6 a -4.5°C (Figura 22), las cuales han aumentado su extensión para la proyección del escenario A25, puesto que en el mapa de la climatología actual predominaban las temperaturas de 0°C hasta los 6.7°C. En el caso opuesto se encuentra el municipio de Zitácuaro, con temperaturas por encima de los 0°C las cuales alcanzan desde 1°C hasta 7.7°C donde los patrones de las temperaturas más cálidas eran uniformes, sin embargo, para el 2035 se ha formado un núcleo en el municipio que, da lugar a una nueva temperatura más elevada.

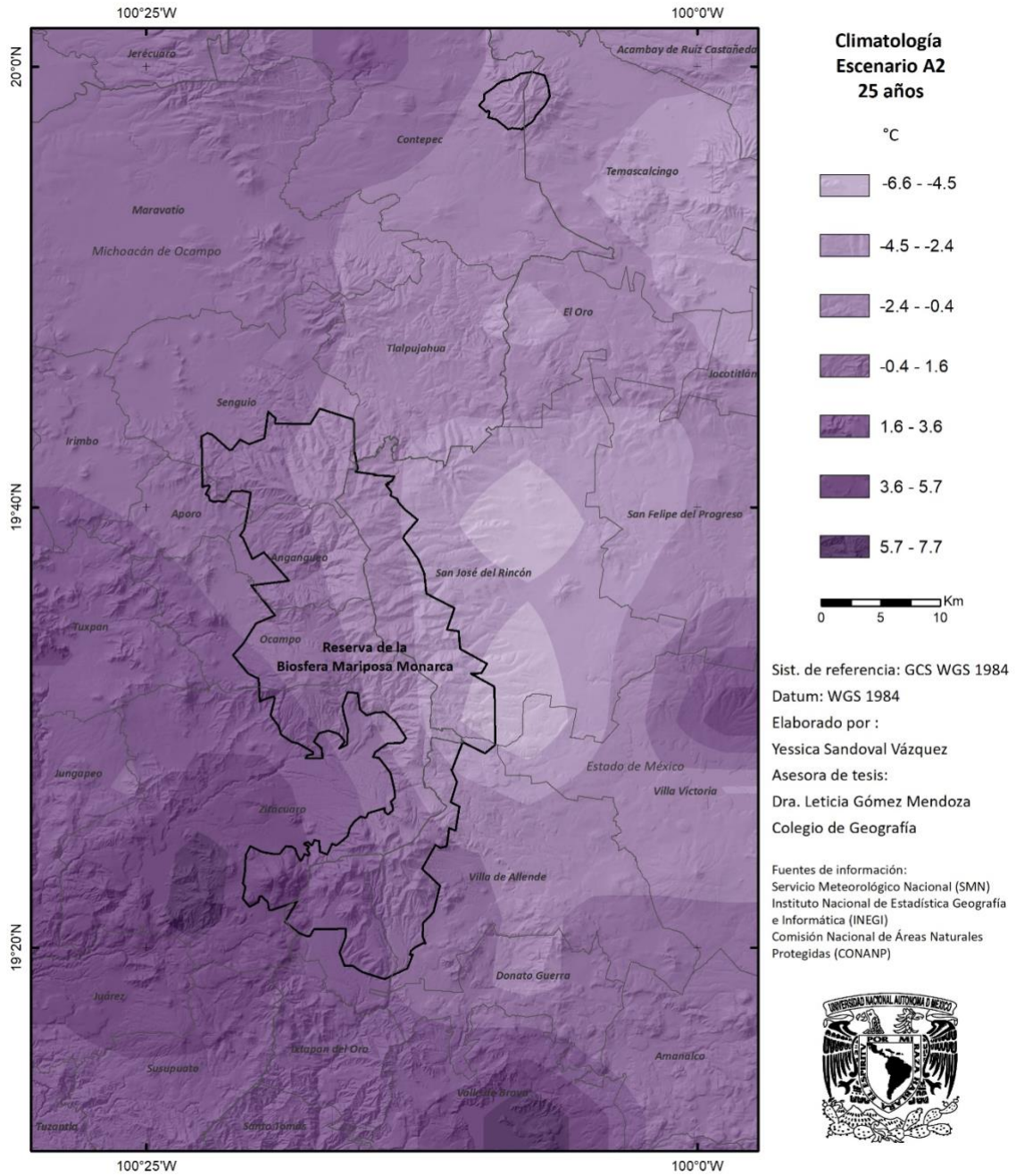


FIGURA 22. TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.7 Escenarios de Cambio Climático

Según Conde y Gay (2008), las estimaciones más recientes indican que el incremento en la temperatura global promedio del planeta se encontrará entre 1.8 y 4.0 °C, dependiendo del tipo de desarrollo tecnológico, económico y social que adopte el mundo, sin embargo, no se descartan aumentos por encima de los rangos mencionados anteriormente. Según la guía de escenarios (2008), si se presenta un aumento global menor a 3 °C, es probable que la productividad agrícola se incremente en latitudes altas. En latitudes bajas, los decrementos en esta productividad se pueden dar aún con cambios menores en las temperaturas locales. Si se presenta un aumento superior a los 3 °C, es probable que la productividad disminuya en la mayoría de las regiones del planeta.

A continuación, se describen los escenarios regionales de cambio climático, realizados a partir de la interpolación de las series de datos, ejecutadas por el Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico LARS-WG

3.7.1 Precipitación promedio diaria, escenario de cambio climático A2 (25 años)

La precipitación promedio para el año 2035 está estimada entre los 8.2, como la mínima, y hasta los 10.2 milímetros diarios en las zonas más lluviosas, que como se puede observar en el mapa (Figura 23), se presenta en la sección norte de la región, al noroeste de la porción más pequeña de la RBMM perteneciente al Estado de México, así como al suroeste, en el límite de la zona sur de la reserva que pertenece al Estado de Michoacán de Ocampo. Dichas zonas tienen elevaciones que se encuentran entre los 2,829 a los 3,640 msnm, por lo que es evidente que, a mayor altitud, la precipitación será más abundante. En el caso contrario del aumento de la precipitación, es notorio que los municipios que se ubican al sureste de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, tales como Valle de Bravo y Donato Guerra con precipitaciones de 8.2-8.5 mm de precipitación diarios y Villa Allende, con precipitaciones por encima de los 8.5mm y hasta los 8.8 mm diarios al igual que la zona centro al oeste de la reserva se ubican en zonas donde las elevaciones no son mayores a los 2,200 msnm.

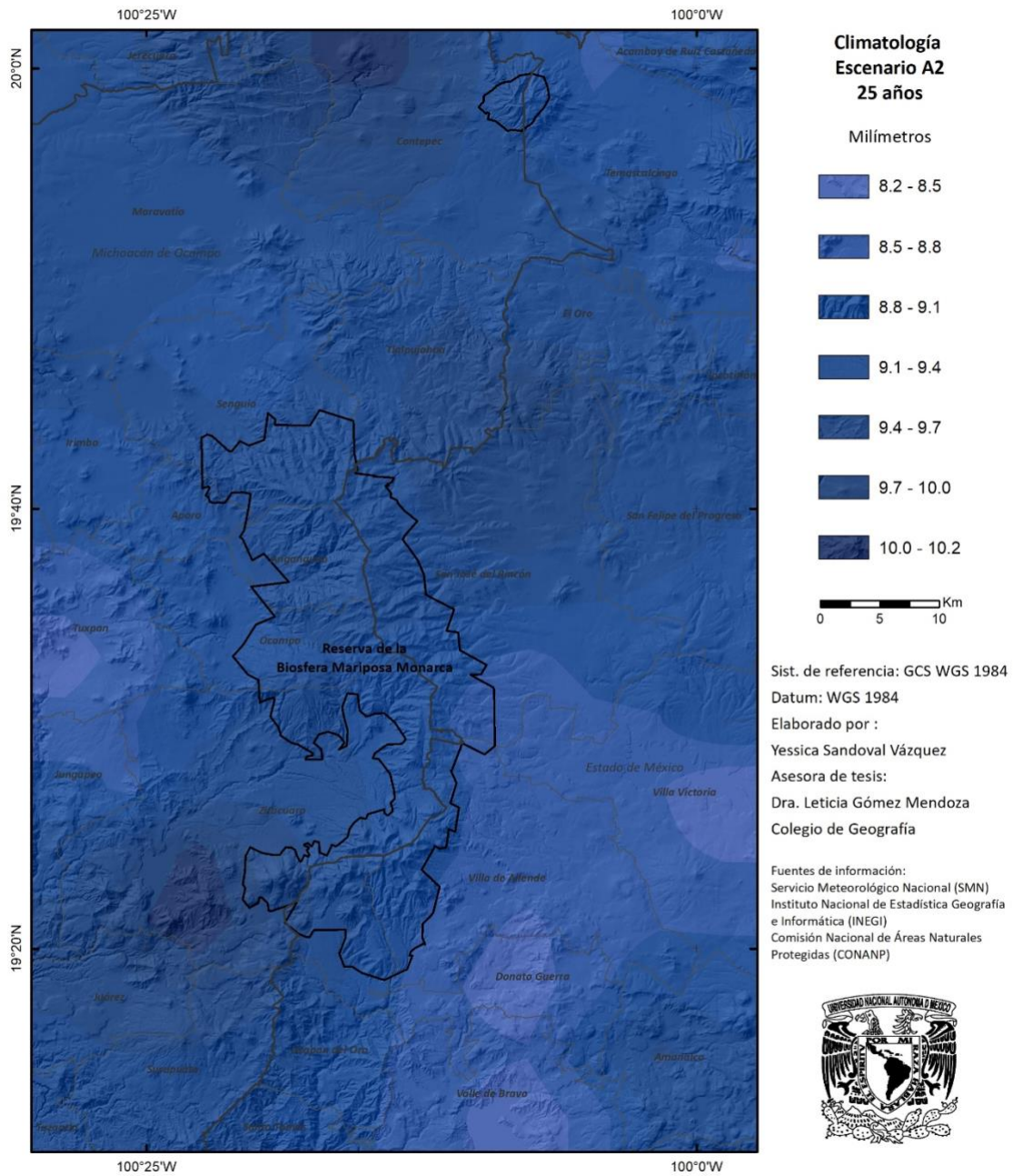


FIGURA 23. PRECIPITACIÓN PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.7.2 Temperatura máxima promedio diaria, escenario de cambio climático A2 (25 años)

De manera general, el escenario de cambio climático proyecta un futuro cálido para la región, puesto que la temperatura máxima diaria esperada para el año 2035 supera los 26.3°C en algunas secciones de la región de estudio, esto representa un aumento de alrededor de 1.4°C diarios. Las temperaturas más cálidas se concentran en la zona oeste de la región, en el municipio de Tuxpan, uno de los municipios que conforma la región, con las temperaturas más altas, las cuales oscilan entre los 25.2 a los 26.3°C y los municipios de Zitácuaro y Angangueo con temperaturas de 24.2-25°C. Mientras que en los municipios de Tlalpujahua y El Oro que, se localizan al noreste de la reserva, se muestran las temperaturas menos cálidas con valores de 18.8 hasta 22°C.

En relación con el factor del relieve, podemos observar que las temperaturas más calientes corresponden a las zonas más deprimidas de la región, es decir, zonas con altitudes desde 1,110 a 1,576 msnm. Debido a las variadas formas del relieve que tiene la superficie denominada como RBMM, en ésta se concentran temperaturas desiguales, tanto en la sección centro como en los límites que la comprenden. Por otra parte, en el polígono norte de la reserva, correspondiente al Estado de México, al constituir una superficie menos extensa que el polígono sur, solamente se observan dos temperaturas, sin embargo, no son más cálidas que en las demás secciones que componen la reserva (Figura 24).

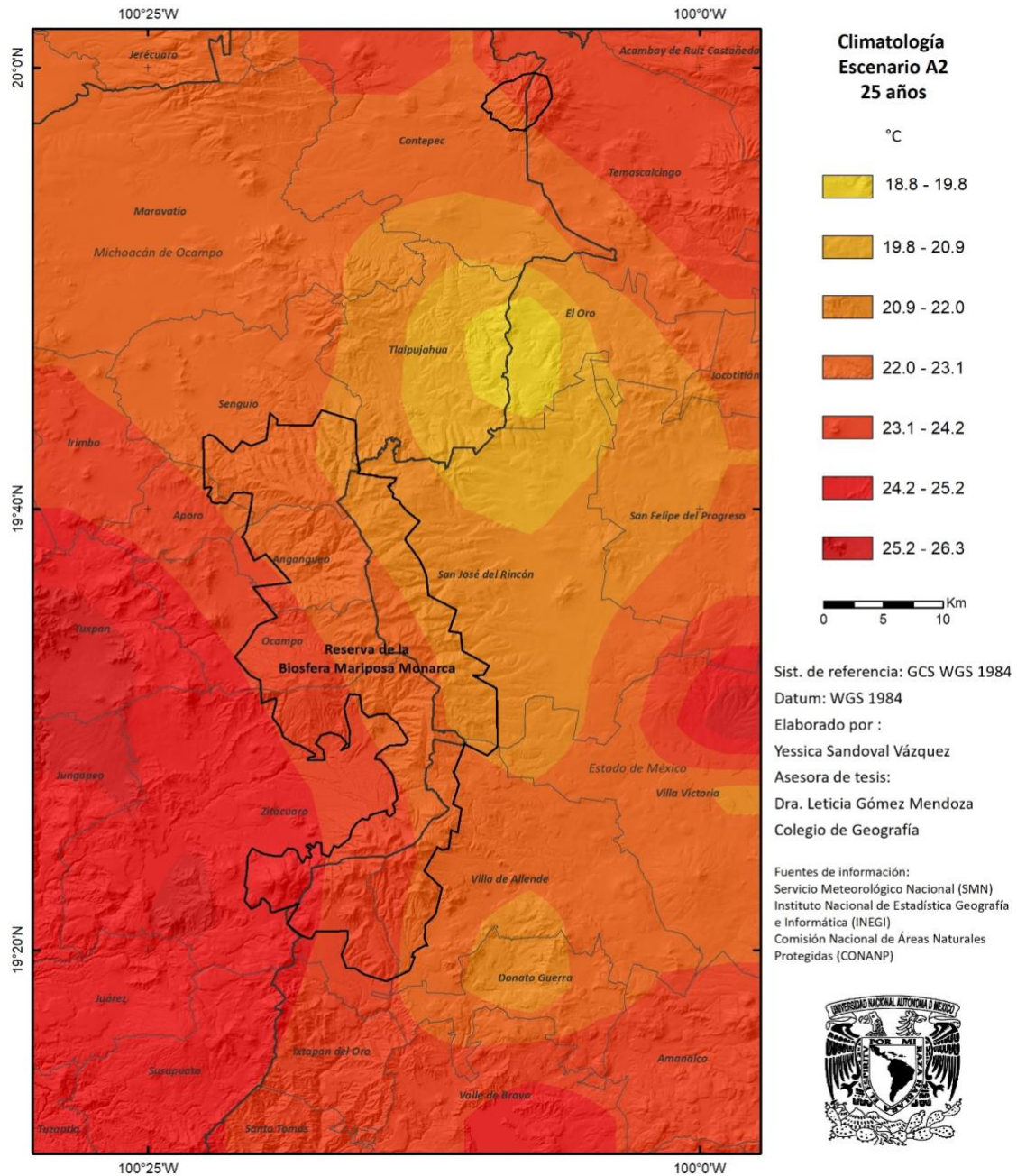


FIGURA 24. TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

3.7.3 Temperatura mínima promedio, escenario de cambio climático A2 (25 años)

Para la proyección de la temperatura mínima promedio diaria del año 2035, se espera un aumento de aproximadamente 1°C, puesto que la temperatura mínima promedio diaria en la climatología actual es de 2.4°C, pero para la proyección a 25 años se espera una temperatura mínima de 3.7 °C.

Las temperaturas mínimas en la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca oscilan entre los 3.7°C en las zonas más frías, hasta los 13.9°C en las zonas más cálidas, éstas se presentan en la zona suroeste, con temperaturas que van de los 9.5°C hasta los 13.9°C, en los municipios de Zitácuaro, Tuxpan y Ocampo. Las temperaturas más frías se encuentran en los municipios de San José del Rincón, Tlalpujahuá y El Oro, con temperaturas mínimas alrededor de los 3.7°C a 6.6°C (Figura 25).

El patrón de la temperatura mínima es el mismo que se observa en el escenario de cambio climático para la temperatura máxima promedio diaria en el año 2035. Las zonas con temperaturas más frías se encuentran en los municipios mencionados anteriormente, ubicados al este del polígono sur de la reserva, mientras que las temperaturas en la zona norte de la región se muestran más homogéneas y con cambios menos extremos, pues sólo se visualizan dos rangos de temperaturas; de 8.1°C a 9.5°C y de 6.6°C a 8.1°C en la zona donde se encuentra el polígono norte de la RBMM.

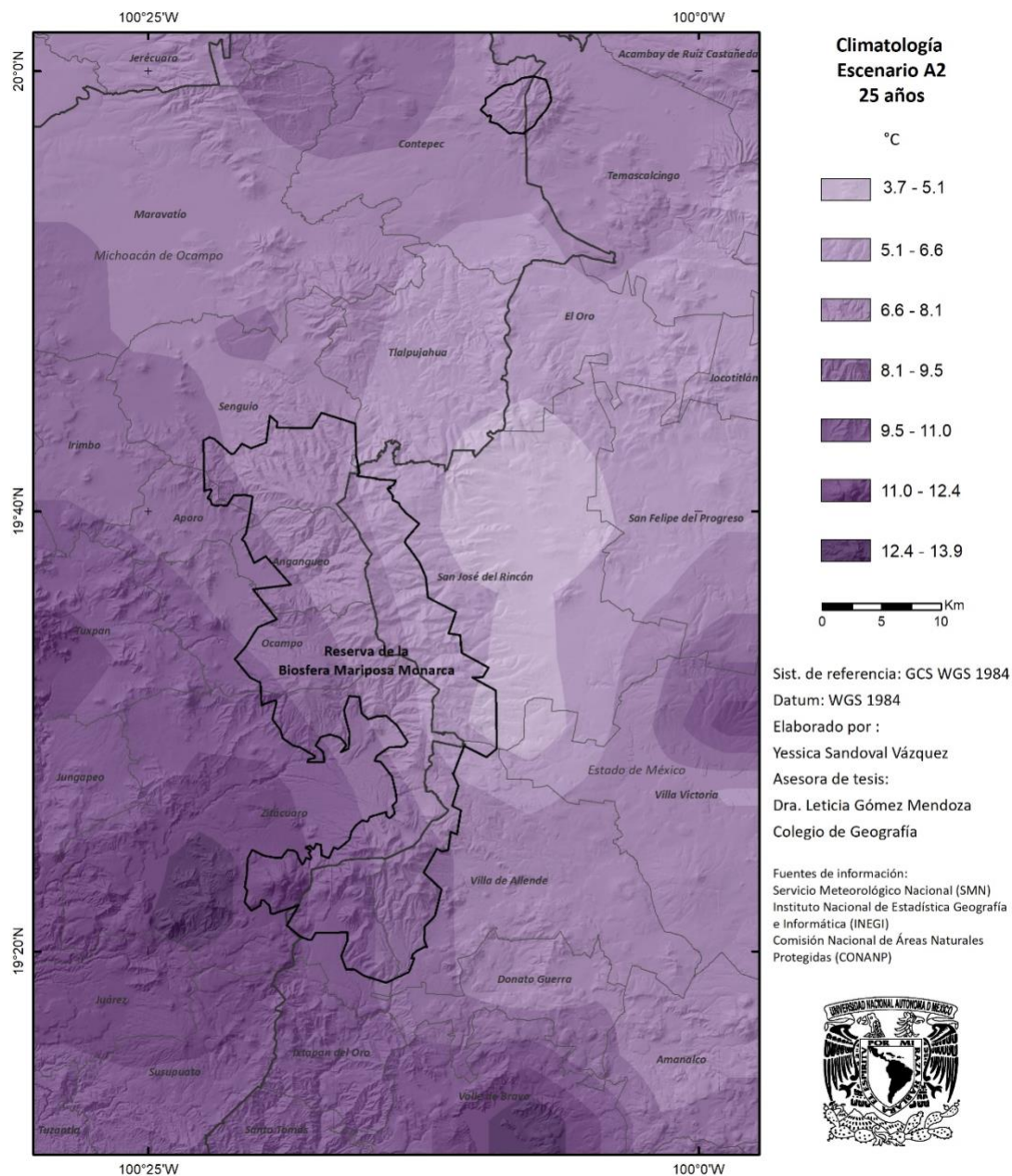


FIGURA 25. TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO DIARIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA, ESCENARIO A2, 25 AÑOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DEL SMN.

Para caracterizar la climatología actual y futura de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, se emplearon datos de diversas fuentes de información, tales como el Servicio Meteorológico Nacional, la Base de Datos Climatológica Nacional e IRI. Dichos datos, en ocasiones presentaban diferentes problemáticas como: vacíos de información, calidad insuficiente y resolución espacial y temporal no apropiadas.

Al generar escenarios de cambio climático regionales a través del procesamiento de datos por medio de un generador estocástico de tiempo meteorológico, se emplea la información de los Modelos de Circulación General, los cuales, debido a su escala, resultan deficientes. Cabe mencionar que, por ello, las proyecciones tienen un nivel de incertidumbre, sumado a la elección de la familia de escenarios, puesto que las condiciones futuras del medio económico, social y ambiental son cambiantes.

De acuerdo con el análisis e interpretación de los mapas de climatología diaria y escenarios de cambio climático, la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca tendrá temperaturas más cálidas que las que se presentan actualmente. En el caso de la precipitación promedio diaria, se especula que aumentará alrededor de 1 mm diario, sin embargo, en las proyecciones realizadas para los eventos extremos, las variables tanto de temperatura como de precipitación se verán afectadas, presentando un superávit.

Debido a que los eventos climáticos extremos son la segunda causa de degradación del bosque de la RBMM (CONANP, 2019), la observación, monitoreo e interpretación de los resultados de las estaciones climáticas son de suma importancia, pues las series históricas ayudan a entender la tendencia del clima, tener información sobre los posibles fenómenos que pueden presentarse y, en consecuencia, las acciones que se deberían implementar para

generar una respuesta eficiente ante tales eventos. Como se ha observado en las series históricas tanto de precipitación (Figura 18), como de anomalías en la temperatura (Figura 19), los eventos extremos son cada vez más frecuentes e intensos, por lo tanto, es necesario establecer parámetros que ayuden a mitigar los impactos ocasionados por el cambio climático. Algunos de los impactos producidos por eventos extremos se enuncian a continuación:

- Deslizamientos de tierra por lluvias extraordinarias.
- Incendios forestales por falta de lluvias o por ondas de calor.
- Pérdidas humanas, por mayor riesgo de desastre ante el aumento de la precipitación y la temperatura.
- Disminución de la población de la mariposa monarca debido a los eventos extremos.
- Pérdida de especies arbóreas por el cambio del clima en la región.
- Pérdida de cultivos por sequías, granizadas y ondas heladas.
- Cambio de las actividades del sector agrícola.
- Transformación en la estructura del bosque por cambio climático.
- Degradación del bosque por factores climáticos.
- Plagas y enfermedades forestales debido a parásitos que se presentan por el cambio en el clima.

Conclusiones

Acorde con la caracterización de la climatología actual y futura de la región de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, son incontables las implicaciones a causa de las modificaciones en la precipitación y la temperatura según las proyecciones de escenarios de cambio climático para el año 2035. Por una parte, los cambios a nivel ambiental; donde se podrían observar afectaciones directas en la adaptación de las especies vegetales y animales y, por otra parte, los alcances a nivel social; los cuales podrían impactar en la forma de vida y economía de las comunidades dedicadas a la agricultura, que habitan en la región. Al cambiar los patrones de lluvia y estacionalidad; de manera consecuente deberán cambiar las temporadas de siembra y cosecha, puesto que la mayor parte de los cultivos son sembrados bajo la observación de las condiciones atmosféricas.

Las series de tiempo generadas a través del GETM-LARS para el escenario A2, indican que la temperatura aumentará en toda la región por lo menos 1°C, por lo que la temperatura máxima promedio diaria de la zona de estudio, se encontraría entre los rangos de 18.8°C hasta una temperatura de 26°C en el suroeste de la región. Mientras que actualmente, las temperaturas oscilan entre los 17.4°C a 25.4°C en las zonas más cálidas.

La temperatura mínima en la región, desciende de los 12.9°C hasta los 2.4°C en las zonas más frías, tal como el municipio San José del Rincón. Sin embargo, en la proyección para el año 2035, las temperaturas mínimas podrían no ser tan frías; de acuerdo con los datos obtenidos, la temperatura mínima promedio diaria podría oscilar entre los 13.9°C y 3.7°C en las zonas con mayor altitud.

En lo que respecta a la precipitación promedio diaria, se obtuvo a partir de la base de datos de las estaciones climatológicas del SMN que, actualmente, los rangos varían desde 7.0 mm a 9.2 mm, en comparación con los valores de las series obtenidas por el GETM-LARS para el año 2035, en los cuales la precipitación será superior con rangos de 8.2 mm a 10.2 mm promedio diarios en las zonas con mayor pluviosidad.

En el caso de los eventos extremos, las series de tiempo utilizadas para la elaboración de las gráficas de anomalías en la precipitación y temperatura del aire, muestran contener información útil para identificar los periodos y picos más altos o por debajo del promedio, en los que la región presentó una mayor cantidad de eventos. Complementario a este objetivo, se utilizaron fuentes hemerográficas y una plataforma digital, cuyo propósito era anexar datos puntuales a la tabla de eventos extremos, tales como el tipo de evento (tormentas, frentes fríos, ondas de calor) y las consecuencias de éste, ya sean inundaciones, deslizamientos o incendios, etc. Así mismo, con dicha información, se pudieron identificar aquellos municipios que han resultado más afectados ante las implicaciones del cambio climático y en los que se debería poner atención prioritaria ante este tipo de eventos.

Los resultados obtenidos a través de este estudio, muestran la evolución de las bases de datos climáticos. Se utilizaron desde los datos más antiguos; como los de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, hasta las bases de instituciones especializadas como IRI, para la recolección de datos de las diferentes variables climáticas, a través de los múltiples instrumentos y nuevas tecnologías. Las cuales proporcionan una amplia variedad de fuentes de información para elegir aquélla que se ajuste mejor a nuestros intereses y a los resultados que deseemos obtener. En este caso, por ser un estudio climático realizado a nivel regional, se utilizaron los datos con una resolución espacial de 0.5° y las

estaciones climatológicas ubicadas a no más de 2 kilómetros del ANP para la interpolación de los datos y elaboración de los mapas correspondientes.

Los mapas realizados con la información obtenida a través del GETM-LARS, representan una herramienta visual para identificar los sitios más vulnerables ante el cambio climático y aquellos que necesitarán de una planeación estratégica para la mitigación de desastres ocurridos por los eventos naturales.

En general, los escenarios de cambio climático demuestran ser una herramienta indispensable para el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático para aquellos organismos y sectores dedicados a la toma de decisiones por afectaciones climáticas. Estas proyecciones, pretenden dar a conocer una visión de cómo se puede llegar a desarrollar en un futuro el clima de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa de la Monarca, pues de esta manera, se podrán planear de manera adecuada estrategias de mitigación y conservación de especies.

El estudio se ha llevado a cabo con la finalidad de brindar información valiosa a quienes han sido afectados por eventos atmosféricos extremos, como los habitantes de los municipios en los que se localiza la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, a las personas que se dedican al campo y a aquellos que se interesen por contribuir y realizar acciones a nivel local, como las asociaciones y organizaciones no gubernamentales, para que los efectos del cambio climático se aminoren o reduzcan antes de que las consecuencias sean irreversibles.

Cabe mencionar que para la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca no existen estudios previos sobre escenarios regionales de cambio climático, sin embargo, como se ha

mencionado anteriormente, por ser un Área Natural Protegida, es de suma importancia contar con estudios de esta procedencia para la toma de decisiones ante contingencias. Sobre todo, en los programas de adaptación al cambio climático en los que tienen por objetivo implementar estrategias de adaptación y mitigación, para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y comunidades humanas que habitan en ésta.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, N. (1989). *Tratado de edafología en México, tomo I*. Ciudad Universitaria: Facultad de Ciencias de la UNAM.
- Bello, L. (2014) *Escenarios de cambio climático regionalizados para la reserva de la biosfera Sierra Gorda, Guanajuato mediante el modelo lars-wg* [versión electrónica]. Licenciatura en Geografía, México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carlón, T., Mendoza, M.E., Villanueva, J. y Pérez, D.R. (2015). *Análisis espacial del paisaje como base para muestreos dendrocronológicos: El caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca* [versión electrónica], México. Madera y Bosques.
- Conde, A. y Gay, C. (2008), *Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a escala regional* [versión electrónica], México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: Pasado, presente y futuro*. México, UNAM, Instituto de Biología.
- CONANP, 2017. *Programa de Adaptación al Cambio Climático del complejo Mariposa Monarca* [versión electrónica].
- CONANP (2001). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, 2001*[versión electrónica].
- DOF (2013). *Norma Oficial Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013*. Gobierno de México [versión electrónica].
- DOF (1994). *Norma Oficial Mexicana 059-ECOL-1994*. Gobierno de México [versión electrónica].
- Espinoza, A. y Bollo, M. (2017). *La cartografía de las unidades inferiores de la Regionalización Físico-Geográfica (RFG) de Michoacán* [versión electrónica].

México, Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Morelia, Morelia, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.

- Funk, C. *et al.*, (2014). *A quasi-global precipitation time series for drought monitoring* [versión electrónica], U. S. Geological Survey Data Series.
- Funk, C. *et al.*, (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes*.
- Galindo-Leal, C., Rendón-Salinas, E. (2005). *Danaidas; las maravillosas mariposas monarca* [versión electrónica]. Ciudad de México, publicación especial 1, Alianza WWF-Telcel.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2000). *Informe Especial del IPCC, Escenarios de Emisiones, Resumen para responsables de políticas, Informe especial del Grupo de Trabajo III del IPCC* [versión electrónica].
- Magaña, V. *et al.*, Graizbord, B. *et al.* (s.f.). *Escenarios de cambio climático para México*. [versión electrónica]. Instituto Nacional de Cambio Climático.
- Magaña, V., 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* [versión electrónica]. México, Informe final de trabajo, Dirección General de Investigación sobre Cambio Climático, Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- Magaña, V. (2010). *Guía para generar y aplicar escenarios probabilísticos regionales de cambio climático en la toma de decisiones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Semarnat y Conanp (2018). *Plan de acción para la conservación de la Mariposa Monarca en México 2018-2024* [versión electrónica], México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

- Semenov. M., Barrow, E., (2002). *LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies* [versión electrónica], UK, Rothamsted Research, Harpenden, Hertfordshire.
- Unión Mundial para la Naturaleza (2000), *Áreas Protegidas, Beneficios más allá de las Fronteras, La CMAP en Acción* [versión electrónica], Gland, Suiza. Comisión Mundial de Áreas Protegidas.
- Zermeño, D. (2008) *Análisis probabilístico de escenarios escalados de precipitación y temperatura bajo cambio climático en México* [versión electrónica], Maestría en Ciencias de la Tierra. México, Centro de Ciencias de la Atmósfera-Universidad Nacional Autónoma de México.

Referencias electrónicas

- Alianza WWF-Fundación Carlos Slim (s.f.). *Mariposa Monarca*. [En Línea]. Disponible en: <http://www.carlosslim.com/pdf/wwf/fs08-monarca.pdf>.
- CICESE (s.f). *Base de datos climatológica nacional (Sistema CLICOM)*. [En Línea], México. Disponible en: (<http://clicom-mex.cicese.mx/>).
- CONAGUA (2017). *Climogramas*, en Servicio Meteorológico Nacional, México. [En Línea]. Disponible en: http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=120 [Consultado en septiembre de 2017].
- Desinventar (2009). *Guía Metodológica*. Versión 8.1.9
- Desinventar (2009). *Base de Datos*. México. Periodo: 1970-2013.
- DOF (2013). *Declaratoria de Desastre Natural por la ocurrencia de lluvia severa el día 15 de septiembre de 2013 provocada por el huracán “Manuel” en 9 municipios*

del Estado de Michoacán de Ocampo, así como por inundación fluvial el día 19 de septiembre de 2013 en el Municipio de San Lucas, de dicha entidad federativa

[En Línea], México. Disponible en:

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5315725&fecha=30/09/2013

[Consultado en noviembre de 2019].

- Escalante, C., (2012). *Se encuentra México en el inicio de un ciclo de sequía extraordinaria*, en Boletín UNAM-DGCS Dirección General de Comunicación Social. [En Línea] No. 040, 20 de enero 2012. Universidad Nacional Autónoma de México.
Disponible en: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2012_040.html
[Consultado en noviembre de 2019].
- Esri (2016), *Cómo funciona IDW*. [En Línea]. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> [Consultado en septiembre de 2017].
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, AC. *Manejo de agua y recursos en la RB Mariposa Monarca*. [En Línea], México. Disponible en: <https://agua.org.mx/historia/participacion-organizacion-comunitaria-conservar-manejar-los-recursos-naturales-la-reserva-la-biosfera-mariposa-monarca/#:~:text=%2D%20La%20cuencia%20del%20R%C3%ADo%20San,ind%C3%ADgenas%20en%20situaci%C3%B3n%20de%20vulnerabilidad>. [Consultado en marzo de 2020].
- IRI (s.f.). *Climate: Analysis, Monitoring and Forecasts* en International Research Institute for Climate and Society [En Línea]. Disponible en: <https://iri.columbia.edu/>
[Consultado en noviembre de 2019].
- IRI (2020). *NOAA NCEP CPC Temperature daily tmax: Daily Maximum Temperature data*.
[En Línea]. Disponible en:
<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP/.CPC/.temperature/.daily/.tmax/index.html#info>.

- Martínez, D. (2013). *Tromba deja un muerto y varios daños en Michoacán*, en El Universal, México. [En Línea]. Disponible en: <https://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2013/michoacan-lluvia-deceso-morelia-damnificados-935133.html>. [Consultado en noviembre de 2019].
- Nakicenovic, N. et al., (2000). *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. [En Línea]. Disponible en: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>. [Consultado en noviembre de 2019].
- NOAA (s.f.). *Climate Prediction Center, "Cold & Warm Episodes by Season en National Weather Service*. [En Línea]. Disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php [Consultado en agosto, 2020].
- Patrimonio Mundial de México UNESCO. *Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. México, [En Línea]. disponible en: <https://www.patrimoniomundial.com.mx/reserva-de-la-biosfera-de-la-mariposa-monarca/>. [Consultado en marzo de 2020].
- SAGARPA (2014). *Exportación hacia países de Europa y Estados Unidos*. [En Línea]. Disponible en: (<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/michoacan/boletines/Paginas/B0532014.aspx>).
- SEMARNAT (2016). *Santuarios de la Mariposa Monarca. Admira la llegada y estancia de las mariposas en la Reserva de la Biosfera. Acciones y programas. Biodiversidad y acciones ambientales*. [En Línea]. Disponible en: <http://mariposamonarca.semarnat.gob.mx/>).
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., A., Nauels, Y., Xia, V. Bex y Midgley, P.M. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, en IPCC [En Línea].

E.U., disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. [Consultado en noviembre de 2019].

- UNESCO (2008). *Reserva de biosfera de la mariposa monarca*. [En Línea]. Disponible en: http://designacionesunesco.conanp.gob.mx/mariposa_monarca.php.