



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
GEOGRAFÍA AMBIENTAL

LA OBSERVACIÓN FENOLÓGICA COMUNITARIA EN LA RESERVA
DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA: UNA ALTERNATIVA DE
ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN GEOGRAFÍA

PRESENTA
ERIKA ROCÍO REYES GONZÁLEZ

TUTORA PRINCIPAL
DRA. LETICIA GÓMEZ MENDOZA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
DR. VÍCTOR LUIS BARRADAS MIRANDA (Instituto de Ecología, UNAM)
DRA. MARÍA ISABEL RAMÍREZ RAMÍREZ (Centro de Investigaciones en
Geografía Ambiental, UNAM)
DR. ERNESTO DOS SANTOS CAETANO NETO (Instituto de Geografía, UNAM)
M. EN C. ESTEBAN SOLÓRZANO VEGA (Universidad Autónoma Chapingo)

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

A mi papá, mamá y hermanos, por su apoyo y amor infinito hacia mí. Los amo.

A mis abuelos y abuela (†), porque sé que nunca me han abandonado, cada día siento su presencia a mi lado. Los echo de menos.

A las comunidades de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, a sus bosques; lugares maravillosos en los cuales siempre me recibían con los brazos abiertos. Espero que este trabajo pueda ayudar un poco para su conservación y para una mejor forma de vida. Simplemente ¡GRACIAS!



AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría y para realizar una estancia de investigación en la USA-National Phenology Network en la Universidad de Arizona.

Al **proyecto DGAPA-PAPIME “Clima, Naturaleza y Sociedad” 2014-2015**, cuya encargada fue la Dra. Leticia Gómez Mendoza, por los viáticos aportados para la realización del trabajo de campo.

Al **Servicio Meteorológico Nacional** y la **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas**, por proporcionarme las bases de datos climáticos para este trabajo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y al **Posgrado en Geografía**, por darme la oportunidad de pertenecer nuevamente a esta honorable institución. Gracias por los conocimientos adquiridos; es para mí un honor haber sido parte de esta gran universidad.

Gracias a la **Universidad de Arizona** y a la **USA-National Phenology Network** por la oportunidad de realizar mi estancia de investigación, ha sido hasta ahora, una de las mejores experiencias de mi vida.

A **Dios** y a ese **ser de luz maravilloso**, que siempre me ha cuidado y me ha guiado por el mejor camino.

A cada uno de mis sinodales.

A la **Dra. Leticia Gómez**, excelente ser humano, a quien ahora considero una gran amiga, gracias por su confianza en mí, espero nunca defraudarla, ha sido mi inspiración para llegar a ser quien soy, me ha transmitido su amor por la investigación y aunque sé que aún me queda un largo camino por recorrer, quisiera llegar a ser tan grande como usted. Gracias por impulsarme a seguir siempre mis sueños y por enseñarme lo apasionante que puede llegar a ser el mundo de la investigación. Con mucho cariño.

Al **Mtro. Esteban Solorzano**, muchas gracias por abrirme las puertas siempre en Chapingo, es usted un excelente ser humano de quien he aprendido mucho, gracias por mostrarme el mundo de la fenología. Aprecio mucho la oportunidad de haber estado en su clase y las pláticas que solíamos tener, espero continúen y me pueda seguir transmitiendo todo ese conocimiento tanto académico como personal que solo usted tiene.

Al **Dr. Ernesto Caetano**, muchas gracias por todos sus consejos para mejorar este trabajo.

A la **Dra. Isabel Ramírez**, con quien tuve el gusto de platicar hace poco, quien además de ser una excelente investigadora, considero que es además un excelente ser humano, gracias por todos los consejos para mejorar este trabajo y por compartir conmigo las bases de datos climáticos de la estación de Alternare, A.C.

Por último, pero no menos importante, al **Dr. Víctor Barradas**. Agradezco su interés desde un principio por formar parte de este comité, sus comentarios me han ayudado a mejorar académicamente, gracias a su exigencia, considero que ha mejorado mucho este trabajo.

A **Alternare A. C.**, a **Lupita del Río, Anita, Guille** y al **Sr. Gabriel**, gracias por confiar en mí, por su interés en colaborar en este proyecto. A **Tacho, Gera, Jaime, Lalo** y demás personas de las comunidades a quienes no nombro, pero que tengo guardados en mi memoria, gracias por su

apoyo en las salidas a campo, por las pláticas interminables al recorrer los caminos de la reserva, por cuidar siempre de mi y ver por mi bienestar, ocupan un lugar muy especial en mi.

A mis amigas y amigos, **Bel, Lau, Diana (ahora Rodri también), Arturo**, gracias por su compañía, por sus consejos y los buenos momentos que hemos pasado juntos.

A las chicas del seminario de cambio climático y biodiversidad, al equipo fenológico: **Maricarmen, Fabiola, Jacky**, gracias por acompañarme en este camino de la fenología, por las aventuras durante el trabajo de campo, espero sigamos trabajando juntas para sacar adelante este proyecto.

A mi familia, a mi **abuelita y tías**, especialmente a mi tía **Patricia Reyes** por todo tu apoyo para realizar mi estancia en la Universidad de Arizona, gracias por apoyarme para lograr este sueño, sin tu ayuda no lo hubiera logrado. Te quiero mucho, Paty.

A **Gustavo Hernandez**, compañero de vida y aventuras desde hace tres años, muchas gracias por todo tu apoyo, por animarme siempre a seguir adelante, espero que la vida nos siga permitiendo compartir tantas cosas juntos, nuestras aventuras han sido de las mejores de mi vida. Gracias a tu familia por abrirme siempre las puertas de tu casa y recibirme con los brazos abiertos, tú mamá y tú abue han sido como una segunda familia para mi. Gracias por ser parte de todo esto y compartir conmigo este camino llamado vida. Te amo, mucho es poco...

Gracias a **Alyssa y Dennis**, por hacerme sentir como en casa durante mi estancia en Tucson, se que Dios los puso en mi camino por una razón muy especial, gracias por ayudarme en todo lo que fue posible. **Alyssa**, gracias por la confianza, por brindarme tu casa, por hacerme parte de Alitas y por preocuparte por mi en todo momento. Todos esos detalles los tengo en el corazón, no pude tener mejor tutora que tú, eres un ser humano maravilloso. Te quiero y espero vernos muy pronto.

Thank you **USA-National Phenology Network**. I know my English skills are terrible, but I would like to express that you make me feel like home, and I learned a lot of things about phenology during my residence at the office, thank you for your help and friendship. Thank you **Jake, LA, Patty, Theresa, Kathy** and **Sara**. Thank you **Erin**, you cook the most delicious cupcakes, and you are the best dancer, thanks for the salsa lessons. **Lee**, I enjoyed the karaoke night in my last weekend in Tucson. **Sharon**, thank you for worrying about me all time, you have a special place in my heart, you prepared the most delicious dinner that I have ever had, when I met your husband and I could speak in Spanish it made me feel like home.

Gracias a todas aquellas personas que estuvieron conmigo durante mi paso por esta etapa de mi vida y que por alguna razón no nombré en este documento. Gracias a la vida.

ÍNDICE

RESUMEN	I
---------------	---

INTRODUCCIÓN

I. Antecedentes	II
II. Marco teórico de referencia	IV
II.I Fenología	IV
II.II Efectos del cambio climático en los bosques templados	VII
II.III. Vulnerabilidad y adaptación	IX
III. Planteamiento del problema	XI
IV. Justificación	XIII
V. Hipótesis de trabajo	XV
VI. Objetivo general	XV

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

1.1 Impactos del cambio climático en los servicios ecosistémicos y sus consecuencias en los sistemas sociales.	1
1.2 La observación fenológica como alternativa local de adaptación al cambio climático	4
1.3 La observación fenológica en los bosques templados	7

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.1 La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM): caracterización geográfica	10
2.1.1 Ubicación geográfica	10
2.1.2 Topografía	12
2.1.3 Suelos	12
2.1.4 Hidrografía	14
2.1.5 Vegetación	14

2.2	Problemáticas ambientales actuales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	15
2.2.1	Deforestación	16
2.2.2	Presencia de plagas.....	19
2.2.3	Deslizamientos de tierra	20
2.2.4	Ecoturismo.....	22
2.2.5	Minería	22
2.3	Pobreza y su relación con la problemática ambiental	23

CAPÍTULO 3. MÉTODOS

3.1	Cartografía	27
3.2	Gestión del trabajo comunitario.....	27
3.2.1	Identificación de actores clave y metodología del monitoreo	27
3.2.2	Capacitación.....	30
3.2.3	Identificación de especies y registro fenológico	30
3.2.4	Visitas de seguimiento	32
3.3	Trabajo en gabinete.....	34
3.3.1	Análisis de información climática	34
3.3.2	Análisis de información fenológica	36

CAPÍTULO 4. RESULTADOS. CALENDARIOS FENOLÓGICOS

4.1	Cultivos.....	46
4.1.1	Avena (<i>Avena</i> sp.).....	46
4.1.2	Frijol ayocote (<i>Phaseolus coccineus</i> L.)	48
4.1.3	Haba (<i>Vicia faba</i> L.).....	50
4.1.4	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	50
4.2	Frutales.....	53
4.2.1	Ciruela andrina amarilla (<i>Prunus domestica</i>)	53
4.2.2	Ciruela andrina roja (<i>Prunus domestica</i>)	53
4.2.3	Durazno (<i>Prunus persica</i> (L.) Stokes)	55
4.2.4	Manzana roja (<i>Malus</i> sp.).....	58

4.2.5 Manzana (<i>Malus</i> sp.).....	58
4.2.6 Pera (<i>Pyrus</i> sp.).....	60
4.3 Especies forestales	63
4.3.1 <i>Pinus pseudostrobus</i>	63
4.3.2 <i>Alnus acuminata</i> Kunth subsp. <i>Glabrata</i> (Fernald) Furlow	66
4.3.3 <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	68
4.3.4 <i>Quercus rugosa</i> Née.....	69
4.4 Resumen fenológico anual.....	73

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

5.1 Climatología de la parte norte de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	76
5.1.1 Estación 16121 Senguio.....	76
5.1.2 Estación 16A03184 Llano de la Rosa	76
5.1.3 Estación automática Centro de capacitación Alternare, A.C.-CIGA, UNAM.....	79
5.2 Climatología de la parte centro de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	83
5.2.1 Estación 16036 El Bosque, Zitácuaro	83
5.2.2 Estación 16A0E7EC Llano del Toro	85
5.3 Anomalías	89
5.3.1. Coeficientes de correlación.....	89
5.3.2 Anomalías de precipitación y temperatura	90
5.4 Índices agroclimáticos y condiciones de temperatura y precipitación.....	94
5.4.1 Cultivos.....	94
5.4.2 Frutales	99
5.4.3 Especies forestales	109
DISCUSIÓN	119
CONCLUSIONES	130
REFERENCIAS	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.I Retroalimentación primaria entre la vegetación y el sistema climático.....	VII
Figura 1. 1 Tipos de servicios ecosistémicos y vínculos con el bienestar humano	2
Figura 1. 2 Efectos del cambio climático en los bosques y su relación con la pérdida de servicios ecosistémicos	2
Figura 2. 1 Ubicación de los sitios de monitoreo fenológico.....	11
Figura 2. 2 Ubicación geográfica de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	13
Figura 2. 3 Mapa que representa las Áreas Naturales Protegidas del mundo	15
Figura 2. 4 Noticias sobre el deslizamiento en Angangueo, Michoacán	21
Figura 2. 5 Fotografía de los daños causados por el deslizamiento en Angangueo	21
Figura 2. 6 a) Población analfabeta; b) Población ocupada en el sector primario.....	24
Figura 3. 1 Esquema metodológico	28
Figura 3. 2 Fases fenológicas monitoreadas de acuerdo al tipo de especie	33
Figura 3. 3 Ubicación de las estaciones climáticas en la RBMM.....	35
Figura 4. 1 Calendario fenológico de la especie avena.....	47
Figura 4. 2 Calendario fenológico de la especie frijol ayocote	48
Figura 4. 3 Calendario fenológico de la especie haba.....	51
Figura 4. 4 Calendario fenológico de la especie maíz.....	52
Figura 4. 5 Calendario fenológico de la especie ciruela andrina amarilla	54
Figura 4. 6 Calendario fenológico de la especie ciruela andrina roja	56
Figura 4. 7 Calendario fenológico de la especie durazno	57
Figura 4. 8 Calendario fenológico de la especie manzana roja.	59
Figura 4. 9 Calendario fenológico de la especie manzana	61
Figura 4. 10 Calendario fenológico de la especie pera	62
Figura 4. 11 Calendario fenológico de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	64
Figura 4. 12 Calendario fenológico de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	65
Figura 4. 13 Calendario fenológico de la especie <i>Alnus acuminata</i>	67
Figura 4. 14 Calendario fenológico de la especie <i>Alnus acuminata</i>	68
Figura 4. 15 Calendario fenológico de la especie <i>Pinus leiophylla</i>	70
Figura 4. 16 Calendario fenológico de la especie <i>Pinus leiophylla</i>	71
Figura 4. 17 Calendario fenológico de la especie <i>Quercus rugosa</i>	72
Figura 4. 18 Calendarios fenológicos generales para cultivos y cereales.....	74

Figura 4. 19	Calendarios fenológicos generales para las especies forestales	74
Figura 4. 20	Calendarios fenológicos generales para frutales	75
Figura 5. 1	Diagrama termopluviométrico de la estación Senguio	76
Figura 5. 2	Diagrama termopluviométrico de la estación Llano de la Rosa.....	77
Figura 5. 3	Diagrama termopluviométrico anual de la estación Llano de la Rosa.....	78
Figura 5. 4	Precipitación acumulada en la estación Llano de la Rosa	80
Figura 5. 5	Diagrama termopluviométrico de la estación Alternare, A.C.....	81
Figura 5. 6	Diagrama termopluviométrico anual de la estación Alternare, A.C.....	82
Figura 5. 7	Precipitación acumulada en la estación Alternare, A.C.	84
Figura 5. 8	Diagrama termopluviométrico de la estación El Bosque, Zitácuaro.....	85
Figura 5. 9	Diagrama termopluviométrico de la estación Llano del Toro	85
Figura 5. 10	Diagrama termopluviométrico anual de la estación Llano del Toro	87
Figura 5. 11	Precipitación acumulada en la estación Llano del Toro.....	88
Figura 5. 12	Anomalías mensuales de precipitación	92
Figura 5. 13	Anomalías mensuales de temperatura máxima	92
Figura 5. 14	Anomalías mensuales de temperatura mínima	93
Figura 5. 15	Anomalías mensuales de temperatura promedio	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1	Tipo de vegetación por estrato.....	14
Tabla 2. 2	Población indígena por municipio en la RBMM.....	25
Tabla 3. 1	Total de registros en cada base de datos por fase fenológica	37
Tabla 3. 2	Número de fechas de observación y fases fenológicas reportadas por sitio	38
Tabla 3. 3	Especies y número de individuos monitoreados por sitio.....	39
Tabla 3. 4	Equivalencias de las fases fenológicas con los estadios fenológicos BBCH	42
Tabla 3. 5	Temperatura umbral mínima para cada especie	44
Tabla 5. 1	Coefficientes de correlación por variable y año.....	90
Tabla 5. 2	Requerimientos agroclimáticos de la especie avena	96
Tabla 5. 3	Requerimientos agroclimáticos de la especie frijol ayocote.....	97
Tabla 5. 4	Requerimientos agroclimáticos de la especie haba.	98
Tabla 5. 5	Requerimientos agroclimáticos de la especie maíz.....	100

Tabla 5. 6	Requerimientos agroclimáticos de la especie ciruela andrina amarilla	102
Tabla 5. 7	Requerimientos agroclimáticos de la especie ciruela andrina roja	103
Tabla 5. 8	Requerimientos agroclimáticos de la especie durazno.....	105
Tabla 5. 9	Requerimientos agroclimáticos de la especie manzana.....	107
Tabla 5. 10	Requerimientos agroclimáticos de la especie manzana roja.....	108
Tabla 5. 11	Requerimientos agroclimáticos de la especie pera.....	110
Tabla 5. 12	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Alnus acuminata</i> ”	111
Tabla 5. 13	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Alnus acuminata</i>	112
Tabla 5. 14	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Pinus leiophylla</i>	113
Tabla 5. 15	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Pinus leiophylla</i>	114
Tabla 5. 16	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	116
Tabla 5. 17	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	117
Tabla 5. 18	Requerimientos agroclimáticos de la especie <i>Quercus rugosa</i>	118

RESUMEN

Los impactos del cambio climático afectarán a los ecosistemas y a las comunidades que dependen de sus bienes y servicios ambientales que ofrecen. El uso de la información fenológica como una herramienta de adaptación al cambio climático es una de las estrategias para conocer los impactos de este fenómeno en las comunidades. Este trabajo propone la generación y uso de este tipo de información por las comunidades que dependen de los recursos de los bosques y la agricultura como medio para su sobrevivencia, considerando como caso de estudio la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca.

La presente investigación se divide en cinco capítulos principales. El capítulo 1 hace referencia al papel que juegan las comunidades en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) en México para hacer frente a los efectos del cambio climático, el capítulo 2 se refiere a la descripción de algunas problemáticas actuales que afectan al área de estudio, en el capítulo 3 se describe la metodología utilizada en este trabajo, en el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos sobre la información fenológica recabada durante tres años de observación (2013-2015), así como la descripción de los calendarios fenológicos realizados con base en esta información obtenida. El capítulo 5 hace referencia a la información climática de la región, así como a las anomalías de temperatura y precipitación, además se describen los requerimientos agroclimáticos necesarios para el desarrollo de cada fase fenológica y los umbrales de temperatura y precipitación presentes durante la aparición de cada fenofase. Finalmente se incluyen el capítulo de discusión, así como las conclusiones de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

I. Antecedentes

Para comprender cómo responden las plantas y animales al cambio climático, es necesario contar con datos que nos ayuden a entender los efectos del clima cambiante sobre las diferentes especies. Los datos más valiosos son aquellos que consisten de observaciones regulares, repetidas y cuidadosas de múltiples etapas del ciclo de vida de las diferentes especies a través del tiempo (Crimmins *et al.*, en preparación).

Al estudio de los eventos recurrentes en los ciclos de vida de las especies se le conoce como fenología y puede ser un recurso clave para entender y comparar lo que sucede hoy y lo que sucedía en años anteriores respecto al desarrollo de los organismos vivos (USA-NPN, 2015). La fenología ha sido propuesta como un indicador de las diferencias climáticas y el cambio climático global por la Agencia Ambiental Europea (European Environmental Agency) y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2007).

La importancia de la fenología para las ciencias que se encargan de analizar los efectos del cambio climático se ha incrementado en los últimos años debido al uso de modelos y estudios empíricos. Se ha demostrado que la fenología podría ser utilizada como un indicador a largo plazo de los impactos biológicos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres ya que se sabía que el desarrollo de las

fases fenológicas de las especies era sensible a la variabilidad climática que se presenta año con año (Richardson *et al.*, 2012)

Actualmente gracias a diversos estudios realizados a nivel internacional se sabe que se han presentado cambios en los ciclos biológicos de las especies derivados de los cambios en los patrones climáticos (Parmesan 2006; Menzell *et al.*, 2006) las tendencias actuales asociadas con el incremento en la temperatura indican un inicio temprano en la actividad de primavera de la vegetación y en general una extensión en la longitud de la estación de crecimiento (Richardson *et al.*, 2012).

En México se han llevado a cabo estudios y trabajos participativos en la comunidad de Valle Verde, municipio de Zitácuaro, Michoacán (en los límites de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca) en colaboración con organismos de la sociedad civil local y nacional, para identificar estas mismas tendencias, de igual manera incidir en la participación voluntaria para la implementación de un programa de observación fenológica comunitaria que ayude a reducir la vulnerabilidad e implementar medidas de adaptación en algunas comunidades (INECC, 2012; Reyes, 2013).

Producto de este trabajo, se logró identificar un aumento en las temperaturas medias mensuales para la región de Zitácuaro, Michoacán hasta 2012, mientras que los escenarios de cambio climático indicaron un aumento en la temperatura de 1 a 2°C para el año 2100. (Reyes, 2013). Además se logró insertar a la observación fenológica como una línea de acción prioritaria ante el cambio climático en el programa México Resiliente (CONANP-SEMARNAT, 2012).

II. Marco teórico de referencia

II.I Fenología

La manera en que los ecosistemas, las especies y seres humanos y en general el planeta están respondiendo a los efectos del cambio climático no se ha comprendido aún del todo, por lo cual la fenología se ha convertido en un indicador para conocer los impactos del clima sobre las plantas, animales, las personas y áreas naturales, ya que no todas las especies y regiones están cambiando a la misma velocidad (USA-NPN, 2015). El conocer estas respuestas de la vegetación a los cambios en el clima, nos ayudará a comprender mejor la relación clima-vegetación y su fenología.

La palabra fenología que se deriva de la palabra griega “*Phaino*” que significa mostrar o aparecer; y es el estudio de los eventos biológicos periódicos en plantas y animales por la influencia del ambiente, especialmente por los cambios en el tiempo y el clima (Schwartz, 2003). Fenología se define como el estudio de la secuencia temporal de eventos biológicos recurrentes, con la finalidad de interpretar las causas biológicas y abióticas de tales secuencias (Alvarado *et al.* 2002). La sincronización de los eventos fenológicos (floración, fructificación, etc.) con el clima es utilizado con frecuencia para definir las secuencias estacionales (Alvarado *et al.* 2002).

De acuerdo con Cornelius *et al.* (2011) la fenología es la ciencia recurrente de los eventos naturales estacionales que pueden ser indicadores de cambios en los ecosistemas derivados del cambio climático global.

A estos eventos anuales en los ciclos de vida de las especies se les conoce como fenofases. Se definen como una etapa o fase observable en el ciclo de vida anual de una planta o animal que puede ser definido por una fecha de inicio y/o un punto o fecha final. Las fenofases tienen una duración de pocos días o semanas, algunos ejemplos de fenofases incluyen el periodo en el cual emergen las hojas nuevamente o el periodo durante el cual abren las flores en una planta (NEON, 2013c).

La mayoría de las fenofases de las plantas pueden clasificarse en dos grandes grupos; en el primero se encuentran las fenofases de reverdecimiento (“Green-up” phenophase event); las cuales ocurren generalmente en primavera y están asociadas a menudo con la emergencia de las plantas después de un periodo de latencia¹ durante el invierno cuando su crecimiento es limitado o no ocurre. Algunos ejemplos son la aparición de la primera hoja, cuando todas las hojas se han desplegado o la aparición de la primera flor en el tallo. El segundo grupo es denominado como “Brown-Down” y ocurre generalmente en el otoño y es a menudo asociado con plantas que se prepararán para el periodo de latencia durante el invierno, algunos ejemplos son cuando la mitad de las hojas han cambiado de color, cuando todas las hojas están marchitas, o cuando el 50% de las hojas han caído (NEON, 2013b).

Los eventos fenológicos varían de acuerdo con los gradientes geográficos, las zonas climáticas, el tipo de vegetación y la variabilidad interanual del inicio y fin

¹ También denominada como, dormición o letargo, es el estado en el cual las semillas suspende su germinación debido a mecanismos físicos o fisiológicos internos (Mérola y Díaz, 2012) o cualquier estructura que contenga meristemas suspende temporalmente su crecimiento visible (Lang, 1987; citado en Mérola y Díaz, 2012).

de la estación de crecimiento y por lo tanto en la longitud de la estación de crecimiento, es resultado de la variabilidad del tiempo atmosférico, año con año. La fenología no está restringida solamente a los ciclos de vida o a los fenómenos que son directamente observables. La estacionalidad de la fotosíntesis en invierno, así como los ciclos anuales de otros procesos ecosistémicos, forman parte de esta ciencia, así que esta definición de fenología también hace énfasis en entender las relaciones entre los eventos fenológicos o transiciones al forzamiento ambiental y las relaciones de dos o más eventos fenológicos (Richardson, *et al.*, 2012)

Los eventos fenológicos pueden influir en el microclima de diferentes maneras, como factor controlador de los patrones estacionales de los intercambios de energía entre la superficie y la atmósfera (radiación de onda corta y onda larga), de gases traza (los más importantes, CO₂ y vapor de agua) y otras sustancias. Tienen el potencial de influir a escala regional en los patrones del clima y a largo plazo en el clima global, un ejemplo se encuentra en el albedo el cual se define como la porción de radiación solar que es reflejada por la superficie terrestre y juega un papel muy importante en el balance de energía y en la retroalimentación entre la vegetación y el sistema climático (Figura I.I) (Richardson, *et al.*, 2012).

El albedo puede diferir dependiendo de los tipos de vegetación y ecosistemas en general. Cambia de acuerdo con el desarrollo de la senescencia del dosel de los árboles; para vegetación perennifolia localizada en regiones libres de nieve, el albedo es relativamente constante a lo largo del año, mientras que en ecosistemas con especies caducifolias, los patrones estacionales pueden influir en los valores

del albedo, los cuales pueden variar sustancialmente (Richardson, *et al.*, 2012) con un efecto directo en el clima local, producto de las interacciones planta-atmósfera (Barradas, *et al.*, 2010).

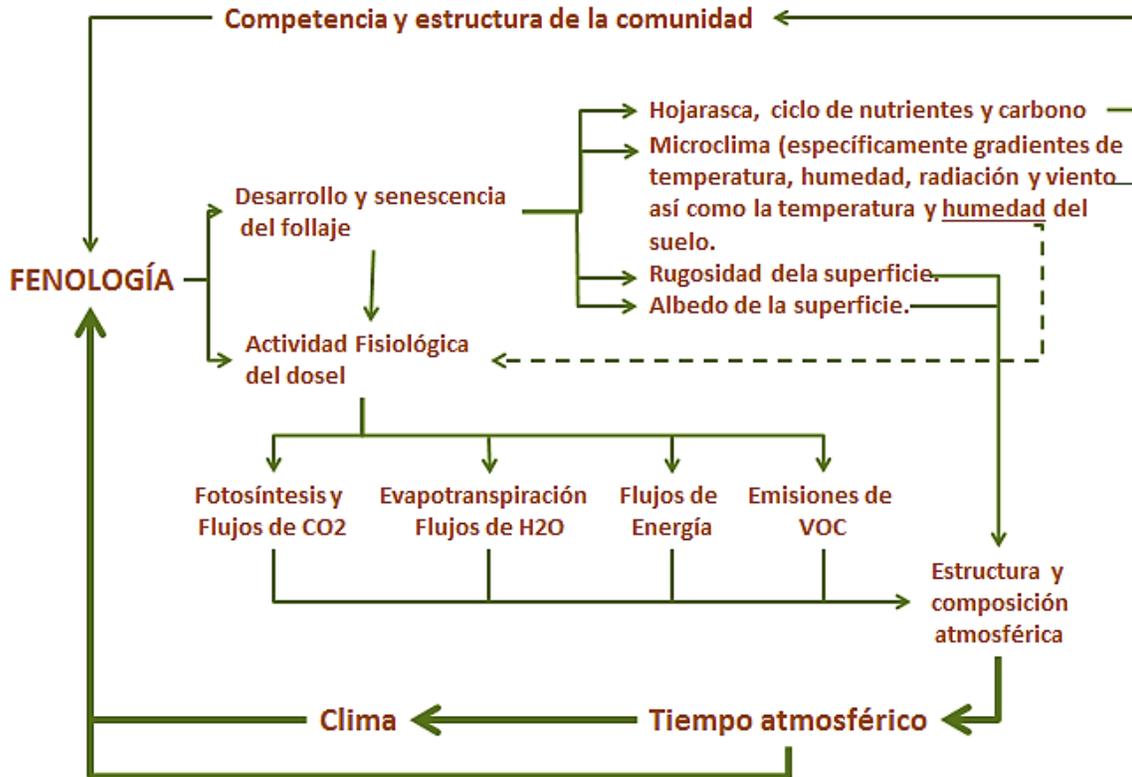


Figura I.I Modelo conceptual que ilustra la retroalimentación primaria entre la vegetación y el sistema climático que está influenciado por la fenología de la vegetación (Modificado de Richardson *et al.*, 2012).

II.II Efectos del cambio climático en los bosques templados

Las evidencias científicas ya han indicado que se han presentado cambios en el clima a escala global, principalmente en la temperatura y que muchos de los sistemas físicos y biológicos han sido afectados por estos cambios. A pesar de que la temperatura ha sido el factor principal, no se descarta que existan también

cambios en la precipitación y probablemente en la radiación solar que influyan en los mismos (Magaña y Gay, 2002).

Derivado de estos cambios en las temperaturas, durante el siglo pasado el cambio climático afectó a los bosques del mundo en general y se espera que sus efectos sean aún mayores en el futuro, por lo cual los servicios ambientales que proveen se verán afectados de la misma manera (FAO, 2009). Entre los servicios ecosistémicos que los bosques proveen a las poblaciones humanas se encuentran los de aprovisionamiento, regulación y culturales; además contribuyen al bienestar humano a diferentes escalas, desde lo local hasta lo global; no obstante, el cambio climático está afectando a estos ecosistemas y a la provisión de servicios ecosistémicos con consecuencias también para la población que depende de ellos (FAO, 2009).

En el caso de México, los bosques, donde las especies dominantes son las coníferas y los encinos, representan la mayor parte de la cobertura vegetal de las zonas templadas (Rzedowski, 1978) y albergan aproximadamente el 24% del total de la flora del país (Cortés *et al.*, 2011).

Se dice que al menos el 50% de la vegetación cambiará de características debido a un aumento en las temperaturas de 3 a 4 °C y que serán principalmente los bosques templados de pino y encino quienes presenten el mayor cambio, igual que la agricultura de temporal, la cual estará expuesta a los cambios en la temperatura, lo cual afectaría también la subsistencia de millones de personas (Magaña y Gay, 2002).

Aunque no se puede predecir con certeza el impacto del cambio climático sobre los bosques y sus servicios ecosistémicos, se han realizado diferentes hipótesis que permiten inferir los efectos de los cambios en el clima sobre este tipo de ecosistemas. Estas hipótesis se concentran en cuatro grupos que son:

- Inevitable: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se encuentran estáticas en los niveles actuales.
- Estable: las emisiones de GEI disminuyan en el transcurso de este siglo y que se alcance un equilibrio en el año 2100.
- Crecimiento: las emisiones continuarán aumentando durante el presente siglo a tasas similares de las registradas en el siglo anterior.
- Crecimiento rápido: Las hipótesis de este grupo son similares a las del grupo anterior pero representan emisiones respecto al estado habitual desde el año 2000 (FAO, 2009).

Según las distintas hipótesis, se espera que el cambio climático modifique la distribución de los diferentes tipos de bosques en el planeta; sin embargo, también se espera que sean capaces de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, aunque presentarían mayores dificultades de crecimiento (FAO, 2009).

II.III. Vulnerabilidad y adaptación

El cambio climático es un fenómeno que ha afectado en todos los aspectos de la vida humana. La evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas sociales y naturales puede ser útil para identificar los efectos del cambio climático y analizar la eficiencia y grado de adaptación de las diferentes medidas que hayan sido

propuestas (Dong *et al.*, 2014). Según Jannsen *et al.*, (2006) el concepto de vulnerabilidad se originó de los estudios sobre las amenazas naturales; tiempo después fue introducido en el campo de estudio de los efectos del cambio climático sobre los sistemas naturales y sociales (Dong *et al.*, 2014), fue en el año 1990 cuando este término fue enfocado en la vulnerabilidad de las personas por los impactos de las variaciones climáticas, específicamente por los impactos del cambio climático (Jannsen *et al.*, 2006). En el marco de los estudios sobre cambio climático, la vulnerabilidad ha sido definida como el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos de este fenómeno y en particular la variabilidad del clima y los eventos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema y de su sensibilidad y capacidad de adaptación² (IPCC, 2007), varía además dependiendo del lugar geográfico, del tiempo y de las condiciones sociales, económicas y ambientales (IPCC, 2001).

Por otro lado, la adaptación permite reducir los impactos del cambio climático y se considera como una estrategia necesaria como complemento para mitigar el cambio climático (IPCC, 2001). Según el IPCC (2007) el término adaptación se refiere a las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos esperados o reales del cambio climático.

²La capacidad de adaptación es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático, a la variabilidad del clima o a los eventos extremos con el fin de moderar los daños posibles, aprovechar oportunidades o enfrentarse a las consecuencias (IPCC, 2001).

Existen diferentes tipos de adaptación: anticipadora y reactiva, privada y pública, y autónoma y planificada (IPCC, 2001). La adaptación anticipadora es aquella en la que se procede a tomar medidas antes de que los efectos del cambio climático sean observables; también es conocida como adaptación proactiva. La adaptación reactiva suele referirse a las acciones de adaptación realizadas después de haberse observado los efectos del cambio climático. Por adaptación privada se entienden a las acciones emprendidas por familias, personas o empresas privadas y suele responder a los intereses de quienes la ponen en práctica; la adaptación pública se refiere a la adaptación realizada por cualquier nivel de gobierno y suele orientarse a decisiones colectivas. La adaptación autónoma es aquella que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y en el bienestar de los sistemas humanos; también se le conoce como adaptación espontánea. Por último, la adaptación planificada resulta de una decisión política que se basa en comprender las condiciones que han cambiado o están por cambiar y que requieren de acciones para volver a un estado deseado, mantenerlo o lograrlo (IPCC, 2001).

III. Planteamiento del problema

Los riesgos que implica el cambio climático son muchos, según los cambios proyectados, se espera que muchos de los sistemas de la Tierra que sostienen a las sociedades humanas sean sensibles y sufran las consecuencias de estos cambios. Entre los impactos que se esperan están las afectaciones en la

productividad agrícola, los bosques y el comportamiento de especies de plantas y animales (IPCC, 2001).

En los últimos años se han realizado estudios sobre los efectos del cambio climático en la flora y fauna y han demostrado que debido al aumento de las temperaturas muchas especies están presentando cambios en su comportamiento y en su desarrollo (Donnelly *et al.*, 2011). Cambios en la fenología de cultivos y frutales (Chmielewski *et al.*, 2003), en los bosques de coníferas (Jönsson *et al.*, 2010), hasta cambios en la fenología de algunas aves (Nilsson *et al.*, 2011) han sido documentados como parte de los efectos adversos del cambio climático en los sistemas naturales.

Los sistemas sociales no quedan exentos, aunque la vulnerabilidad al cambio climático varía de una región a otra, según el IPCC (2001) se espera que las personas con menos recursos económicos sean más vulnerables a sus efectos. Los efectos adversos del aumento en las temperaturas y el calor excesivo sobre la agricultura y el rendimiento de las cosechas que sirven como suministro de alimentos para la población es un tema relevante y de gran importancia en el marco del cambio climático.

Puesto que muchas comunidades de México y del mundo dependen de los cultivos y de la sobrevivencia de los bosques, resulta importante responder las siguientes preguntas ¿Cómo lograrán estas comunidades que dependen directa o indirectamente de los bosques y cultivos para su supervivencia y desarrollo adaptarse a los cambios en el clima?, ¿De qué manera se puede contribuir al

desarrollo de las capacidades de gestión y toma de decisiones en la población , para adaptarse a las condiciones de un clima cambiante?

Considerando además que México es altamente vulnerable a los eventos extremos principalmente hidrometeorológicos es importante medir la influencia de estos fenómenos en la vegetación (Granados y Medina, 2012) e implementar medidas de adaptación que puedan ayudar a minimizar los efectos de estos fenómenos, que a su vez pueden afectar a las comunidades que dependen de ella.

IV. Justificación

Muchas de las observaciones de los efectos del cambio climático han involucrado las alteraciones de los eventos fenológicos de las especies, esto debido a la relación tan estrecha que existe entre la estacionalidad anual y la agricultura; sin embargo, los registros de estas alteraciones también responden a la importancia social que conlleva el cambio estacional o climático (Parmesan, 2006).

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) es una región prioritaria para la conservación, ya que alberga un importante patrimonio cultural, histórico y por supuesto biológico y su importancia incrementa debido a que es sitio de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus Linneo*). Su población es principalmente de bajos recursos económicos a pesar de que su territorio cuenta con una gran riqueza biológica, que podría ser aprovechada razonablemente como una alternativa para el beneficio de sus pobladores, mediante el impulso del ecoturismo, el establecimiento de sistemas agrícolas, la piscicultura y el manejo

forestal que permita la restauración de los bosques, en donde la población se beneficie de los servicios ambientales que resulten de la conservación y conocimiento de sus ecosistemas (CONANP, 2001).

En el caso de la RBMM y en general de la mayoría de los bosques templados de México, algunas especies son el medio de subsistencia de las comunidades que habitan dentro de ella, son su principal recurso para obtener ingresos económicos, tanto de las especies forestales para la extracción de madera (Cortés *et al.*, 2011) y la siembra de algunos cultivos para su venta o consumo propio (Segundo y García, 2012, com. pers.). Por lo que las observaciones fenológicas pueden contribuir al entendimiento de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas (Beaubien y Hamann, 2011) y convertirse en una estrategia de adaptación ante el cambio climático; es decir, que la fenología puede ser utilizada como un indicador de la sensibilidad de las especies a la variación ambiental y al combinarla con datos climatológicos resulta útil como indicador integral del cambio climático (Crimins *et al.*, en preparación).

Será necesario además, conservar y proteger los recursos naturales de esta región, involucrando a los actores clave por medio de diferentes acciones como la capacitación, la educación ambiental, el uso sustentable de los recursos, acciones que permitirán garantizar la conservación de los bosques, así como las condiciones ambientales necesarias para el suministro de recursos para la subsistencia de la población (CONANP, 2001).

V. Hipótesis de trabajo

En los últimos años se han documentado los riesgos que implica el cambio climático para la mayoría de los sistemas de la Tierra (sociales y naturales). Se prevé que sus impactos afecten a la productividad agrícola, a los bosques y al comportamiento de muchas especies. Las bases de datos fenológicos han sido críticas para documentar los impactos de cambio climático en los sistemas biológicos y sociales a escala global y local, por lo tanto, las observaciones fenológicas pueden ayudar a las comunidades de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca a conocer los efectos del cambio climático en la vegetación e identificar medidas de adaptación, y tomar las decisiones pertinentes para el buen uso del suelo, el manejo del riesgo y la administración de sus recursos naturales.

VI. Objetivo general

Documentar los efectos del cambio climático sobre la vegetación de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, a través de la implementación de una red de observación fenológica comunitaria.

Objetivos particulares

- Realizar los calendarios fenológicos por especie, sitio y año de observación de las especies de importancia para las comunidades de la RBMM
- Relacionar la climatología del sitio de estudio con las fenofases de las especies monitoreadas.
- Identificar los requerimientos de unidades calor y horas frío para cada especie y fase fenológica.

- Probar si el monitoreo fenológico como indicador de los efectos del cambio climático sobre la vegetación es útil para las comunidades de la RBMM en la generación de estrategias de adaptación

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

1.1 Impactos del cambio climático en los servicios ecosistémicos y sus consecuencias en los sistemas sociales.

La mayoría de los estudios realizados sobre las consecuencias del cambio climático en los ecosistemas y su impacto directo o indirecto en la sociedad, se relacionan con la seguridad alimentaria (Bohle, *et al.*, 1994; Kiem y Austin, 2013; Morzaria *et al.*, 2013; Dong, *et al.*, 2014), a través de alteraciones de la vegetación debido a la relación tan estrecha que existe entre la agricultura y la estacionalidad (Parmesan, 2006), y de la utilización de los bienes y servicios ambientales que proveen los ecosistemas como medio de subsistencia para las comunidades.

Estos bienes y productos que proveen los sistemas naturales se les conocen como “servicios ecosistémicos” y se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. Existen distintos tipos de servicios ecosistémicos (Figura 1.1); los cuales incluyen la provisión de servicios como alimentación, agua, madera; los servicios de regulación al clima, a inundaciones, enfermedades y calidad del agua; los servicios culturales que proporcionan beneficios espirituales, recreacionales y estéticos; y servicios de sustento como la formación del suelo, la fotosíntesis y el ciclo de nutrientes, etc. (Reid *et al.*, 2005).

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

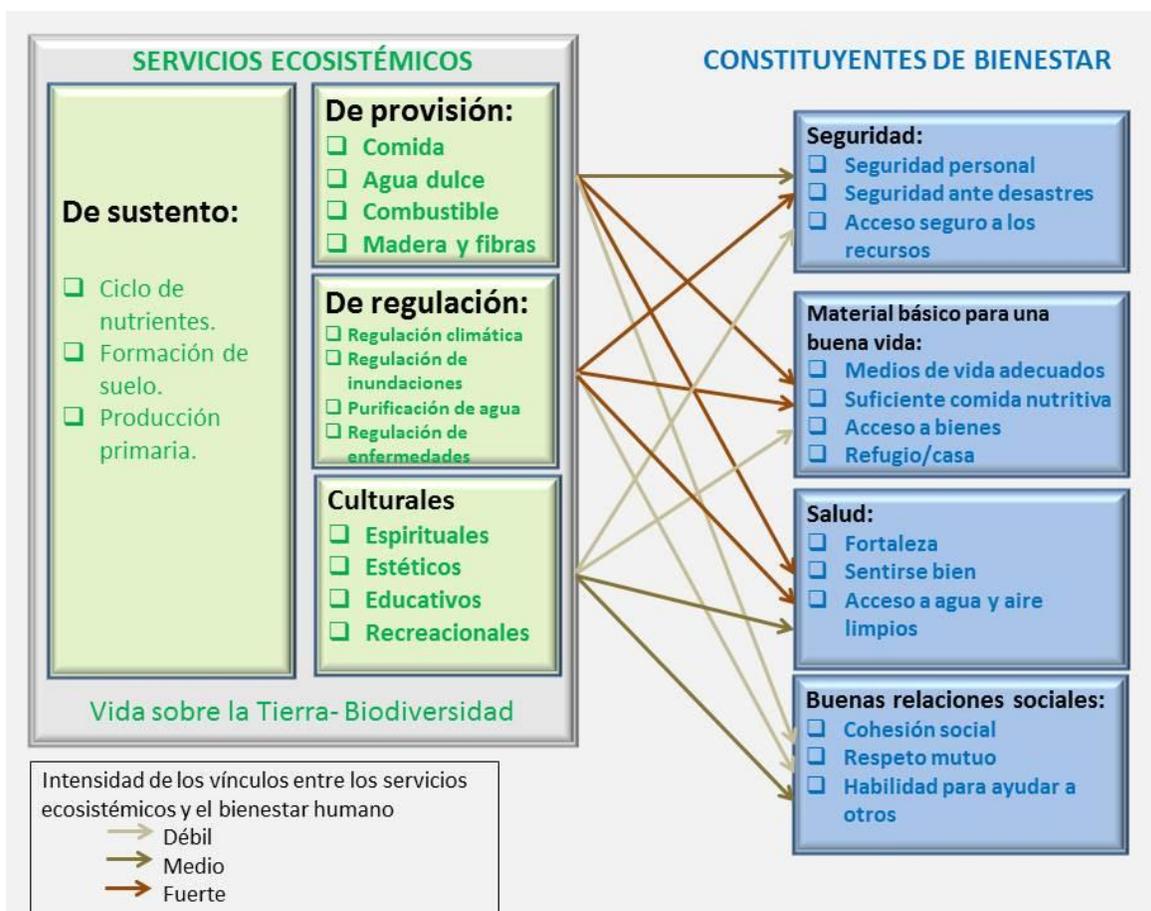


Figura 1. 1 Tipos de servicios ecosistémicos y vínculos con el bienestar humano (Modificada de Reid *et al.*, 2005)

El cambio climático influye en nosotros a través de sus impactos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Figura 1.2). Las perturbaciones del cambio climático en los ecosistemas, específicamente en los forestales minimizan su productividad, reducen las especies de plantas y animales que dependen de los bosques y se modifica el ritmo de la naturaleza (Forest Forecast, 2015).



Figura 1. 2 Efectos del cambio climático en los bosques y su relación con la pérdida de servicios ecosistémicos (modificado de Forest Forecast, 2015)

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las comunidades que dependen de los recursos naturales estarán expuestas a diferentes riesgos, producto del cambio climático (Granderson, 2014), ya que este fenómeno representa un desafío para las comunidades y sus modos de vida a través de sus efectos en la precipitación, la temperatura, los servicios ecosistémicos y la distribución de los ecosistemas; no obstante, sus efectos difieren, debido a la diversidad en sus modos de vida (Granderson, 2014 y Bohle, *et al.*, 1994).

Existen algunos grupos y lugares que se verán más afectados por los cambios en los ecosistemas y en los servicios que estos proveen, ya que son altamente vulnerables y están poco preparados para sobrellevar los cambios que pueden suceder. Se consideran grupos altamente vulnerables a aquellos cuyas necesidades sobrepasan los suministros que brindan los servicios de los ecosistemas, como las personas que no tienen un suministro suficiente de agua para consumo humano o las personas que viven en zonas con una producción agrícola decreciente, por nombrar algunos ejemplos (Reid *et al.*, 2005).

Se espera que las consecuencias del cambio climático sobre los bienes y servicios tengan también efectos sociales y económicos para las poblaciones que dependen de los bosques y otros ecosistemas, por lo que es necesario que las medidas de adaptación vayan más allá de proponer soluciones técnicas, se necesitará abordar también las dimensiones humanas e institucionales del problema (FAO, 2009).

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

1.2 La observación fenológica como alternativa local de adaptación al cambio climático

“Climate change is global, adaptation is local” (Tim Frankenberger, 2014)

Debido a las complejas relaciones que existen entre los sistemas sociales y naturales, los impactos del cambio climático no solo afectarán a los ecosistemas; directa o indirectamente los diferentes sectores de la sociedad se verán afectados también (Sonwa *et al.*, 2012); por lo tanto, los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas deben analizarse en un contexto local. (FAO, 2009).

De acuerdo con Bohle *et al.*, (1994), consideran que uno de los grupos vulnerables son los pequeños agricultores y ganaderos en comunidades rurales lo cual está estrechamente relacionado con las supervivencia humana; sin embargo, el grado de vulnerabilidad es diferente dependiendo de las condiciones de cada lugar.

En México existen diferentes iniciativas que promueven la adaptación a diferentes escalas, desde lo global a lo regional con el fin de reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático (Guerra *et al.*, 2013).

Diversos documentos como la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Guerra *et al.*, 2013), la Ley General de Cambio Climático (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, 2012) o el Programa Especial de Cambio Climático (DOF, 2009) se plantean acciones que contribuyan a mejorar la calidad de vida y garantizar la seguridad alimentaria, a través de la conservación de la biodiversidad, suelos y demás sistemas de soporte ecológico.

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para lograr estos objetivos; estas iniciativas fomentan la participación activa de la población, a través del establecimiento de observatorios ciudadanos de monitoreo, entre ellos de cambios fenológicos, pues dada la sensibilidad de la fenología al cambio climático, ha implicado transformaciones en el manejo de la tierra (agricultura, bosques, especies invasivas, y plagas) así como en numerosos servicios ecosistémicos (Richardson *et al.*, 2012).

Los distintos cambios en la temperatura demandan indicadores de los impactos del cambio climático y han causado un aumento en el interés de los datos fenológicos, los cuales pueden proveer de información necesaria para comprender temas importantes como la adaptación en la agricultura, sobre algunas especies de plantas silvestres, de las cuales no conocemos sus requerimientos de calor, y desajustes entre las interacciones de especies (Schwartz, *et al.*, 2012).

Aunque conocemos que el clima es un crítico modulador de las variaciones ecológicas de los organismos y ecosistemas en distintas escalas, aún somos incapaces de conocer cómo las variaciones en la fenología en el tiempo y el espacio afectarán la abundancia, distribución e interacción de los organismos y cómo podemos pronosticar las respuestas fenológicas ante la variabilidad climática (Schwartz, *et al.*, 2012) (por ejemplo, los cambios en la periodicidad de las fenofases en árboles frutales o cultivos pueden ser de gran importancia económica, debido a que pueden tener impactos directos sobre el rendimiento de los cultivos (Chmielewski *et al.*, 2003)).

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El incremento en la temperatura acelera las reacciones bioquímicas, por lo tanto, un indicador de los efectos del aumento en las temperaturas es la prolongación de la estación de crecimiento y la modificación de las fases fenológicas de las plantas individuales. La extensión de la estación de crecimiento podría tener en su mayoría efectos positivos en la agricultura en las latitudes medias y altas. Una estación de crecimiento más larga mejoraría la toma de decisiones para la selección y rotación de cultivos (Chmielewski *et al.*, 2003).

La fenología puede ser usada como un indicador de la sensibilidad de las especies al cambio climático, de los impactos sobre los procesos ecológicos o puede ser combinado con datos climáticos como indicador del cambio climático (USA-National Phenology Network, 2011). Inclusive la información fenológica puede ser óptima cuando los registros han sido realizados en sitios en los cuales han sido monitoreadas otras variables como la calidad del agua, la radiación, la hidrología, los flujos bioquímicos, la humedad del suelo y la demografía de plantas y animales (Shwartz *et al.*, 2012).

Un grupo de expertos en fenología de la USA-National Phenology Network (2011) proponen una serie de indicadores ligados a la fenología para clasificar los datos fenológicos en la evaluación de los efectos del cambio climático:

- Relevancia: el indicador debe ser lo suficientemente sensible para mostrar los efectos del cambio climático y para que pueda ser usado en la toma de decisiones.

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- Mérito científico: establecer o desarrollar teorías y métodos de análisis a partir de la observación e instrumentación derivada de los datos fenológicos que han mostrado las relaciones climáticas en las tendencias multidecadales a lo largo de grandes áreas geográficas.
- Disponibilidad de datos: los datos adecuados están disponibles y la generación de los mismos está en curso para el monitoreo sistemático y la unión de esfuerzos.

Además de ayudarnos a entender los cambios actuales y futuros en los ciclos de vida de las especies, la identificación de indicadores pueden facilitarnos la comunicación de los impactos del cambio climático tanto a las comunidades o público en general como a los tomadores de decisiones (Enquist, 2011). La información que se deriva de los datos fenológicos como indicadores puede influir en el diseño de una respuesta efectiva de la sociedad ante estos impactos, la mayoría de los cuales afectarán la función de los servicios ambientales, que fomentan el bienestar humano en todas las partes del mundo (Enquist, 2011).

1.3 La observación fenológica en los bosques templados

México es un país que cuenta con una gran diversidad biológica. A excepción de la tundra, el territorio mexicano cuenta con prácticamente todos los ecosistemas naturales que existen en el planeta (DOF, 2009). Entre esta diversidad se encuentran los ecosistemas forestales y específicamente los bosques templados como los bosques de coníferas, bosques de pino, bosques de abeto u oyamel entre otros. Los bosques templados ocupan aproximadamente el 16% del territorio

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

con 3233 km² y se distribuye principalmente a lo largo de las Sierras Madre Oriental y Occidental, así como en el Sistema Volcánico Transversal, la Sierra Norte de Oaxaca y la Sierra Sur de Chiapas (CONABIO, 2012).

Dentro de ellos habitan una gran diversidad de especies de flora y fauna. Especies como el ocote blanco (*Pinus montezumae*), ayacahuite (*Pinus ayacahuite*), pino lacio (*Pinus pseudostrobus*) el encino barcino (*Quercus magnoliifolia*), entre otros (CONABIO, 2012) y especies de fauna como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), puma (*Puma concolor*), armadillo (*Dasypus novemcinctus*), serpientes de cascabel (*Crotalus basiliscus*), además de pájaros carpinteros, el águila real (*Aquila chrysaetos*), y en los bosques templados de oyamel del centro de México se encuentran los sitios de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) (CONABIO, 2012).

Este tipo de ecosistemas se ha visto amenazado principalmente por la deforestación para ampliar la frontera agrícola, por el pastoreo excesivo y el aprovechamiento forestal por parte de la industria maderera, provocando un aumento en la cantidad de incendios forestales y aunado a esto, los bosques también son afectados por el cambio climático (CONABIO, 2012).

De acuerdo con Trejo *et al.*, (2016) se espera que para los años 2020 y 2050 el clima se vea afectado con un incremento de la temperatura de 0.6°C a 1.0°C y de 1.5°C a 2.3°C respectivamente. Debido a estos cambios la vegetación también se verá afectada y serán los bosques templados uno de los ecosistemas más

CAPÍTULO 1. EL CONTEXTO SOCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

vulnerables ya que se verán sometidos a temperaturas más elevadas y a condiciones más secas (Conde, 2007).

Gran cantidad de estudios han documentado los avances en el comienzo de los eventos fenológicos de primavera en los bosques templados, particularmente en las últimas cuatro décadas. Estas tendencias han sido atribuidas al aumento de las temperaturas, para algunas especies de los bosques templados, el fotoperiodo y las bajas temperaturas durante el invierno juegan un papel muy importante para las fenofases de primavera. (Ricardson *et al.*, 2012).

Debido a estos aumentos en la temperatura, la demanda de indicadores del cambio climático se ha elevado considerablemente y por ende, el interés en la fenología como uno de estos indicadores, los datos fenológicos son cada vez más aceptados por los investigadores como un indicador del cambio climático (Chmielewski *et al.*, 2003).

Según indica la FAO (2009) no existe hasta el momento alguna medida universal para adaptar a los bosques al cambio climático, por lo cual es necesario indagar más en la investigación para reducir las incertidumbres actuales en torno a los efectos del cambio climático y las poblaciones, incluso para mejorar las medidas y políticas de adaptación.

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.1 La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM): caracterización geográfica

2.1.1 Ubicación geográfica

Con el fin de identificar la vulnerabilidad de algunas comunidades ante los cambios en la vegetación a causa del cambio climático, se llevó a cabo un proyecto de largo plazo en 19 comunidades que se ubican en los límites y dentro del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM); de las cuales únicamente 16 se encuentran representadas en la Figura 2.1, dada la falta de información necesaria para representar a las tres comunidades restantes.

Para fines de este trabajo se presentan únicamente los resultados obtenidos en siete localidades, siendo estas los sitios con mayor antigüedad y número de observaciones realizadas. El primer sitio de observación se ubica en la localidad de Rincón de Soto, municipio de Áporo en el estado de Michoacán, dentro del centro de capacitación de Alternare A. C. Los seis sitios restantes se ubican en el municipio de Zitácuaro; dos en la localidad de Francisco Serrato entre los 2450 y los 2730 msnm, dos más en la localidad de Crescencio Morales entre 2330 y 2500 msnm y finalmente dos más en la localidad de Donaciano Ojeda entre los 2210 y 2250 msnm.

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

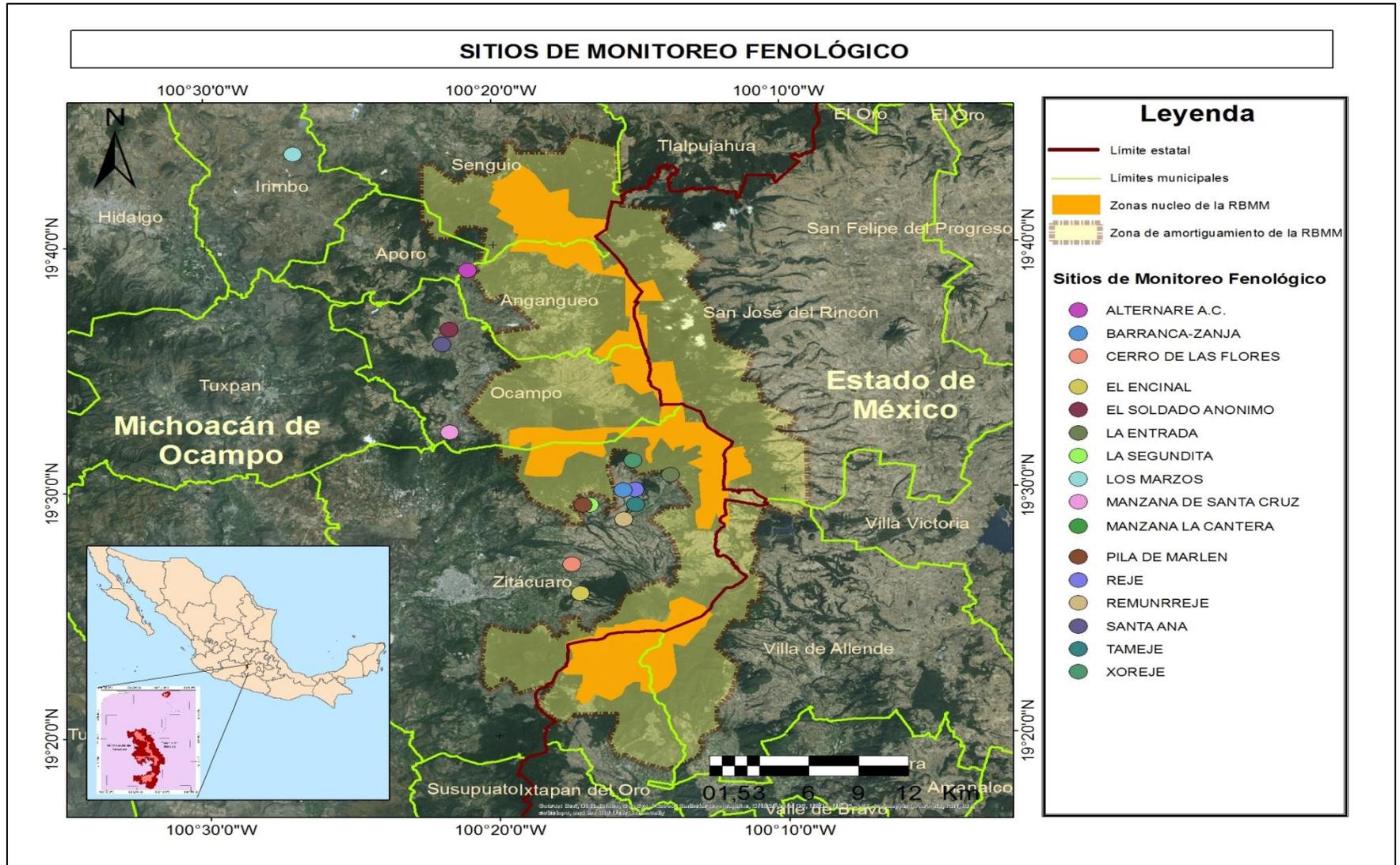


Figura 2. 1 Ubicación de los sitios de monitoreo fenológico. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

Con una extensión de 56,259 ha, la RBMM está localizada entre los estados de México y Michoacán; abarca los municipios de Donato Guerra, San José del Rincón, Temascalcingo, Villa de Allende estos pertenecientes al Estado de México y Angangueo, Aporo, Contepec, Ocampo, Senguio y Zitácuaro, los cuales forman parte del estado de Michoacán (CONANP, 2001). Tiene como coordenadas extremas 19° 59' 42" y 19° 57' 07" latitud norte y 100° 09' 54"; y 100° 06' 39" longitud oeste en Altamirano y 19° 44' 27" y 19° 18' 32" latitud norte y 100° 22' 26" y 100° 09' 07" longitud oeste en lo que se denomina como el corredor Chincua-Cerro Pelón. La RBMM está dividida en tres áreas núcleo que cubren una extensión de 13,552 ha y dos zonas de amortiguamiento con una superficie de 42,707 ha (CONANP, 2001) (Figura 2.2).

2.1.2 Topografía

La RBMM pertenece a la provincia fisiográfica del "Sistema Volcánico Transversal", por lo cual la mayor parte de su territorio está compuesto por sierras y lomeríos, en donde la altitud varía entre los 2400 y 3600 msnm (CONANP, 2001).

2.1.3 Suelos

Los tipos predominantes de suelos en esta zona son andosoles, en menor proporción acrisoles, planosoles, feozem, litosoles, luvisoles, cambisol, regosol y vertisol (CONANP, 2001).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

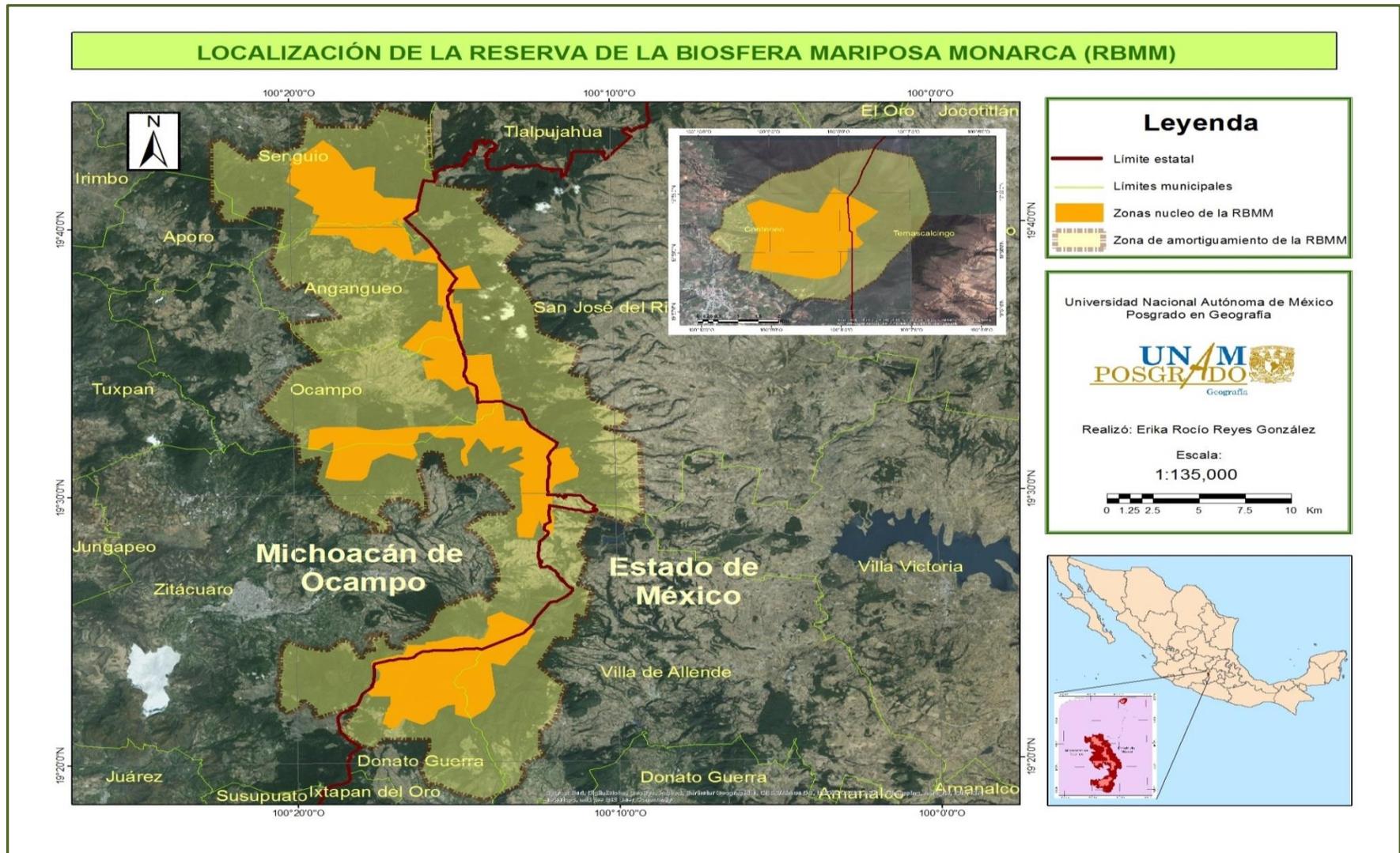


Figura 2. 2 Ubicación geográfica de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.1.4 Hidrografía

En cuanto a hidrografía, la reserva se ubica en la vertiente del Pacífico, abarcando dos regiones hidrológicas, la porción norte de la región hidrológica N°12 Lerma-Santiago y la región hidrológica N°18 Balsas (CONANP, 2001).

2.1.5 Vegetación

Los bosques de coníferas son el tipo de vegetación más abundante en la zona núcleo de la reserva (Cornejo *et al.*, 2003). El bosque de oyamel ocupa la mayor extensión en esta zona y especies como *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus*, *Salix* y *Prunus* se distribuyen en menor medida, principalmente en laderas (CONANP, 2001). El estrato arbóreo está constituido de árboles con alturas de 20 a 40 m, mientras que el estrato arbóreo medio y bajo lo componen árboles de 10 a 25 m. El estrato arbustivo tiene una altura de hasta 5 metros y está dominado por algunas especies como *Acaena elongata*, *Ageratina glabrata*, *A. mairentina*, entre otros (Cornejo *et al.*, 2003) (Tabla 2.1).

Tabla 2. 1 Tipo de vegetación por estrato. Fuente: elaboración propia con base en Cornejo *et al.*, 2003

Estrato	Altura	Ejemplos
Arbóreo	20-40 metros	<i>Abies religiosa</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Pinus hartwegii</i> , <i>P. pseudostrobus</i> y <i>Quercus laurina</i> .
Arbóreo medio y bajo	10-25 metros	<i>Arbutus Xalapensis</i> , <i>Buddleia parviflora</i> , <i>B. cordata</i> , <i>Camarostaphylis discolor</i> , <i>Garrya laurifolia</i> , <i>Quercus laurina</i> , <i>Salix paradoxa</i> y <i>Sambucus nigra</i> var. <i>Canadensis</i> .
Arbustivo	5 metros	<i>Acaena elongata</i> , <i>Ageratina glabrata</i> , <i>A. mairentina</i> , <i>Cestrum thyrsoideum</i> , <i>Roldana Albonervia</i> , <i>R. angulifolia</i> y <i>Satureja macrostema</i> .
Hierbas	-----	<i>Cirsium ehrenbergii</i> , <i>Dahlia scapigera</i> , <i>Erigeron galeotti</i> , <i>Roldana lineolata</i> , <i>Senecio Callosus</i> , <i>Alchemilla procumbens</i> , <i>Castilleja tenuiflora</i> , <i>Cyperuss eslerioides</i> , <i>Echeveria Secunda</i> , <i>Geranium lilacinum</i> , etc.

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

En cuanto a las formas de crecimiento, Las herbáceas son el tipo de flora dominante en la reserva con 326 especies (77.1%), le siguen los arbustos con 51 especies (12.1%), árboles con 33 especies (7.8%) y 6 especies de hierbas epífitas (1.4%) (Cornejo, *et al.*, 2003).

2.2 Problemáticas ambientales actuales en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

La creación de áreas naturales protegidas (ANP) ha tenido un papel importante para la conservación de los ecosistemas a nivel global. Han permitido limitar la deforestación y asegurar la provisión de servicios ambientales (Manzo *et al.*, 2014). Para el año 2014 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) registró un total de 209,429 áreas naturales protegidas, que representaban en alrededor de 32,868,673 km² (el 3.41% y 14% de la superficies marina y terrestres respectivamente, son áreas protegidas) (Deguignet, *et al.*, 2014) (Figura 2.3).

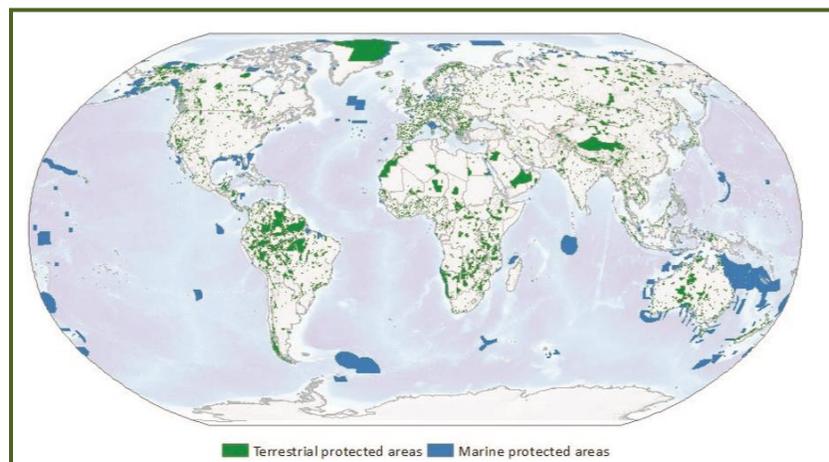


Figura 2. 3 Mapa que representa las Áreas Naturales Protegidas del mundo hasta agosto del 2014. Fuente: UNEP-WCMC, 2014 Citado en Deguignet, *et al.*, 2014

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca está incluida dentro de estas Áreas Protegidas debido al descubrimiento a finales de la década de 1970, de las colonias de hibernación de esta especie en México, por lo que fue en 1980 cuando se decretara como Zona de Reserva y Refugio de Fauna Silvestre por el entonces presidente C. Lic José López Portillo, y fue hasta el 9 de octubre de 1986 que se decreta en el Diario Oficial de la Federación como Área Natural Protegida un total de 16, 110 ha que incluían los cinco santuarios ubicados en los estados de México y Michoacán (Cerro Altamirano, Sierra Chincua, Sierra el Campanario, Cerros Chivatí-Huacal y Cerro Pelón) (CONANP, 2001; Merino y Hernández, 2004). Sin embargo, a lo largo del tiempo la reserva ha sufrido cambios que han propiciado la revisión del decreto establecido en 1986, debido a problemas en su operación como área protegida, dando lugar a nuevos diseño de la reserva, con mayores dimensiones, a fin de garantizar la protección de la mariposa monarca y de su hábitat y de generar programas de desarrollo sustentable para las comunidades que habitan en la región (CONANP, 2001; Manzo, *et al.*, 2014).

2.2.1 Deforestación

Debido a las grandes tasas de deforestación que se han presentado en todos los bosques del mundo, se han implementado programas como el pago por servicios ambientales (PSA) y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca no queda exenta de estos programas. El PSA en esta área protegida ha contribuido a la disminución de la deforestación y a la preservación del ambiente y de las zonas en donde hiberna la mariposa en donde se han desarrollado las actividades relacionadas con el turismo. En sitios en donde además el conocimiento

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

tradicional y las prácticas de la población indígena son ingredientes clave para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad (Manzo *et al*, 2014).

Sin embargo, la implementación de estos programas no garantiza la desaparición total de actividades que provocan deforestación, como lo demuestra el estudio realizado por Navarrete *et al.*, (2011), en el que se indican que la pérdida de densidad forestal para el periodo de 1993 al 2006 en zonas de la reserva que cuentan con programas de manejo forestal fue de 12.7%; es decir, alrededor de 1482 ha con una pérdida anual de 114 ha por año.

Cabe destacar que la implementación de estos programas ha ayudado a reducir la pérdida de bosque. En el estudio realizado por Navarrete y colaboradores (2011) señalan que las zonas de la reserva que no cuentan con ningún programa de manejo forestal, la pérdida fue mayor en comparación con las que sí cuentan con estos. Dando como resultado 1735 ha deforestadas a una tasa de 133 ha por año para el periodo antes mencionado.

Otro estudio realizado por Manzo y colaboradores (2014), sobre la densidad de cobertura forestal en el ejido Cerro Prieto, que forma parte de la RBMM, muestra que durante el periodo de 1971-2013 la cobertura forestal de este ejido permaneció sin ningún tipo de cambio en 228.52 ha lo que representa el 75.92% de área total del ejido. Más a detalle se habla de las áreas forestales cerradas y abiertas que han disminuido su cobertura con una tasa anual de -0.17% y -0.06% respectivamente; mientras que las áreas semi-cerradas y semi-abiertas han

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

incrementado su densidad de cobertura con una tasa anual de 0.11% y 0.02% respectivamente.

Un análisis similar al realizado por Manzo y colaboradores fue realizado por López, (2007), el cual reporta el cambio de cobertura forestal en la Reserva únicamente para el periodo 2006-2007 e indicó que al menos 329.08 ha de bosque resultaron con afectaciones, siendo las áreas con cobertura cerrada las más afectadas con 196.27 ha, es decir con el 59.67% de los cambios; le siguieron las coberturas semi-cerrada con 18.12% de los cambios, es decir 59.63 ha.

Así mismo, los cambios en la zona de amortiguamiento fueron de 94.81 ha, siendo la categoría cerrada la que sufrió los mayores cambios con 63.71 ha; mientras que en la zona núcleo 234.27 ha sufrieron cambios en la cobertura forestal (López, 2007; CONANP, 2016b).

A pesar de los cambios presentados, estos resultados confirman la efectividad del establecimiento de la RBMM y de los diferentes programas para la conservación y recuperación del bosque y la disminución de la pérdida del mismo. La implementación del pago por servicios ambientales también ha resultado benéfico para ayudar a disminuir la tala presente en los ejidos sujetos a estos programas, ya que los cambios en la cobertura forestal en la RBMM se debe en la mayoría de los casos a aprovechamientos autorizados, por lo cual se puede aseverar que los programas para la conservación y PSA han funcionado (Manzo, *et al.*, 2014; López, 2007).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.2.2 Presencia de plagas

De manera natural todos los bosques tienen la presencia de plagas, las cuales afectan a los árboles que se encuentran débiles. Éstas se vuelven dañinas cuando las poblaciones comienzan a disminuir el volumen del bosque y a propagarse a otras zonas cercanas (CONAFOR, 2010); sin embargo, la conservación de los bosques depende de muchos otros factores y no solamente del control de plagas o de la calidad y rendimiento de los servicios ecosistémicos actuales (Manzo *et al.*, 2014).

Las condiciones climáticas extremas y la baja precipitación ocasionan el desarrollo de plagas, las cuales en el estado de Michoacán se caracterizan por la presencia de descortezadores de la especie *Dendroctonus mexicanus*, plantas parásitas como el muérdago enano (*Arceuthobium globosum* y *Arceuthobium vaginatum*) y algunos defoliadores. Este tipo de plagas afectan principalmente a los pinos y oyameles que ya han sido debilitados por otros factores climáticos extremos como las sequías o la presencia de incendios forestales (CONANP, 2001; CONAFOR, 2010).

En el año 2008 resultaron afectados 10,800 m³ de madera en la RBMM, a causa de las plagas. El municipio de Ocampo tuvo grandes afectaciones en el arbolado debido al descortezador, situación que se agravó en el 2009 debido al estrés hídrico por la baja precipitación pluvial en la región (CONAFOR, 2010).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.2.3 Deslizamientos de tierra.

A finales del mes de enero del año 2010, el estado de Michoacán fue afectado por la presencia de dos frentes fríos N° 28 y N° 29 y una baja presión. Como consecuencia, se presentaron lluvias extremas y granizo a inicios de febrero del mismo año (Galeana *et al.*, 2015; Alcántara *et al.*, 2011; López y Alcántara, 2012), dando lugar a inundaciones y movimientos en masa en distintos municipios del estado. La estación “Laguna del Fresno” ubicada a 21km al sur, registró 204 mm de lluvia del 1 al 5 de febrero, equivalente al 30% de la precipitación media anual, mientras tanto, en un periodo de 24 horas la estación “El bosque” registró 144.5mm de precipitación, que representó un 270% de precipitación promedio para el mismo mes (Alcántara *et al.*, 2011; López y Alcántara, 2012).

El deslizamiento ocurrido en febrero de 2010, fue el causante de diversos daños económicos en el estado de Michoacán. Los municipios de Angangueo, Ocampo y Tiquicheo de Nicolás Romero resultaron con serios daños y siendo el primero, el municipio más afectado a causa de este fenómeno. El área devastada fue estimada en 282 km² y con un aproximado de 697, 346 m³ de material fue movilizado. Durante el deslizamiento, 113 áreas fueron afectadas, 106 hogares en el municipio de Angangueo, se encontraban en zona de riesgo (Alcántara *et al.*, 2011; López y Alcántara, 2012). Este evento causó la muerte de 16 personas (19 en todo el estado), afectaciones en carreteras, electricidad y en las reservas de agua potable, además de otros daños indirectos en la producción de cultivos, actividades ganaderas y turismo debido a que el área se encuentra localizada dentro de la RBMM (Alcántara *et al.*, 2011) (Figura 2.4).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES



Figura 2. 4 Noticias sobre el deslizamiento en Angangueo, Michoacán. Fuentes: El universal, (2010); La Jornada, (2010)

El inicio del movimiento de los flujos fue atribuido a las zonas sujetas a la deforestación y a otros tipos de cambios de uso de suelo; en combinación con los diversos eventos meteorológicos extremos (Manchado y López, 2012; Alcántara *et al.*, 2011), los cuales saturarían los materiales superficiales ocasionando un aumento en el peso de los mismos y pérdida de resistencia al esfuerzo (Galeana *et al.*, 2015)

El 15 de febrero de 2010 se emite la declaratoria de emergencia en el Diario Oficial de la Federación (DOF) para Angangueo y otros cuatro municipios más del Estado de Michoacán debido a las lluvias severas ocurridas el 3 de febrero del mismo año (DOF, 2010) (Figura 2.5).



Figura 2. 5 Fotografía de los daños causados por el deslizamiento en el municipio de Angangueo Fuente: Montalvo, (2010)

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.2.4 Ecoturismo

A partir del descubrimiento de las colonias de mariposas monarcas a finales de los años setenta la RBMM ha estado marcada por un notable aumento en el turismo en este espacio. Esta actividad ha traído consigo afectaciones en las comunidades que se encuentran en la reserva y en el espacio natural (Zarco, 2012).

A pesar de que ésta actividad tiene efectos en la economía de la región, los efectos negativos de un turismo masificado ponen en boga sobre su sustentabilidad tanto económica como ambiental, pues es bien sabido que toda actividad turística genera en mayor o menor medida impactos en el ambiente (Zarco, 2012).

2.2.5 Minería

La industria minera en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, fue una de las actividades más importantes en la región y fue hasta los años de 1980 cuando muchas industrias tuvieron que cerrar por un descenso en esta actividad debido al agotamiento de las vetas (Hoth, 1997); Debido a los crecientes costos de producción y la baja en los precios internacionales de la mayoría de los productos, la actividad minera quedo en abandono temporalmente (Manchado y García de León, 2012). Actualmente muchas industrias mineras han iniciado nuevamente acciones de explotación de algunos minerales como el Zinc. En la Reserva, esta actividad económica ocupa aproximadamente 26,105 ha que fueron concesionadas a 32 mineras, por lo que es necesario identificar el efecto de esta actividad en los recursos naturales de la reserva (CONANP, 2001).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

2.3 Pobreza y su relación con la problemática ambiental

La pobreza tiene también una cierta relación con la pérdida de la biodiversidad y la conservación, ya que las diferentes culturas de nuestro país tienen una relación muy estrecha con la diversidad biológica a través de su cosmovisión o desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos (CONABIO, 2007), debido a que la población obtiene de este modo beneficios que les han ayudado a resolver sus necesidades inmediatas (CONANP, 2016a); sin embargo, las actividades humanas para obtener bienes y servicios han sido pieza clave en la modificación de la naturaleza y de los procesos ecológicos, actividades como la agricultura, la ganadería, el turismo, el aprovechamiento forestal, entre otras han sido tomadas en cuenta como las causantes de la pérdida de biodiversidad y la transformación del ambiente; (CONABIO, 2007) (Figura 2.6a) .

La tala clandestina a grande y pequeña escala (tala hormiga) ha sido una de las principales actividades ligadas a la modificación y destrucción de los ecosistemas de la RBMM (WWF, 2013), sumando también los efectos del cambio de uso de suelo a causa de las actividades agrícolas y la sobreexplotación originada por la demanda creciente de bienes, (CONANP, 2016b) (Figura 2.6b).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

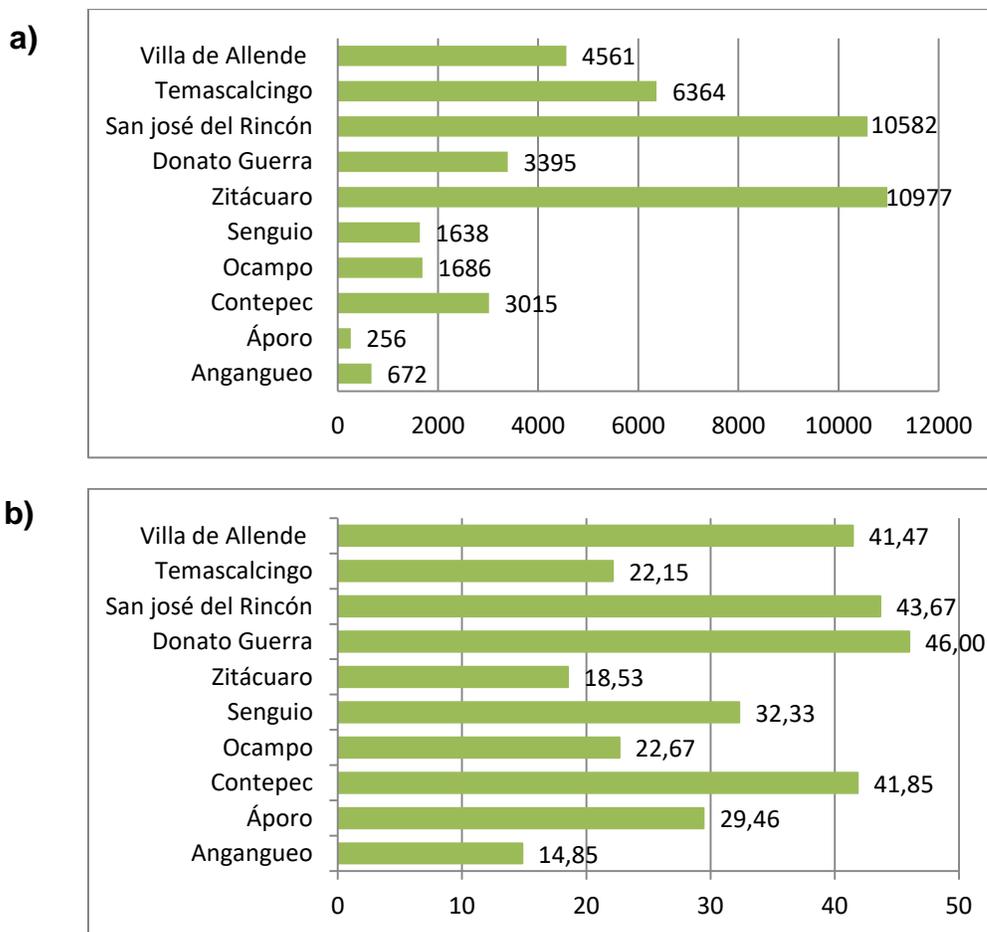


Figura 2. 6 a) Población analfabeta; b) Porcentaje de población ocupada en el sector primario (agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca) en los municipios que conforman la RBMM. Fuente: elaboración propia con base en INEGI, 2010.

Esta zona presenta además un alto grado de pobreza, analfabetismo y desnutrición infantil y con un acceso escaso a los servicios básicos por lo que las familias dependen de las actividades como el cultivo de maíz para sobrevivir y de la recolección de plantas y hongos, además existe una fuerte tradición de explotación forestal (Figura 2.6b), de especies como el pino, encino, cedro blanco y aile, y transformación de la madera para la elaboración de muebles, cajas, otros insumos y para cumplir con la demanda de abasto a distintas industrias forestales

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

de la región, lo cual se traduce en una presión constante sobre el bosque. (CONANP, 2016b; Loredo *et al.*, 2002; Merino y Hernández, 2004).

Tabla 2. 2 Población indígena por municipio en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Elaboración propia con base en INEGI, 2010

Municipio	Población indígena (hab)	Porcentaje con respecto al total en la Reserva (%)	Porcentaje con respecto al total en los dos estados
Michoacán			
Angangueo	21	0.056	0.004
Áporo	5	0.013	0.001
Contepec	37	0.099	0.007
Ocampo	90	0.241	0.017
Senguio	22	0.059	0.004
Zitácuaro	5261	14.083	1.012
Estado de México			
Donato Guerra	6927	18.543	1.332
San José del Rincón	11191	29.957	2.153
Temascalcingo	10504	28.118	2.020
Villa de Allende	3299	8.831	0.635
Total en la RBMM	37357	100	7.185
Total en Edo de México y Michoacán	519895		

Por otro lado, al haber sido decretada la Reserva, las comunidades fueron privadas del uso de los recursos del bosque, esto trajo como consecuencia el desarrollo de actividades como la tala ilegal, problemática que trató de ser solucionada al otorgar permisos de manejo forestal comunitario; sin embargo, la tala clandestina siguió teniendo impactos negativos en la actividad forestal debido a la presión de algunas industrias sobre los recursos, las barreras establecidas para llevar a cabo actividades forestales legales, los escasos incentivos destinados al manejo de los bosques por parte de las comunidades entre otros (Merino y Hernández, 2004).

CAPÍTULO 2. LA RESERVA DE LA BIOSFERA MARIPOSA MONARCA (RBMM): CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA Y PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES

Cada una de las condiciones anteriores son causantes del deterioro y presión que se ejerce sobre los ecosistemas, provocado además un deterioro en las relaciones sociales generando en muchas ocasiones conflictos entre los habitantes de la reserva, debido a las distintas visiones que los pobladores tienen del bosque (CONANP, 2001; Merino y Hernández, 2004). La posesión o carencia de derechos ejidales es un tema común, resultando los jóvenes los más afectados debido a las diferencias de generaciones provocando marginación que inhibe la posibilidad de incorporarse en la gestión de tareas de conservación, aprovechamiento y manejo del bosque, además de una alta tasa de migración hacia las ciudades más cercanas como Toluca y la Ciudad de México, incluso hacia los Estados Unidos (Manzo, *et al.*, 2014). Sin embargo, para muchos, el bosque es aún visto como un territorio ajeno, por lo que su interés por la conservación es mínimo, mientras que la minoría tienden a valorarlo más ligado a los ingresos económicos, promoviendo de esta manera un mayor interés por la conservación (Merino y Hernández, 2004).

CAPÍTULO 3. MÉTODOS

La metodología empleada en la elaboración de este trabajo se basa en tres componentes principales: a) cartografía, b) gestión del trabajo con las comunidades y c) trabajo en gabinete (Figura 3.1).

3.1 Cartografía

La búsqueda de información cartográfica fue utilizada con el objetivo de elaborar los mapas que servirían como base para representar las zonas de monitoreo fenológico para un mejor entendimiento de la distribución espacial de estos sitios, además de representar otros rasgos relevantes de la RBMM.

3.2 Gestión del trabajo comunitario

3.2.1 Identificación de actores clave y metodología del monitoreo

La siguiente parte de la metodología consistió en el trabajo en campo con las comunidades y actores clave de la RBMM. Este trabajo se logró gracias a la ayuda de Alternare A.C. quienes a principios del año 2013 mostraron interés en el monitoreo fenológico, durante una presentación de los resultados obtenidos en la primera fase de este proyecto, realizado en la comunidad de Valle Verde, municipio de Zitácuaro, Michoacán (Reyes, 2013).

Los directivos de esta asociación que ha trabajado en recuperar y conservar los bosques, específicamente los de la RBMM, vieron en el monitoreo fenológico una herramienta más para la conservación; por lo cual, se interesaron en llevar a cabo una segunda fase de monitoreo, aprovechando las visitas que ya se realizaban a

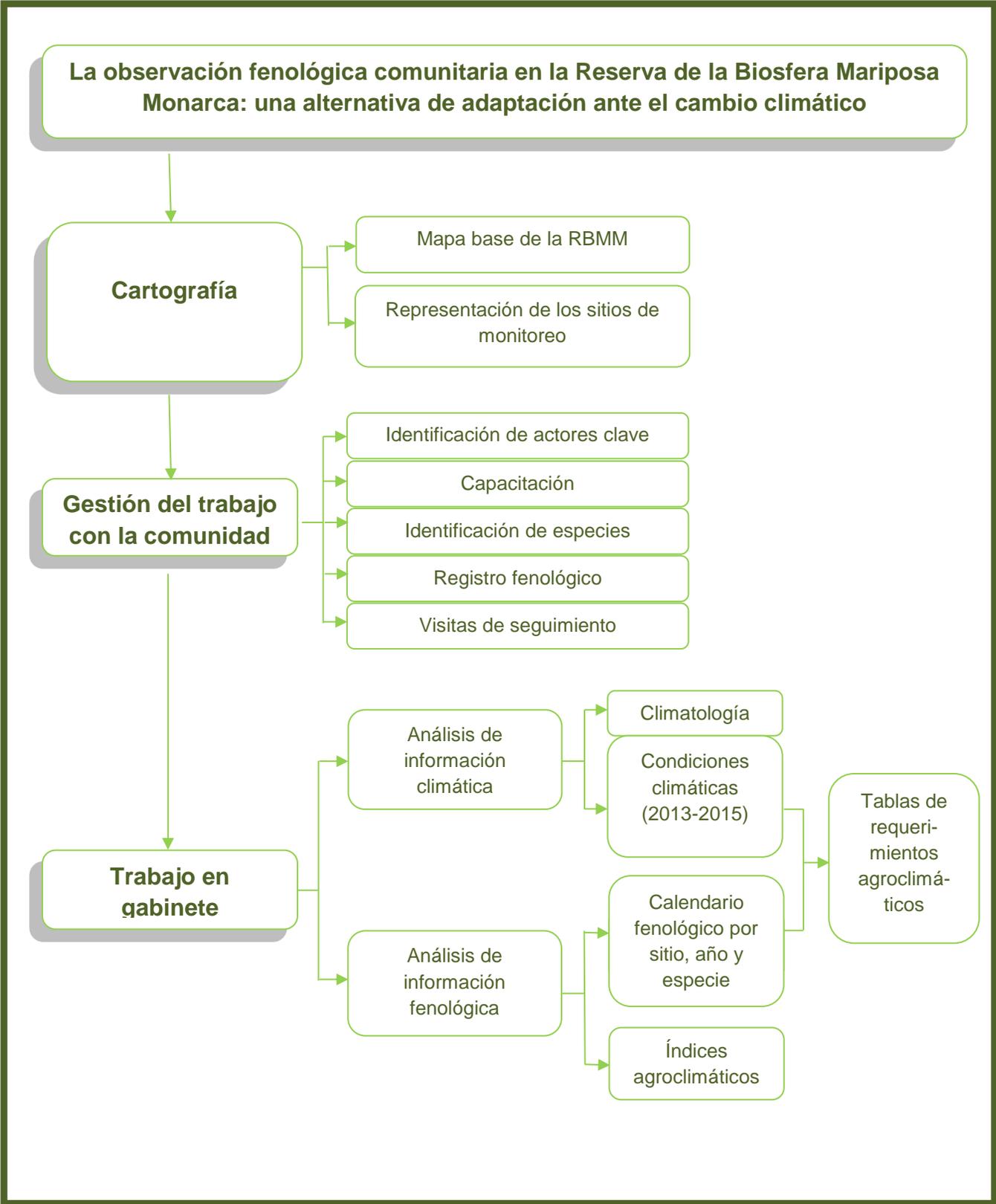


Figura 3. 1 Esquema metodológico

algunos parajes de la reserva como parte del proyecto de monitoreo de la calidad del agua, actividad que ya venían realizando años atrás.

El programa de conservación del bosque y agua implementado por Alternare A.C. está orientado al lograr el uso sustentable en el aprovechamiento de los recursos, naturales y el desarrollo comunitario, además de fortalecer la organización de las comunidades a través de planes y estrategias para el ordenamiento de su territorio. Esta labor se realiza en conjunto con las comunidades de la microcuenca del Río San Juan Zitácuaro y con otros actores de la sociedad civil y autoridades de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Alternare A.C., 2015).

Los sitios de monitoreo del agua en donde además se llevó a cabo el monitoreo fenológico fueron: los parajes “La Entrada” y “Remunrreje” en la comunidad Crescencio Morales, los parajes “La Segundita” y “Pila de Marlen” en la comunidad de Donaciano Ojeda y los parajes “Tamejé” y “Xorejé” en la comunidad de Francisco Serrato, todos ellos pertenecientes al municipio de Zitácuaro, Michoacán; además de llevar a cabo observaciones fenológicas de las especies presentes en el centro de capacitación de Alternare A.C., ubicado en el municipio de Áporo, Michoacán.

Otros de los participantes en este proyecto fueron algunos trabajadores y/o instructores comunitarios en capacitación de este centro, a quienes se les presentó este proyecto y mostraron interés por el tema a desarrollar al conocer los beneficios que pueden obtener durante la ejecución y resultados finales de este trabajo.

3.2.2 Capacitación

Una vez identificados los actores clave en cada comunidad, se realizaron talleres de concientización sobre los beneficios de realizar un monitoreo fenológico y de capacitación para la apropiada observación y reporte de los datos obtenidos. Se realizaron dos talleres de capacitación, aproximadamente tres más de seguimiento y un taller de presentación de resultados preliminares, a los cuales asistieron entre 10 y 20 personas de las comunidades mencionadas en el apartado 2.1.1 de este trabajo. Se trataron además otros temas como el cambio climático y su diferencia con la variabilidad climática, el fenómeno de El Niño y el uso de la información climática disponible que han proporcionado instituciones como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

3.2.3 Identificación de especies y registro fenológico

Como siguiente paso se identificó a las especies que serían monitoreadas; en el caso de los sitios de monitoreo del agua, se seleccionaron a las especies más abundantes en estos lugares y su monitoreo se realizó mensualmente debido a que ésta fue la periodicidad con la que se realizaba el monitoreo de calidad del agua. Por otro lado, en conjunto con los instructores y/o trabajadores del centro de capacitación de Alternare, A.C., se seleccionaron las especies de las cuales se registraría su fenología en cada una de sus comunidades y se eligieron a las especies de importancia local, ya sea económica o de subsistencia, para así iniciar con el registro fenológico.

Se realizaron observaciones fenológicas mensuales para especies forestales y quincenales para frutales y cultivos en un formato de observación denominado “Cambios en la vegetación”, desarrollado por Reforestamos México, A.C. y académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México durante el año 2010 (Reyes, 2013).

En general, para la selección de especies, se solicitó a los participantes elegir aquellas que fueran características de la región, de fácil acceso y cercanas a sus localidades; para asegurar de esta manera el menor esfuerzo al realizar observaciones y conservar el interés en esta actividad.

Como resultado de las reuniones con los actores clave de las comunidades, se realizaron cambios al formato de observación original, agregando nuevas fases o modificando las anteriores para un mejor y más completo monitoreo fenológico, diferenciando las fases para cada tipo de vegetación. Se registraron además la presencia de plagas y las fechas de las principales actividades agrícolas (siembra y cosecha) como una forma de obtener información adicional de los efectos del clima en la vegetación.

En el caso de las especies forestales solo se reportaron las fases de floración, caída de hojas, brotes nuevos de hojas, fructificación (frutos maduros), cambio de color de las hojas y semillas, además se solicitó informar de la presencia de plagas (Figura 3.2a). Respecto a las especies de frutales las fases reportadas fueron: aborto de frutos, brotes florales, brotes frutales, brotes nuevos de hojas, caída de flores, caída de hojas, cambio de color de hojas, floración, frutos verdes,

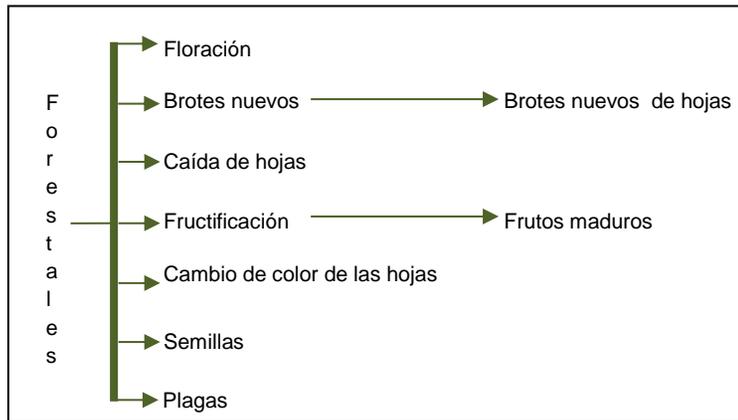
frutos maduros además de la presencia de plagas (Figura 3.2b). Finalmente las fases de monitoreo para los cultivos fueron: brotes florales, brotes frutales, brotes nuevos de hojas, floración, frutos verdes, frutos maduros, igualmente se solicitó reportar la presencia de plagas, así como la fecha de siembra y cosecha (Figura 3.2c).

Toda la información generada por las comunidades fue entregada en primera instancia a una persona en el centro de capacitación de Alternare A. C., encargada de recopilar todas las observaciones, para después ser enviada al colegio de geografía y así ser procesada y analizada.

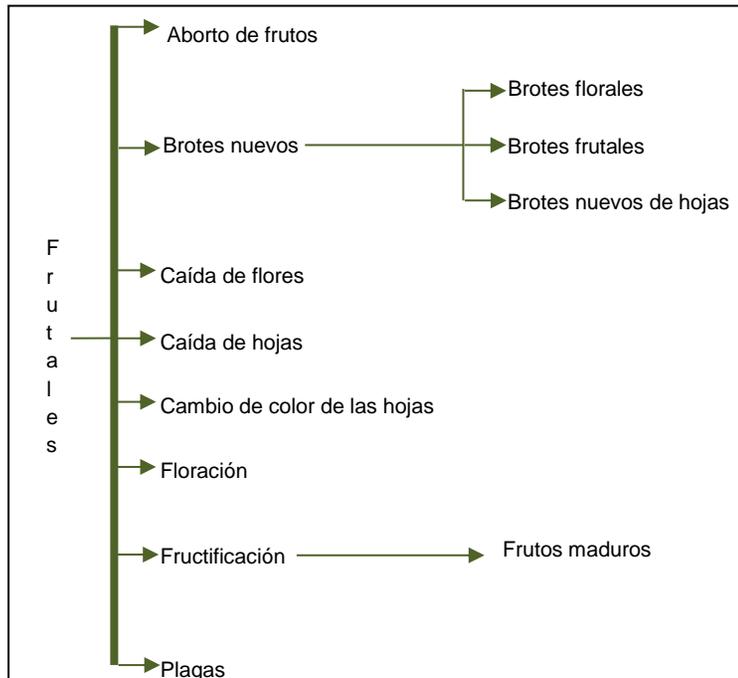
3.2.4 Visitas de seguimiento

El último paso de esta parte de la metodología fueron las reuniones de seguimiento en las comunidades para continuar fomentando el interés en la población e informar de algunos avances y resultados preliminares de esta investigación, aportando datos útiles para la toma de decisiones de los habitantes de esta reserva. En este caso, se realizaban algunas visitas a las localidades en las cuales se realizan observaciones fenológicas y se acompañaba a los habitantes de la localidad a realizar el registro y en otras ocasiones, la visita fue aprovechada para resolver dudas o escuchar comentarios de las personas de cada localidad.

a)



b)



c)

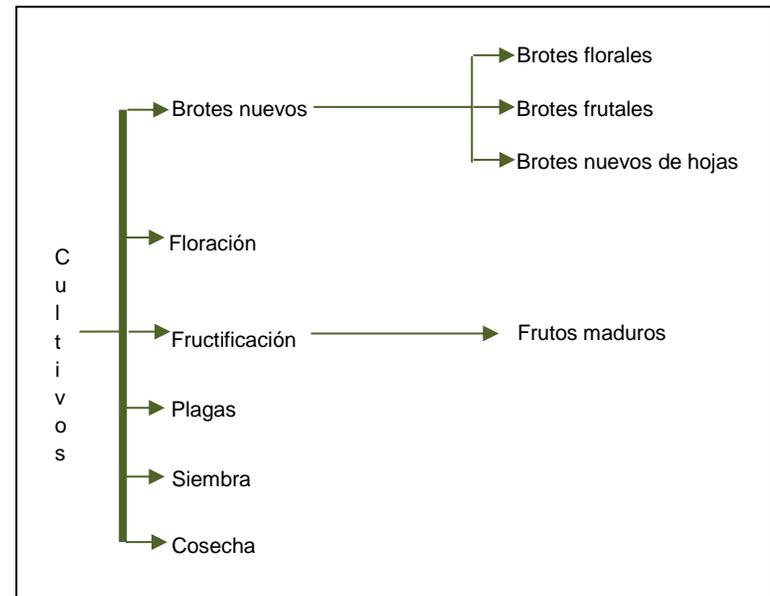


Figura 3. 2 Fases fenológicas monitoreadas de acuerdo al tipo de especie. a) Fases fenológicas para especies forestales; b) Fases fenológicas para especies frutales; c) Fases fenológicas para cultivos.

3.3 Trabajo en gabinete

3.3.1 Análisis de información climática

La información climática fue utilizada para elaborar la climatología de la región. Se realizaron los promedios diarios y mensuales de temperatura y precipitación para los años 2013, 2014 y 2015, además de las fechas de inicio y fin de la temporada de lluvias, así como de la primera y última helada para determinar el periodo libre de heladas para cada año, de las estaciones “Llano de la Rosa” y “Llano del Toro” ubicadas en la Reserva, las cuales forman parte de la Plataforma de Información Climática (PIC) de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y de la estación Alternare A.C. monitoreada por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, de la UNAM. Esta información sirvió como base para identificar bajo qué condiciones de temperatura y precipitación se desarrollaron las fases fenológicas de la vegetación de la RBMM y analizar si existe alguna relación entre estos factores.

Se determinaron además las anomalías de las estaciones de la CONANP y la estación operada por el CIGA-UNAM respecto a la climatología de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional presentes en la región y cercanas a las estaciones dentro de la reserva, las cuales cuentan con más de treinta años de registros. Estas fueron la estación 16121 Senguio, con registros desde 1969 y seleccionada por su relativa cercanía con las estaciones Llano de la Rosa y Alternare, A.C., y la estación 16036 El Bosque, Zitácuaro con registros desde 1952, ésta por su cercanía con la estación Llano del Toro (Figura 3.3), para

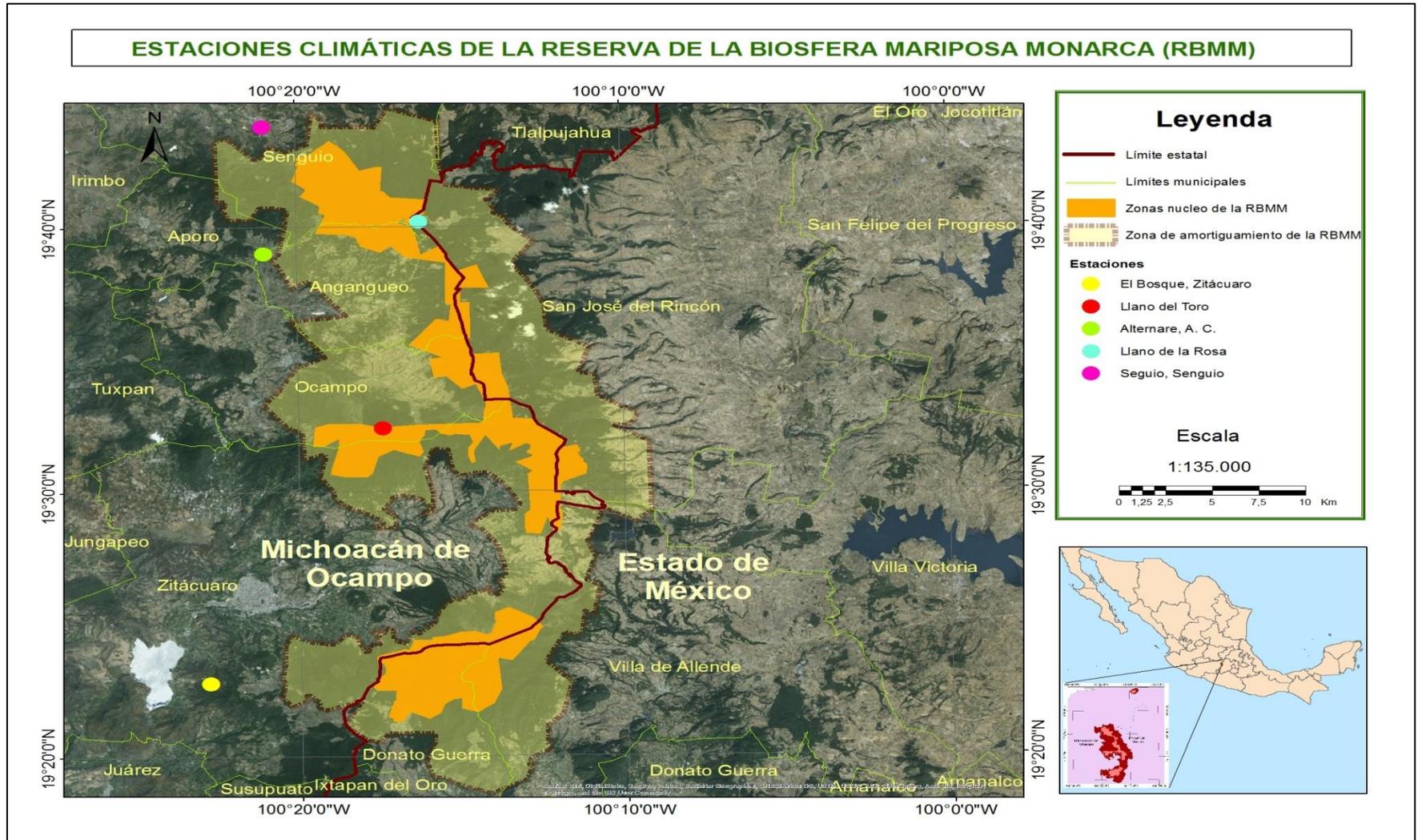


Figura 3. 3 Ubicación de las estaciones climáticas en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Fuente: elaboración propia

obtener así una referencia sobre el comportamiento de la temperatura y precipitación durante los tres años de registro (2013, 2014 y 2015).

3.3.2 Análisis de información fenológica

La última parte de la metodología consistió en el análisis de los datos recabados en campo.

A partir de la información fenológica recibida por parte de Alternare A.C., se elaboraron bases de datos en Excel con el fin de compilar toda esta información para su posterior procesamiento y análisis, al mismo tiempo como una forma de llevar un registro de todos los datos que habían sido recabados, de una manera ordenada y más fácil de comprender y manejar.

Cada una de las bases de datos contiene los siguientes campos:

- Año
- Fecha
- Día Juliano
- Nombre del observador
- Nombre común de la especie
- Nombre científico
- ID del individuo
- Sitio de observación
- ID del sitio
- Comunidad
- Municipio
- Estado
- Latitud
- Longitud
- Altitud
- Fase Fenológica y
- Notas

Se elaboraron bases de datos para cada una de las fases fenológicas, resultando catorce bases de este tipo. En cada base se recabaron 6 registros para la fase de aborto de frutos, 11 registros sobre la fecha de Cosecha, 51 registros para brotes florales y 110 para brotes frutales, 273 registros de floración, 249 de frutos maduros, además de 804 registros de brotes nuevos de hojas, 11 registros para caída de flores, plagas se registraron 231 datos, caída de hojas 622 registros,

semillas 7, cambio de color de hojas y siembras 38 y 11 registros respectivamente (Tabla 3.1). Se consideró como un registro, cada vez que la fase fue reportada.

Tabla 3. 1 Total de registros en cada base de datos por fase fenológica

Fase fenológica	Registros	Fase fenológica	Registros
Aborto de frutos	6	Cosecha	11
Brotes florales	51	Floración	273
Brotes Frutales	110	Frutos maduros	249
Brotes nuevos de hojas	804	Plagas	231
Caída de flores	11	Semilla	7
Caída de hojas	622	Siembra	11
Cambio de color de hojas	38		
Total de registros:		2434	

Por otro lado, toda la información anterior fue recopilada en una base general con los mismos campos que las individuales en donde se lograron registrar un total de 2434 observaciones, recabadas durante 336 fechas de observación a lo largo de tres años (2013, 2014, 2015) (Tabla 3.2).

Cabe destacar que no todos los sitios comenzaron en con el monitoreo fenológico en el año 2013, ni todos los sitios continuaron hasta el año 2015, solo los sitios de Xorejé, Tamejé, Remunrreje, La Entrada, La Segundita, Pila de Marlen y el Centro de capacitación de Alternare A.C, han realizado esta actividad durante los tres años consecutivos; los sitios restantes decidieron unirse tiempo después, por lo tanto la mayoría cuentan con menos de un año de observaciones, inclusive algunos otros sitios han finalizado ya su participación en esta actividad.

Se elaboraron además otras bases de datos en dónde se registraron los sitios de monitoreo, otra más que contenía a los individuos monitoreados en cada paraje y una última en donde se registraron las fechas en las que se realizó cada observación.

Tabla 3. 2 Número de fechas de observación y fases fenológicas reportadas por sitio

SITIO	Estado	Municipio	Comunidad	Latitud	Longitud	Altitud	N° de fechas de observación	N° de fases fenológicas reportadas
Xorejé	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Francisco Serrato	19°31'15.96"	100°15'15.04"	2734	29	223
La entrada	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales	19°30'37.26"	100°13'58.00"	2498	17	120
Remunreje	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Crescencio Morales	19°28'45.51"	100°15'36.14"	2334	29	266
Tamejé	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Francisco Serrato	19°29'35.01"	100°15'10.72"	2457	28	207
La segundita	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Donaciano Ojeda	19°29'09.35"	100°16'47.02"	2212	28	240
Pila de Marlen	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	Donaciano Ojeda	19°29'30.76"	100°16'59.44"	2256	28	242
Centro de capacitación Alternare A.C. Reje	Michoacán de Ocampo	Áporo	Rincón de Soto	19°38'55.39"	100°20'53.08"	2356	58	669
	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	1° Mza. De Francisco Serrato	19°29'54.1"	100°15'12.4"	N/D	13	26
Toma de Agua (Cerro de las flores)	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	5° Mza. De Nicolás Romero	19°27'34.7"	100°17'25.7"	2500	14	109
Manzana La cantera	Michoacán de Ocampo	Ocampo	1° Mza. Ejido El Rosario	19°35'7"	100°17'23.1"	2753	1	10
Santa Ana	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Santa Ana	19°35'43.6"	100°21'49.2"	2329	13	81
Manzana de Santa Cruz	Michoacán de Ocampo	Ocampo	Comunidad Indígena San Cristóbal	19°32'35"	100°21'34.6"	2274	12	68
Toma de agua (El Encinal)	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	5° Mza. De Nicolás Romero	19°25'41"	100°17'8.9"	2364	13	14
Barranca-Zanja	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	2° Mza. De Francisco Serrato	19°30'9.9"	100°15'35.8"	2487	14	43
El soldado anónimo	Michoacán de Ocampo	Ocampo	El Soldado	19°36'19.6"	100°21'33.5"	2293	4	29
El tigre	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	2° Mza. De Crescencio Morales	N/D	N/D	N/D	14	29
La capilla	Michoacán de Ocampo	Zitácuaro	3° Mza. De Francisco Serrato	N/D	N/D	N/D	5	5
Los marzos	Michoacán de Ocampo	Irimbo	Los marzos	19°43'51.5"	100°26'53.1"	2176	15	44
El salitre	Michoacán de Ocampo	Irimbo	El Salitre	N/D	N/D		1	9
TOTAL							336	2434

De acuerdo con los reportes, se llevó a cabo el registro fenológico de 101 individuos de las distintas especies enlistadas en la tabla 3.3 en 19 sitios dentro y en los límites de la RBMM, siendo Zitácuaro y Ocampo los municipios en donde se concentraron la mayor cantidad de sitios de monitoreo.

Tabla 3. 3 Especies y número de individuos monitoreados por sitio

Sitio	Nombre común	Nombre Científico	Nº individuos
Xorejé	Pino	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	5
La Entrada	Aile	<i>Alnus acuminata</i> Kunth subsp. <i>Glabrata</i> (Fernald) Furlow.	4
Remunreje	Pino	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. Pinaceae.	6
Tamejé	Encino	<i>Quercus rugosa</i> Née.	3
	Encino	<i>Quercus laurina</i> Humb.& Bonpl.	2
La Segundita	Pino	<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	5
Pila de Marlen	Aile	<i>Alnus acuminata</i> Kunth subsp. <i>Glabrata</i> (Fernald) Furlow	4
Centro de capacitación Alternare A.C.	Durazno	<i>Prunus pérsica</i> (L.) Stokes	2
	Manzana	<i>Malus sp.</i>	1
	Ciruela andrina	<i>Prunus domestica</i> .	1
	Ciruela andrina (amarilla)	<i>Prunus domestica</i> .	1
	Tejocote	Por determinar	1
	Manzana roja	<i>Malus sp.</i>	1
	Pera	<i>Pyrus sp.</i>	1
	Pino	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. Pinaceae.	1
	Maíz negro	<i>Zea Mays</i> L.	2
	Maíz blanco	<i>Zea Mays</i> L	3
	Frijol Ayocote	<i>Phaseolus coccineus</i> L.	5
	Haba	<i>Vicia faba</i> L.	3
	Trigo	Por determinar	2
Avena	<i>Avena sp.</i>	2	
Reje	Pino	Por determinar	1
	Aile	Por determinar	1
Toma de Agua (Cerro de las Flores)	Madroño	Por determinar	4
	Pino	Por determinar	3
Manzana La Cantera	Durazno	Por determinar	1

Tabla 3.3 Especies v número de individuos monitoreados por sitio (continuación)

	Mamullo	Por determinar	1
	Roble	Por determinar	1
anta Ana	Aguacate	Por determinar	1
	Zapote	Por determinar	1
	Fresno	Por determinar	1
	Pino	Por determinar	1
	Tejocote	Por determinar	1
Manzana de Santa Cruz	Durazno	Por determinar	1
	Manzana	Por determinar	1
	Pera	Por determinar	1
	Ciruela andrina	Por determinar	1
	Pino	Por determinar	1
	Cedro	Por determinar	1
	Oyamel	Por determinar	1
	Fresno	Por determinar	1
Toma de Agua (El Encinal)	Encino	Por determinar	1
Barranca-Zanja	Pino	Por determinar	1
	Aile	Por determinar	1
	Cedro	Por determinar	1
El soldado anónimo	Pino	Por determinar	4
El tigre	Pino	Por determinar	1
La Capilla	Pino	Por determinar	1
Los marzos	Mora	Por determinar	1
	Chabacano	Por determinar	1
	Ébano	Por determinar	1
	Fresno	Por determinar	1
	Pino	Por determinar	1
	Cedro	Por determinar	1
El salitre	Durazno	Por determinar	1
	Níspero	Por determinar	1
	Limón	Por determinar	1
	Lima	Por determinar	1
	Ciruelo	Por determinar	1
	Total		101

Con la información recabada en campo sobre las observaciones fenológicas en cada sitio de monitoreo, se realizaron los respectivos calendarios fenológicos de las especies para cada año de observación.

Durante la elaboración de los calendarios fenológicos, se detectaron fases que fueron reportadas una sola ocasión, las cuales fueron omitidas al no conocer su fecha de inicio y fin. En el caso de los sitios de monitoreo del agua, se eligió un solo individuo para realizar su calendario fenológico seleccionando el más representativo del lugar, ya que este incluía todas las fases fenológicas que presentaron todos los individuos monitoreados.

Los nombres de los estadios fenológicos representados en los calendarios se obtuvieron de la escala BBCH; sin embargo, para el monitoreo en campo se utilizó una simbología resultado de las reuniones con las personas de las comunidades y corresponden a los nombres con los cuales les resultaba más fácil identificar las fases fenológicas en la vegetación. En la tabla 3.4 se han agregado las equivalencias de estas fases con las fases de identificación de estadios fenológicos BBCH.

La escala BBCH es un sistema para de codificación de los estadios fenológicos de crecimiento de plantas mono y dicotiledóneas. Parte de una base general de la que se derivan las escalas individuales de cada planta. Los estadios principales de crecimiento se representan usando números del 0 al 9 en orden ascendente; mientras que los estadios secundarios se clasifican también de la misma forma, estos representan fases cortas del desarrollo de las plantas (Meier, 2001).

Tabla 3. 4 Equivalencias de las fases fenológicas desarrolladas en conjunto con las comunidades con las fases de identificación de estadios fenológicos BBCH

Tipo	Fases comunidades	Esca	BBCH
Frutales	Brotes nuevos de hojas	0	Desarrollo de las yemas
	Brotes florales	5	Aparición del órgano floral
	Floración	6	Floración
	Brotes frutales	7	Formación del fruto
	Aborto de frutos		
	Frutos maduros	8	Maduración del fruto
	Caída de flores	9	Senescencia
	Caída de hojas		
	Cambio de color de las hojas		
Cultivos	Siembra	0	Germinación
	Brotes nuevos de hojas	1	Desarrollo de las hojas
	Brotes florales	5	Aparición del órgano floral
	Floración	6	Floración
	Brotes frutales	7	Formación del fruto
	Frutos maduros	8	Maduración de frutos y semillas
	Cosecha	9	Senescencia
Forestales	Brotes nuevos de hojas	1	Desarrollo de las hojas
	Floración	6	Floración
	Frutos maduros	8	Maduración de frutos y semillas
	semillas		
	Cambio de color de las hojas	9	Muerte o comienzo del reposo vegetativo
	Caída de hojas		

Es importante destacar que los calendarios fenológicos aquí presentados son una representación gráfica de la información recibida por parte de las comunidades, personas y demás actores involucrados en este proyecto, por lo que las fechas de inicio y fin de una fase pueden variar debido a que los registros no fueron realizados diariamente, sino de acuerdo con la disponibilidad de tiempo de los voluntarios.

Con la información anterior y la información climática descrita anteriormente se obtuvieron los distintos índices agroclimáticos necesarios para el desarrollo de las

diferentes fases fenológicas de las especies, estos fueron: unidades calor y horas frío acumuladas, se calculó además el periodo libre de heladas, inicio y fin de la temporada de lluvias para cada año (2013-2015) y se obtuvieron también las condiciones térmicas y de precipitación promedio diarias que se presentaron al momento de aparición de una fase fenológica específica.

Las unidades calor o conocidas también como unidades térmicas o Grados Día de Crecimiento (GDC) se refieren a la cantidad necesaria de calor a la que estuvo sometida una planta durante el periodo de crecimiento para lograr su maduración (Castillo, *et al.*, 1996; Miller *et al.*, 2001). Este concepto postula que las plantas dependen de la cantidad de calor que reciben para su crecimiento y desarrollo y que alcanzará una cierta etapa fenológica cuando haya recibido la suficiente cantidad de calor para lograrlo, sin importar el tiempo necesario para conseguirlo (Villalpando *et al.*, 1991).

Existen distintos métodos para el cálculo de unidades calor; sin embargo en este trabajo se utilizó el método residual o método de la media ya que al realizarse diferentes evaluaciones a los distintos métodos de cálculo, se ha llegado a la conclusión de que este es uno de los más efectivos y con mejores resultados (Villalpando *et al.*, 1991). Descrito por Arnold y Wang en 1960, este método determina la acumulación de GDC al restar a la temperatura promedio diaria una temperatura umbral mínima dependiendo del tipo de especie y cuya fórmula es la siguiente (Medina, *et al.*, 2003):

$$GDC = T_{med} - T_u$$

Dónde:

T_{med} : temperatura promedio diaria

T_u : Umbral mínimo de temperatura por especie

Las temperaturas umbrales utilizadas en cada especie se presentan a continuación (Tabla 3.5)

Tabla 3. 5 Temperatura umbral mínima para cada especie

Especie	Temperatura Umbral (°C)	Fuente
AVENA	5	Medina (2002)
CIRUELA (AMARILLA)	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
CIRUELA	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
DURAZNO	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
FRIJOL AYOCOTE	7	Torres (1995)
MANZANA ROJA	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
MANZANA	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
HABA	5	Medina (2002)
MAÍZ	10	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
PERA	4.5	Villalpando, <i>et al.</i> (1991)
PINUS PSEUDOSTROBUS	-8	Bárcenas (2015)
ALNUS	4	CONABIO (2016)
PINUS LEIOPHYLLA	-15	CONAFOR (2016)
QUERCUS	2	Medina (2002)

Los requerimientos de frío para que una planta cese su crecimiento se conoce como horas frío y se mide por la cantidad de horas en que la temperatura se encuentra por debajo de un umbral, el cual generalmente es de 7°C (Castillo *et al.*, 1996). Para este caso, se contabilizaron únicamente la cantidad de horas por debajo de 7°C para cada fase fenológica de cada especie y por cada año.

El periodo libre de heladas se determinó a partir de diferencia entre la fecha de la última helada y la primera helada del año. Se determinó como una helada cuando la temperatura mínima fue menor o igual a 0°C (Villalpando y García, 1993).

Finalmente para el cálculo del inicio y fin de temporada de lluvias se utilizó el método de pentadas o de lluvia diaria acumulada en un periodo de cinco días. Este método indica dividir el año cada cinco días como ya se mencionó anteriormente; el inicio de la temporada lluviosa estará marcado cuando la precipitación acumulada de los cinco días sea igual o mayor a 15 mm y el fin de la misma, cuando esta medida de precipitación sea menor a 15 mm (Alfaro *et al.*, 1998; García y Cruz, 2008). Debido a que algunos otros factores originan lluvias mayores a 15 mm aún fuera de la temporada de lluvias, se optó por determinar que el inicio de esta ocurriría cuando tres pentadas seguidas tuvieran una precipitación acumulada de 15 mm, lo mismo para determinar el fin de la temporada de lluvias (García y Cruz, 2008).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS. CALENDARIOS FENOLÓGICOS

En este apartado se presentan los calendarios fenológicos elaborados con la información obtenida a través del monitoreo de las especies de importancia local, por parte de algunas comunidades en la RBMM. Los números dentro de las barras de los calendarios indican la duración de la fase fenológica en días.

4.1 Cultivos

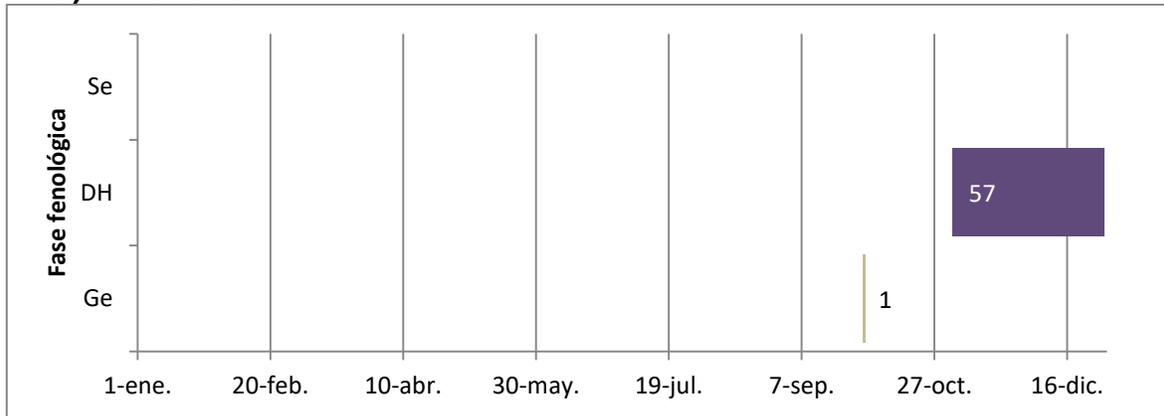
4.1.1 Avena (*Avena* sp.)

Especie utilizada como forraje y asociada con el cultivo ebo³ (*Vicia sativa* L.) para ayudar a su crecimiento (Sánchez y Arriaga, 2015, com. per). En términos generales, la fase de germinación en la avena se registra en la última semana del mes de septiembre, el desarrollo de las hojas inicia desde la última semana de octubre y finalizar hasta la segunda semana de enero. Gracias a los registros del año 2013, se determinó que esta fase tiene una duración de más de 60 días. Por otro lado, es posible inferir que el desarrollo de las hojas ocurre después de 32 a 34 días a partir de la germinación (Figura 4.1).

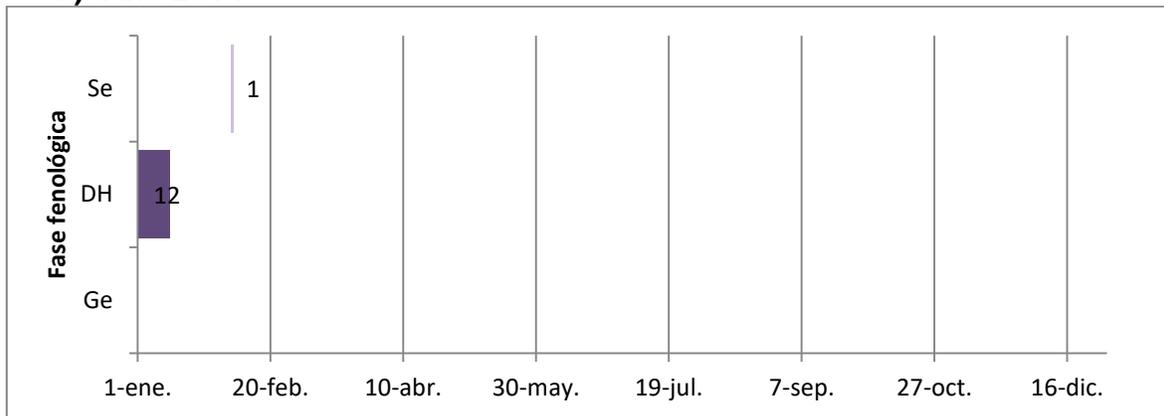
³ Forraje para consumo animal, debido a sus altos contenidos en proteína, energía y fibra. También conocido como veza o janamargo (SIAP, 2014)

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

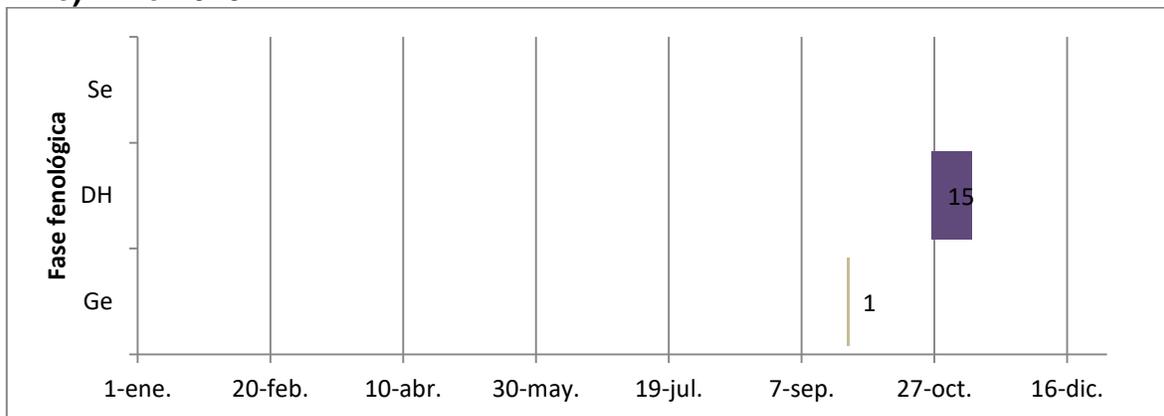
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



Se: Senescencia DH: Desarrollo de las hojas Ge: Germinación

Figura 4. 1 Calendario fenológico por año de la especie avena (*Avena* sp.) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

4.1.2 Frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.)

Este cultivo es una variedad proveniente del estado de Tlaxcala y denominado en la región como “ojo de cabra” (Sánchez y Arriaga, 2015, com. per). La fecha de germinación del frijol ayocote se presentó en promedio durante la última semana de mayo, la floración dependiendo de la fecha de siembra inicia en promedio desde la primera o última semana de junio o aproximadamente 47 días después de la germinación y finalizando aproximadamente durante la primera semana de agosto con una duración promedio de 50 días; la senescencia ocurre durante la última semana de agosto, aproximadamente 53 días después del fin de la floración (Figura 4.2).

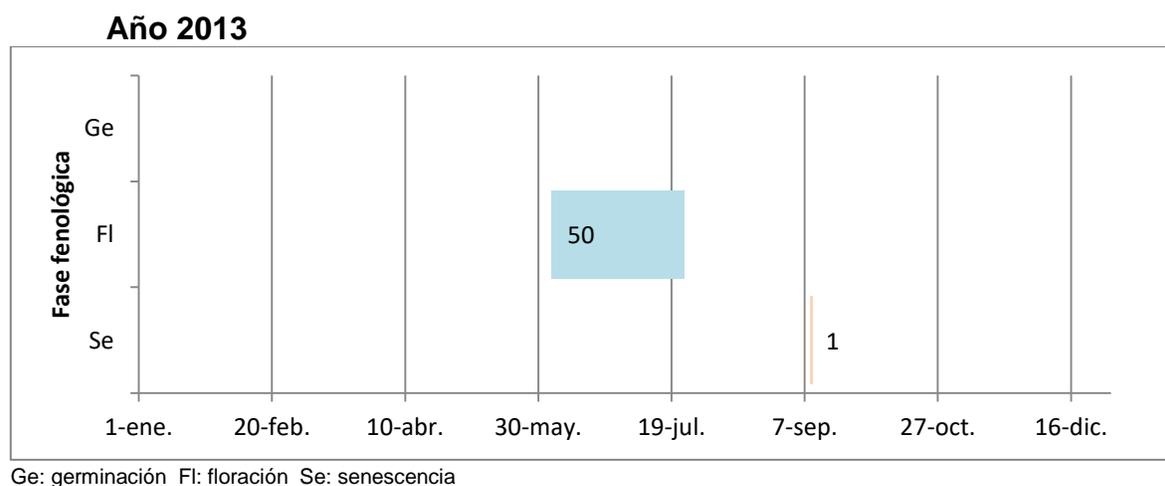
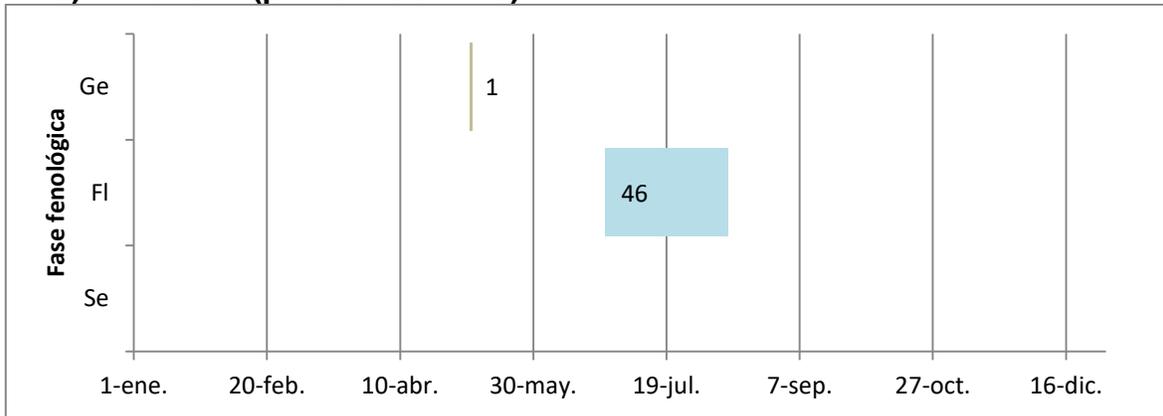


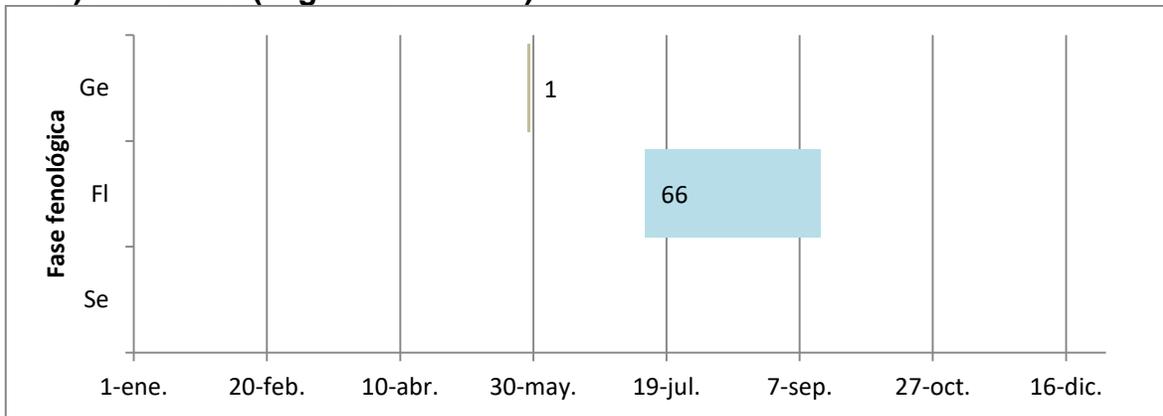
Figura 4. 2 Calendario fenológico por año de la especie frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en el centro de capacitación de Alternare A.C

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

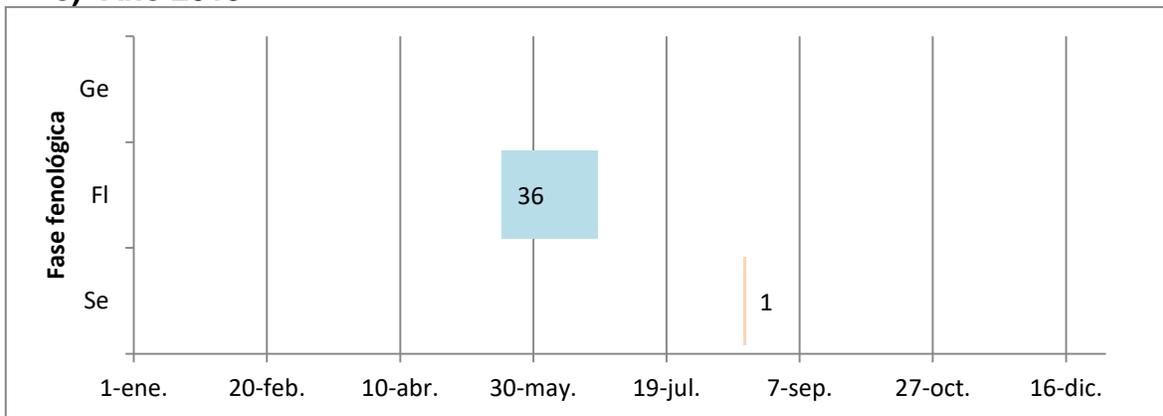
a) Año 2014 (primera siembra)



b) Año 2014 (segunda siembra)



c) Año 2015



Ge: germinación Fl: floración Se: senescencia

Figura 4. 2 Calendario fenológico por año de la especie frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en el centro de capacitación de Alternare A.C. (continuación)

4.1.3 Haba (*Vicia faba* L.)

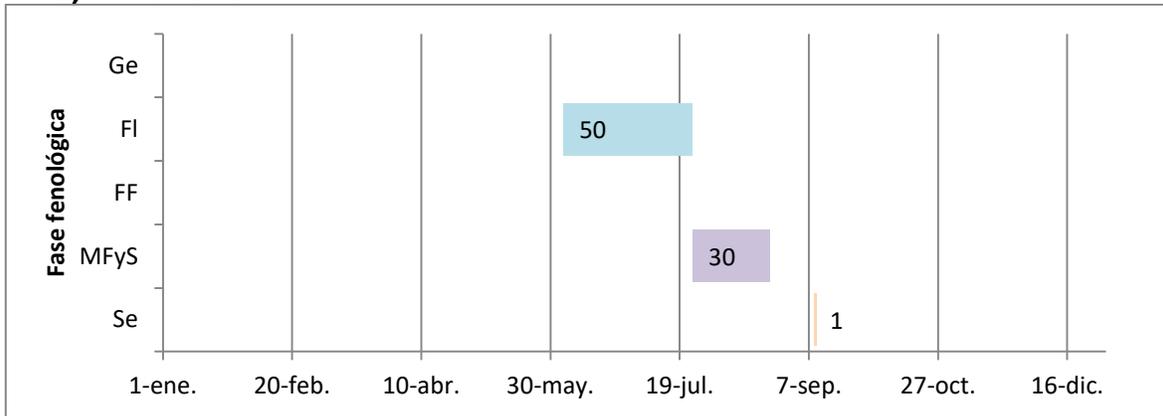
En el caso de la haba, la siembra o germinación ocurre en promedio durante la primera semana de mayo, la fase de floración se presenta durante los meses de junio y julio; la formación del frutos se determinó durante el mes de agosto y hasta la segunda semana de septiembre, mientras que la maduración del fruto se presenta aproximadamente a finales del mes de julio y hasta finales del mes de agosto, finalmente las labores de cosecha o senescencia se realizan durante la penúltima semana de septiembre, dependiendo de la fecha de siembra o aproximadamente 15 días después de la maduración del fruto (Figura 4.3).

4.1.4 Maíz (*Zea mays* L.)

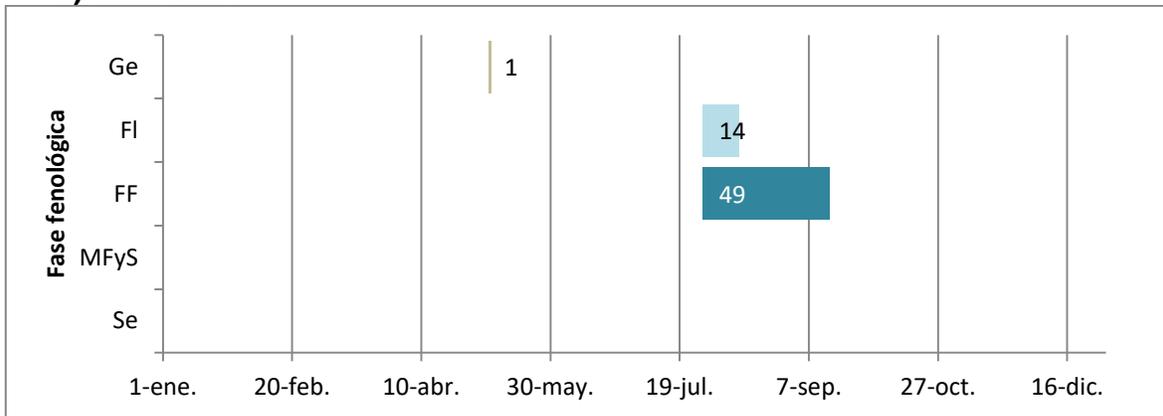
En el caso del maíz, su siembra se practicó en promedio durante la segunda semana de abril, la aparición de flores durante la segunda semana de julio y la fase de formación del fruto durante la segunda semana de agosto o aproximadamente 123 días después de la germinación; mientras que la maduración de las semillas se presenta en la segunda semana de octubre o dependiendo de la siembra aproximadamente 15 días después del final de la formación del fruto. Finalmente la senescencia ocurrió en la última semana de noviembre o principios de diciembre (Figura 4.4).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

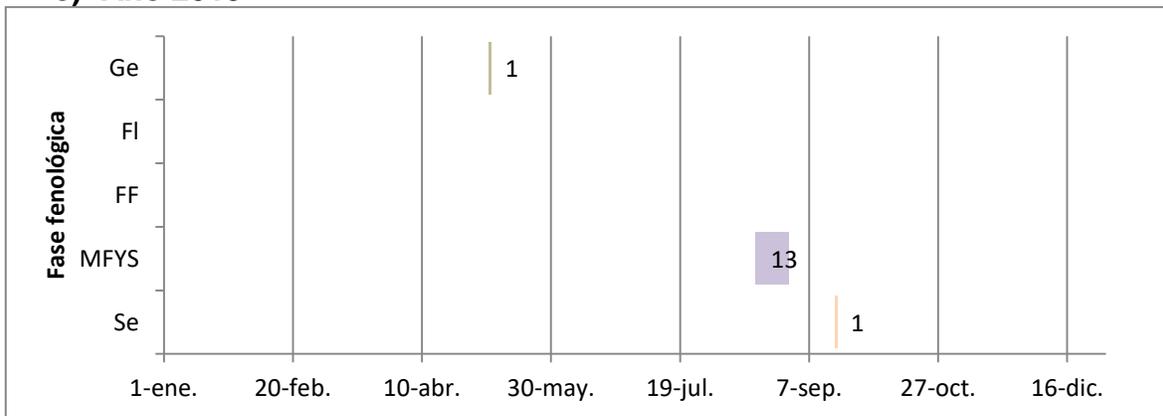
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

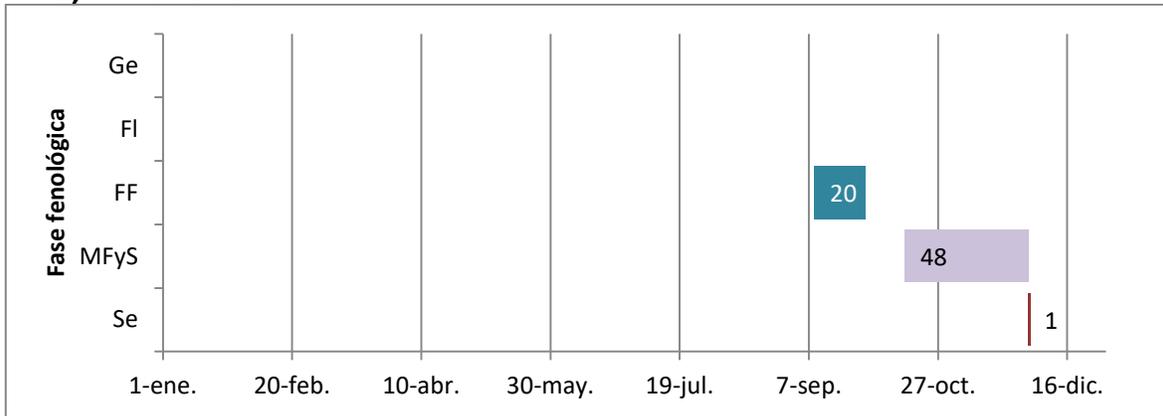


Ge: germinación FI: floración FF: formación del fruto MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

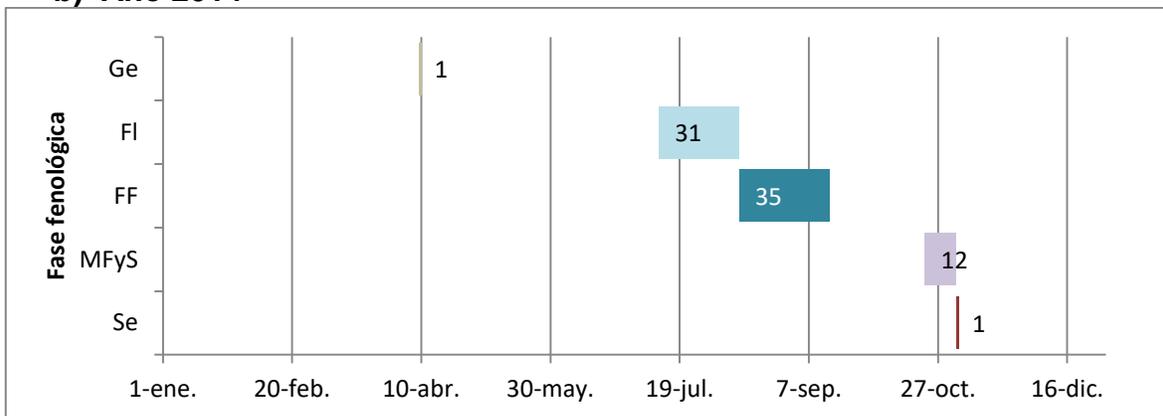
Figura 4. 3 Calendario fenológico por año de la especie haba (*Vicia faba* L.) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

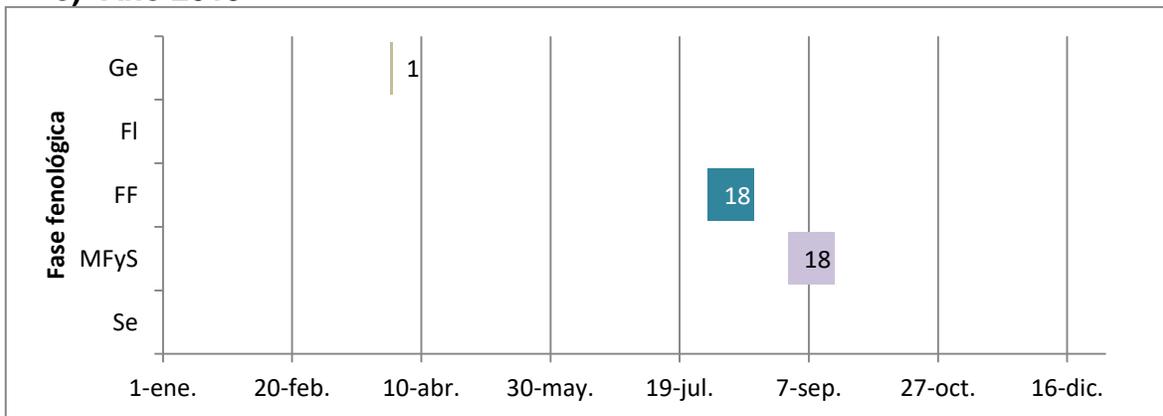
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



Ge: germinación FI: floración FF: formación del fruto MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

Figura 4. 4 Calendario fenológico por año de la especie maíz (*Zea mays* L.) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

4.2 Frutales

4.2.1 Ciruela andrina amarilla (*Prunus domestica*)

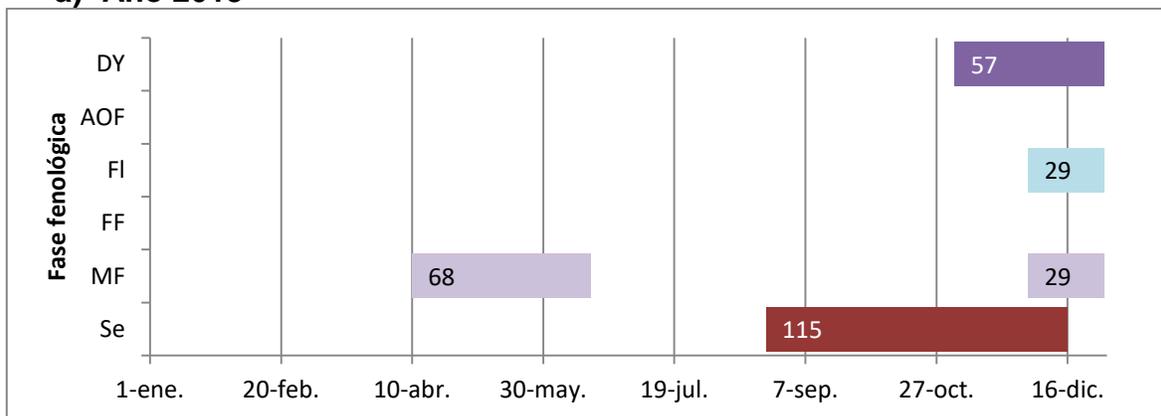
En el caso de la ciruela amarilla, la fase de desarrollo de las yemas no presentó un mismo patrón anual de inicio y fin de la fenofase; sin embargo se extiende desde noviembre hasta febrero; la aparición del órgano floral inicia a finales de año (diciembre) y se prolonga hasta finales de enero, continúa la floración, la cual se desarrolla aproximadamente desde la segunda semana de diciembre hasta finales de febrero, mientras que la formación del fruto ocurre desde la última semana de febrero a la tercera semana de marzo. En el caso de la maduración del fruto, tampoco se puede detectar un patrón de inicio, mientras que el fin ocurre después de la segunda quincena de junio. La senescencia en esta especie inicia entre finales de junio y principios de julio y finaliza aproximadamente a principios del mes de noviembre con una duración aproximada de 123 días (Figura 4.5).

4.2.2 Ciruela andrina roja (*Prunus domestica*)

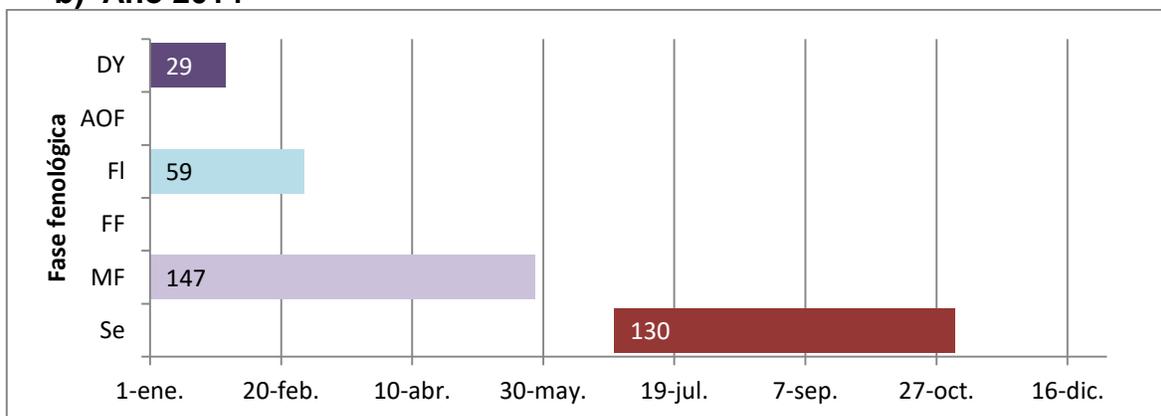
En el caso del desarrollo de las yemas, la fecha de inicio de esta fase es la misma que en la ciruela andrina amarilla; sin embargo, su duración es mayor en la ciruela andrina roja. La aparición del órgano floral ocurre desde inicios de noviembre y finales de diciembre hasta finales de enero, en la misma fecha que la ciruela amarilla. Por otro lado, la floración se estimó que inicia en la segunda semana de noviembre y finaliza en la primera semana del mes de marzo. En el año 2013, la floración de la ciruela roja, tuvo una duración mayor que la ciruela amarilla.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

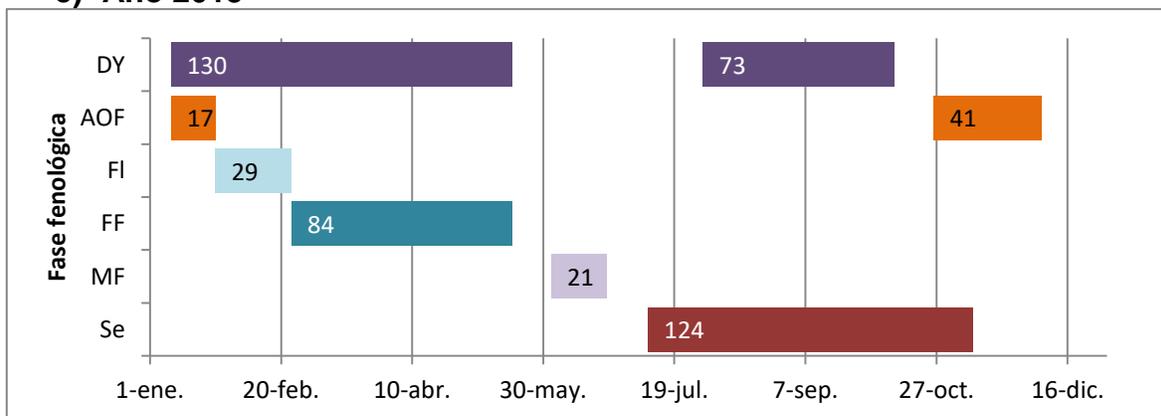
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia

Figura 4. 5 Calendario fenológico por año de la especie ciruela andrina amarilla (*Prunus domestica*) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

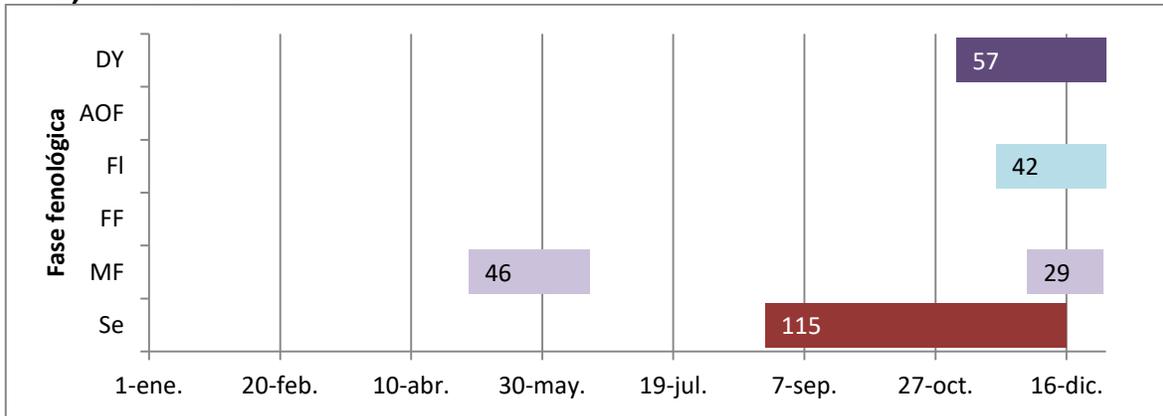
La formación del fruto tiene las mismas fechas de inicio y fin que la ciruela andrina amarilla, al igual que la maduración del fruto; exceptuando el año 2014, en donde la duración fue mayor en la ciruela andrina roja. La senescencia tuvo una fecha de inicio similar a la andrina amarilla; sin embargo, tuvo una duración menor en los años 2014 y 2015, con una duración promedio de 60 días (Figura 4.6).

4.2.3 Durazno (*Prunus persica* (L.) Stokes)

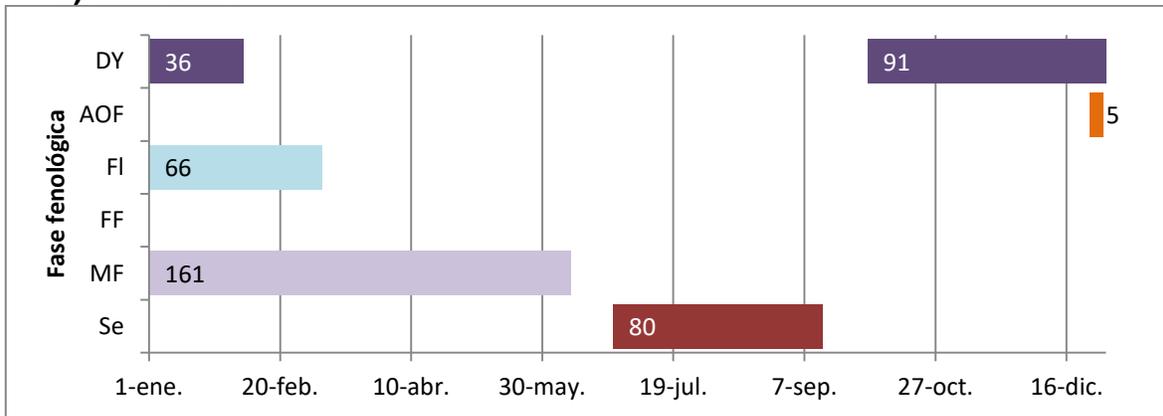
Variedad de durazno denominado por Sánchez y Arriaga, (2015 com. per.) como durazno amarillo y prisco, utilizado en la elaboración de mermeladas y otro tipo de conservas. El inicio del desarrollo de las yemas se presenta desde la primera semana de noviembre hasta la primera semana de febrero aproximadamente; la aparición del órgano floral ocurre durante la segunda semana de septiembre y se prolonga hasta principios de febrero. La fase de floración se presenta aproximadamente en las primeras semanas de noviembre; sin embargo, ésta fecha se ha ido adelantando cada año y finaliza aproximadamente durante la última semana de febrero; con una duración de 103 días en promedio. La formación del fruto ocurre desde la última semana de enero hasta principios de junio y se sincroniza con la fase de maduración del fruto, de la cual no se puede inferir una fecha de inicio; sin embargo, finaliza durante la última semana de junio, para dar paso a la fase de senescencia que inicia aproximadamente entre la última semana de junio y la primera semana de agosto y al igual que la fase de floración esta fecha se ha ido adelantando cada año aproximadamente 16 días; esta fase finaliza entre noviembre y diciembre y tiene una duración aproximada de 147 días (Figura 4.7).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

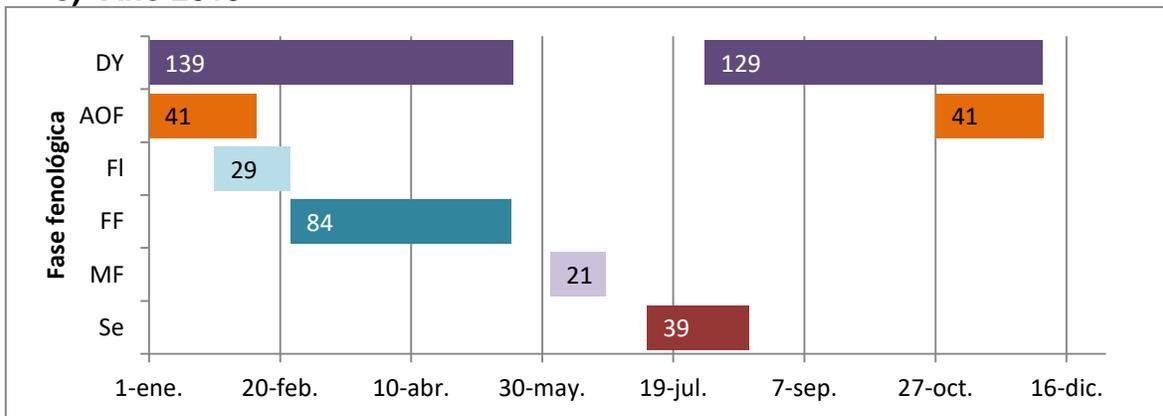
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

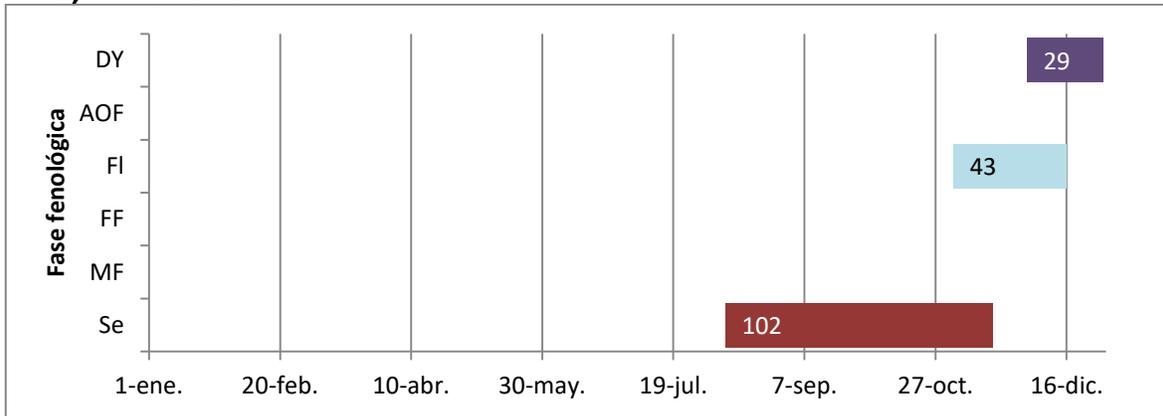


DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia

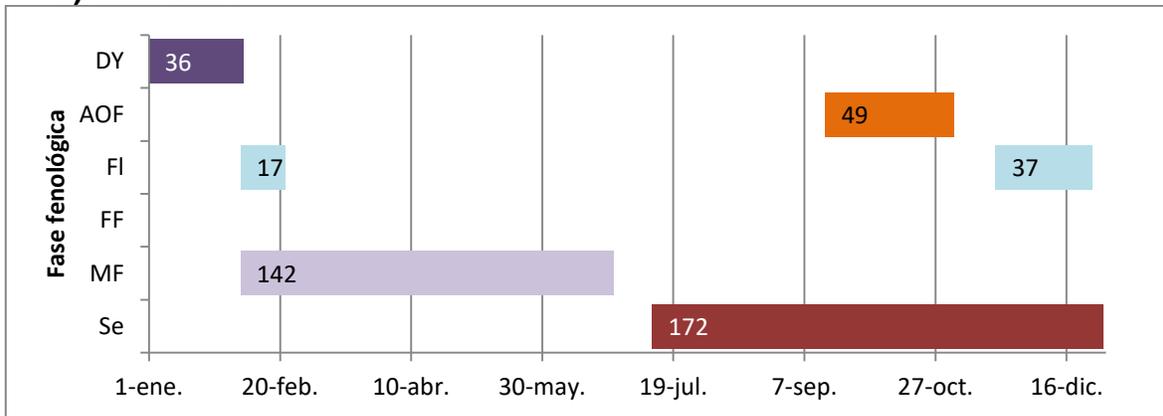
Figura 4. 6 Calendario fenológico por año de la especie ciruela andrina roja (*Prunus domestica*) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

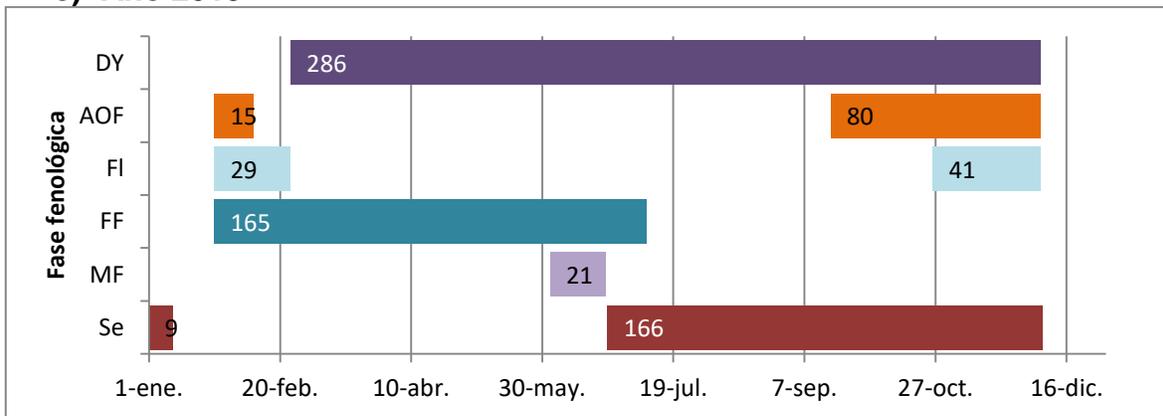
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia

Figura 4. 7 Calendario fenológico por año de la especie durazno (*Prunus persica* (L.) Stokes) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

4.2.4 Manzana roja (*Malus sp.*)

El desarrollo de las yemas ocurre desde la segunda semana de marzo y hasta la primera semana de junio con una duración promedio de 80 días. La aparición del órgano floral ocurre desde la primera semana de abril hasta la segunda semana de mayo. La floración se presenta desde principios de noviembre y diciembre, hasta la segunda semana de enero; la fecha de inicio de ésta fase se ha ido adelantando desde el año 2013 al 2015.

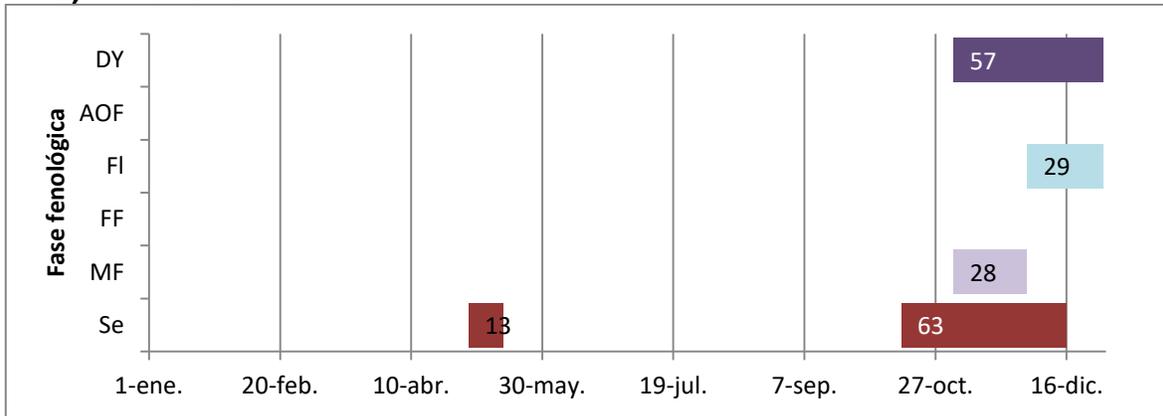
La formación del fruto se presenta desde finales de mayo hasta junio y finaliza en la segunda semana de julio, mientras que la formación del fruto se presenta durante el mes de julio sin poder inferir correctamente su fecha de inicio y fin. Finalmente la fecha de inicio de la senescencia se ha adelantado cada año iniciando en 2013 en el mes de octubre y en junio en el año 2014, el fin de esta fenofase generalmente ocurre a finales de noviembre e inicios de diciembre y su duración promedio es de 85 días (Figura 4.8).

4.2.5 Manzana (*Malus sp.*)

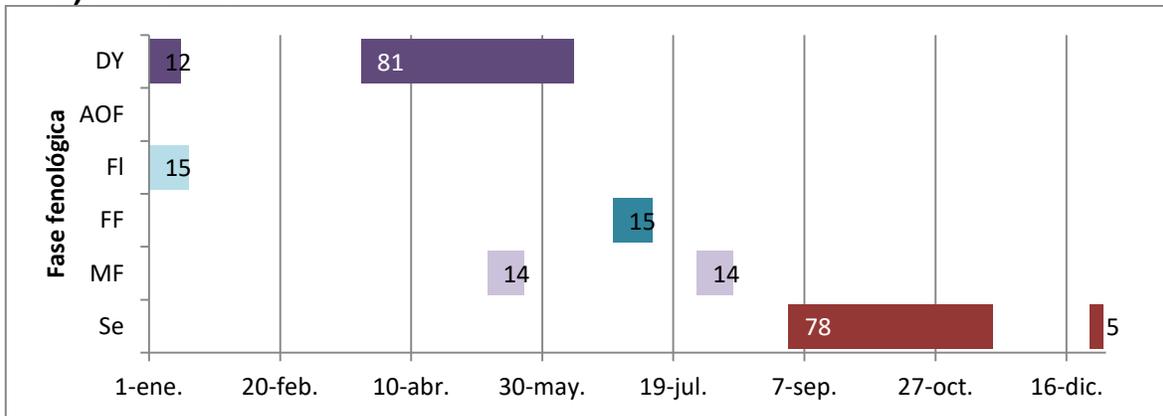
El desarrollo de las yemas en esta especie se ha ido adelantando cada año, ya que comenzaba en la segunda semana de agosto en el año 2013 y en el año 2015 se registró su inicio durante la primera semana de agosto, respecto a la fecha del fin de esta fase es probable que ocurra en el mes de febrero. La aparición del órgano floral ocurre desde la primera semana de noviembre y hasta la primera semana de febrero, mientras que la floración se presenta desde la última semana de febrero hasta la tercera semana de julio.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

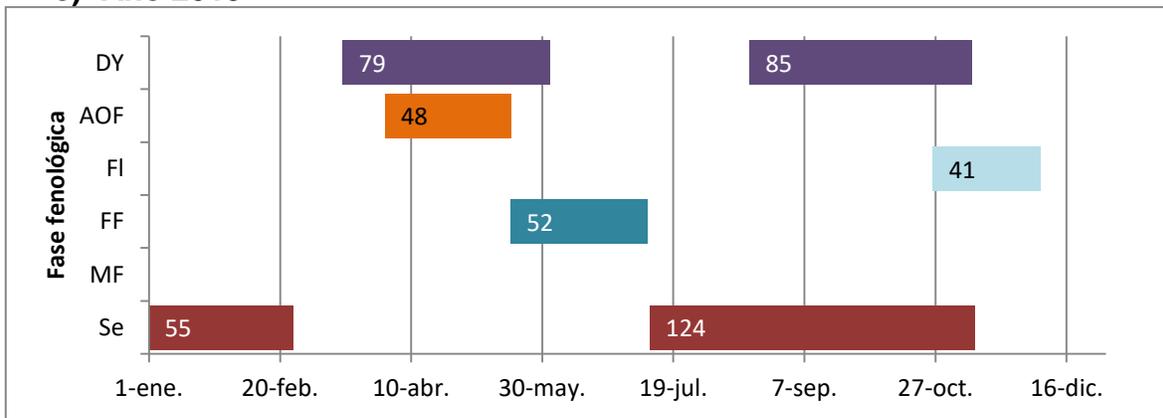
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia

Figura 4. 8 Calendario fenológico por año de la especie manzana roja (*Malus sp.*) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

La fase de formación del fruto ocurre desde la última semana de abril hasta la segunda semana de junio; por otro lado, la maduración del fruto se presenta aproximadamente desde la primera semana de mayo hasta la última semana de julio. Finalmente, la fase de senescencia aunque se ha ido adelantando cada año, generalmente se presenta en el mes de agosto y finaliza en la segunda semana de diciembre en promedio y tiene una duración de aproximadamente 120 días (Figura 4.9).

En esta especie se reportó la presencia de plagas en los años 2013 y 2015, las cuales se presentaron desde la última semana de mayo, hasta la primera semana de octubre.

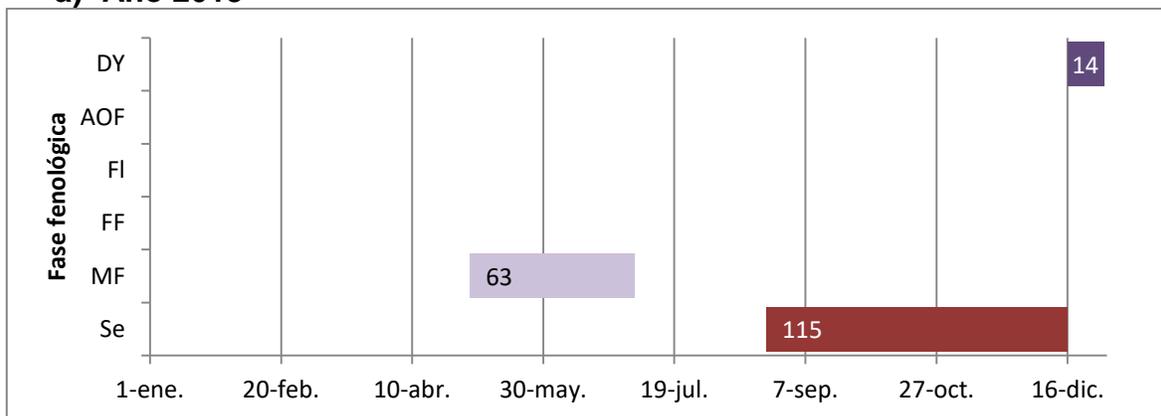
4.2.6 Pera (*Pyrus* sp.)

En esta especie, el desarrollo de las yemas ocurre a finales de diciembre y se extiende hasta el mes de junio aproximadamente, mientras que la floración ocurre en el mes de marzo. La fase de formación del fruto se presenta a partir de la última semana del mes de junio y hasta la primera semana del mes de septiembre.

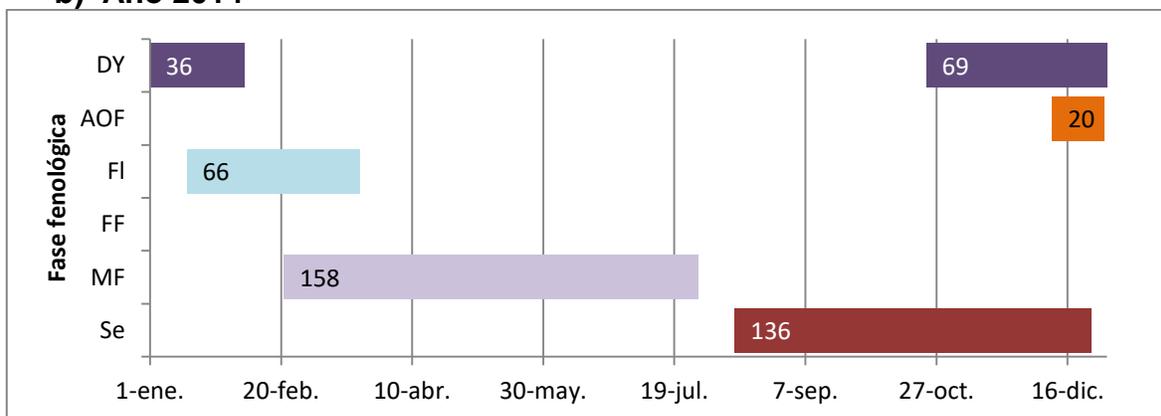
La fase de senescencia, también ha presentado un adelanto anual; mientras que en 2013 iniciaba en la primera semana de noviembre, en el año 2015, ésta se presentó en la segunda semana de julio; en general, los registros indican que el fin de esta fase ocurre en el mes de enero (Figura 4.10).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

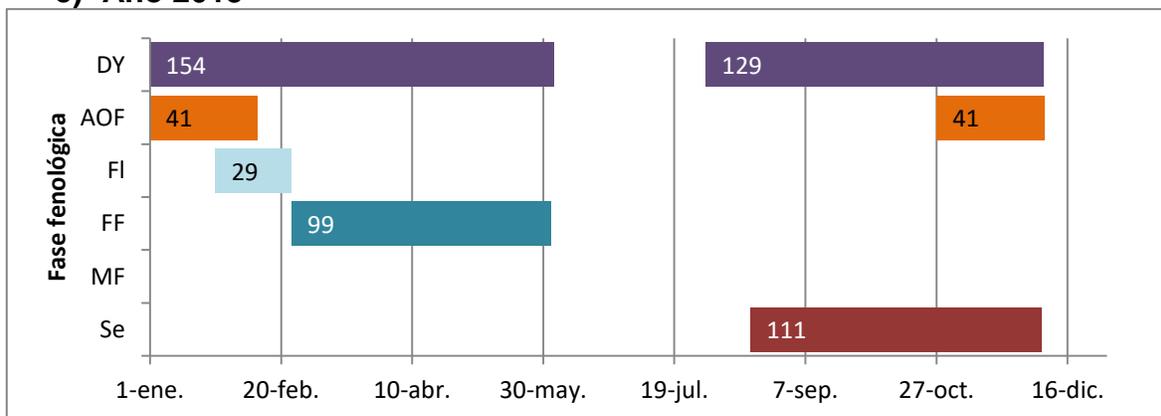
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

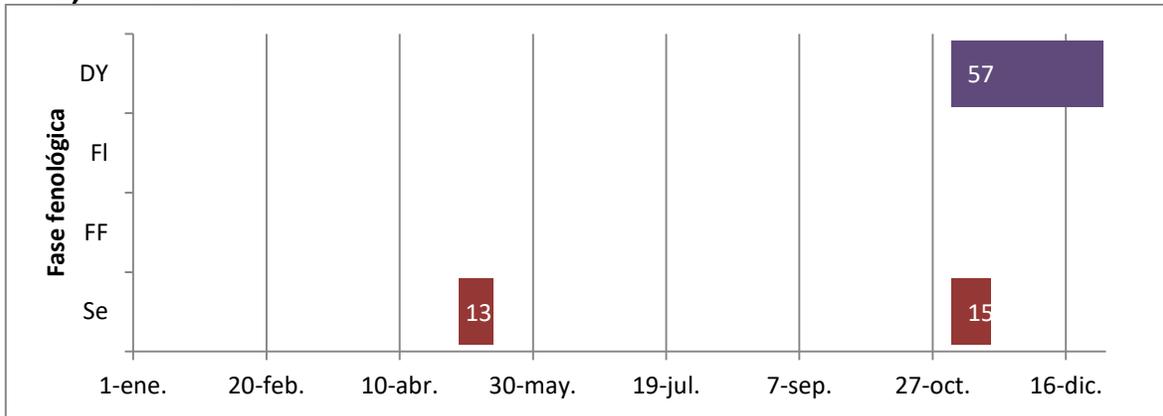


DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia

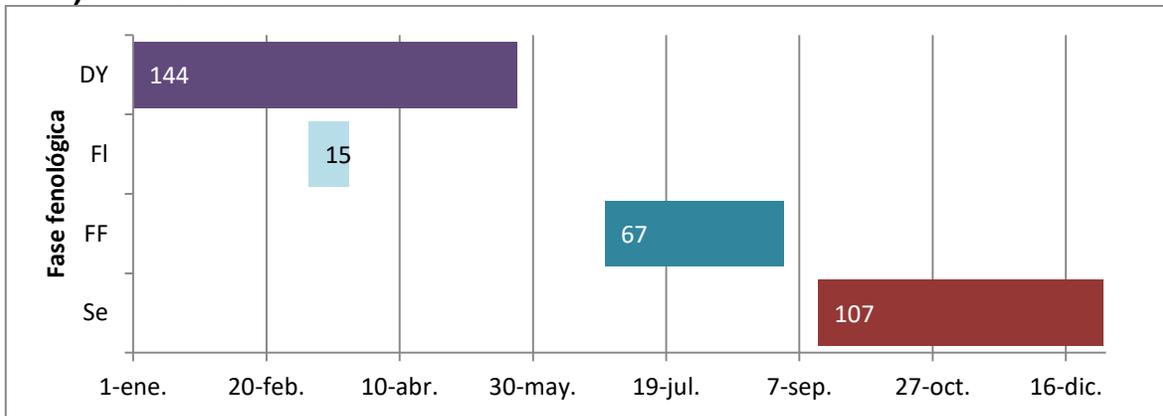
Figura 4. 9 Calendario fenológico por año de la especie manzana (*Malus sp.*) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

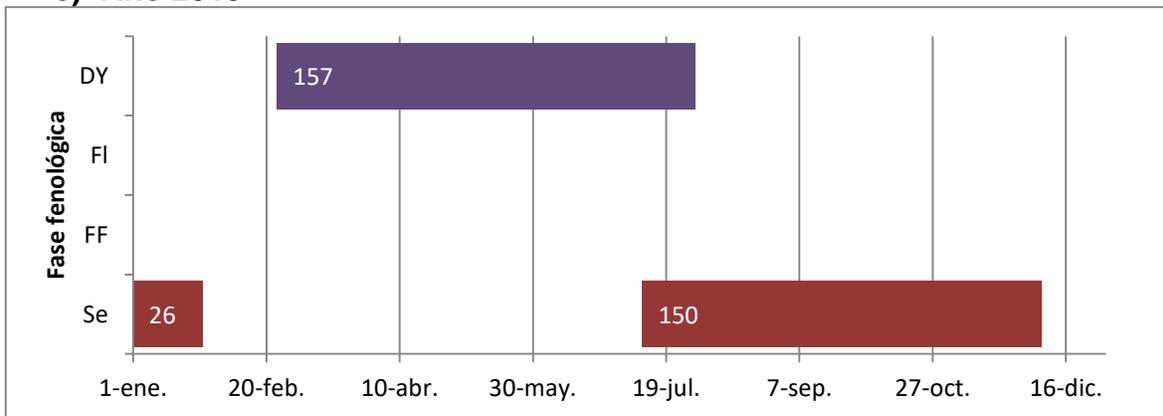
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DY: desarrollo de las yemas FI: floración FF: formación del fruto Se: senescencia

Figura 4. 10 Calendario fenológico por año de la especie pera (*Pyrus* sp.) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

4.3 Especies forestales

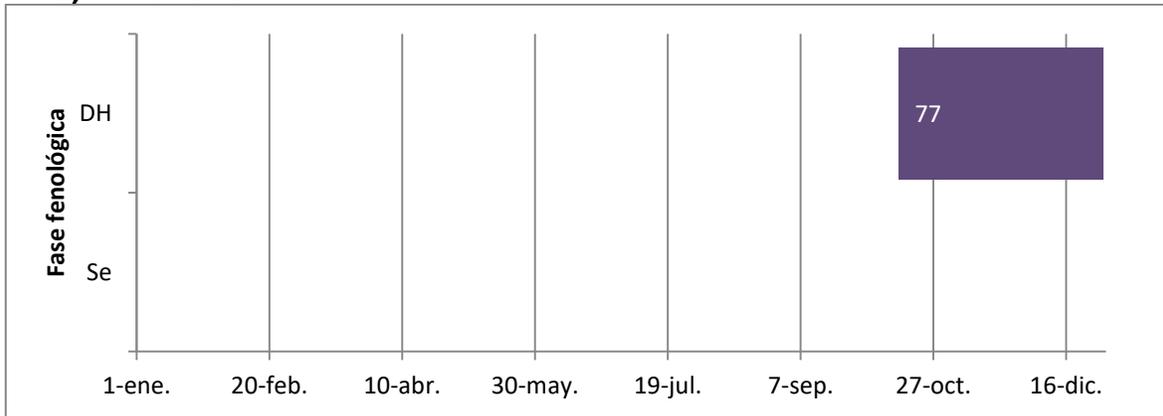
4.3.1 *Pinus pseudostrobus*

Esta especie fue monitoreada en dos sitios; en el centro de capacitación de Alternare, A.C. y en el paraje “Remunrreje”, perteneciente a la comunidad de Crescencio Morales. En el primer sitio, el desarrollo de las yemas se presenta a lo largo de casi todo el año; sin embargo, se puede inferir una fecha de inicio entre la segunda semana de agosto y la segunda semana de octubre; mientras que en el paraje “Remunrreje”, esta fase tiene una fecha de inicio aproximada en el mes de febrero y finaliza en el mes de agosto.

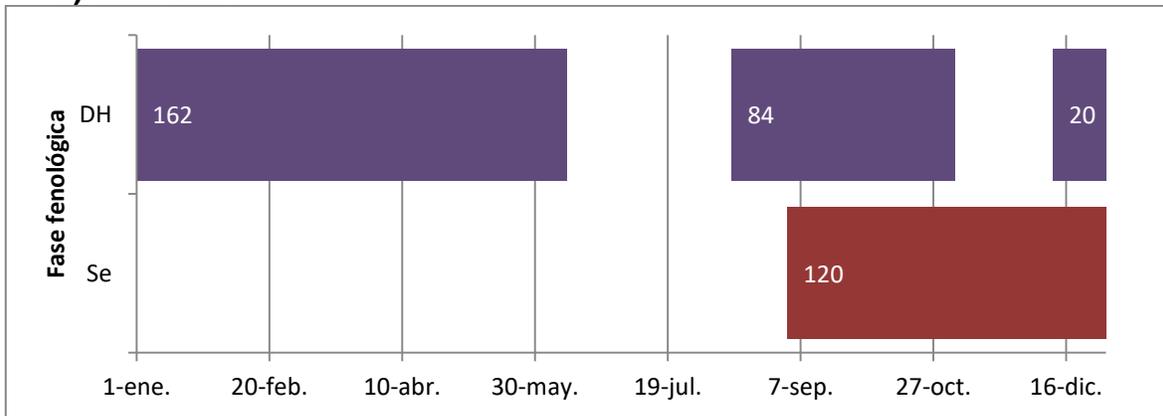
Solamente en el paraje “Remunrreje”, se registraron además las fases de floración desde la última semana de febrero y hasta la última semana del mes de junio, y la fase de maduración de frutos desde la última semana de julio hasta octubre. Finalmente en ambos sitios se registró la fase de senescencia y se estimó que coinciden en las fechas de inicio durante la última semana de agosto y la tercera semana de septiembre y de fin de la fenofase en la última semana del mes de febrero (Figura 4.11 y Figura 4.12).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

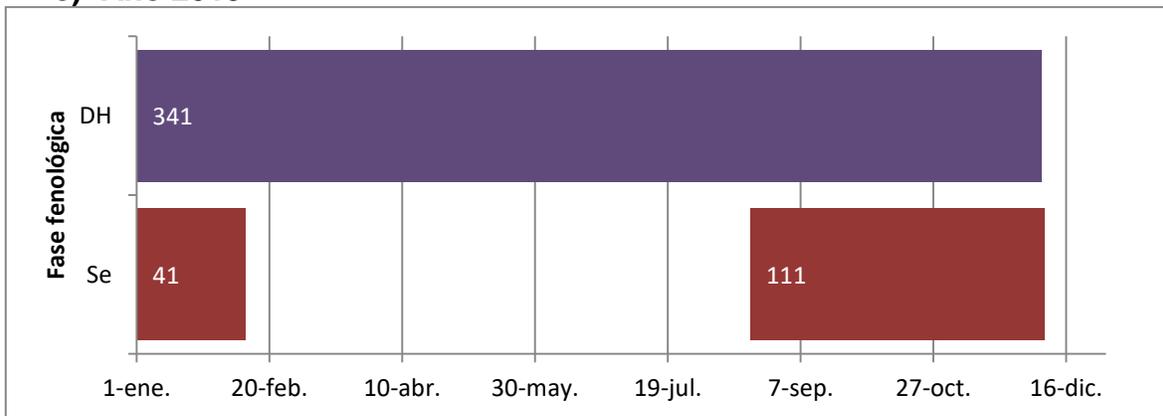
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

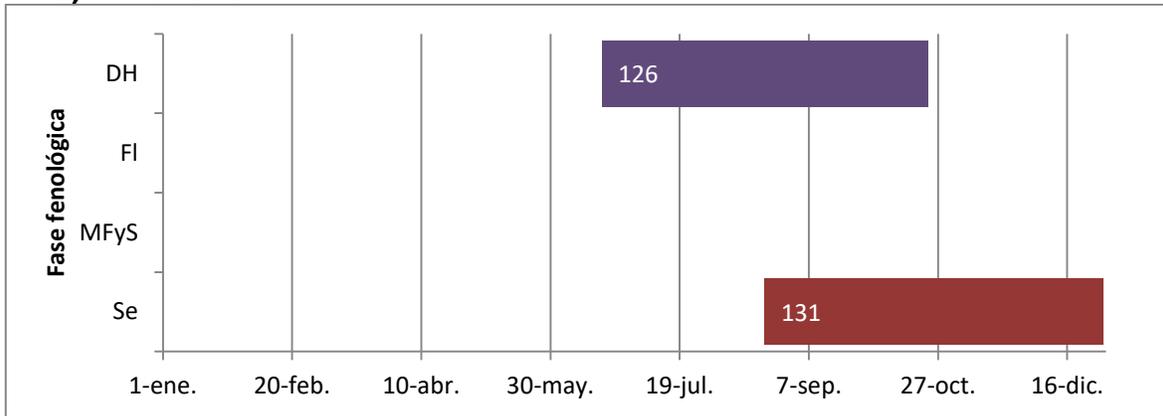


DH: desarrollo de las hojas Se: senescencia

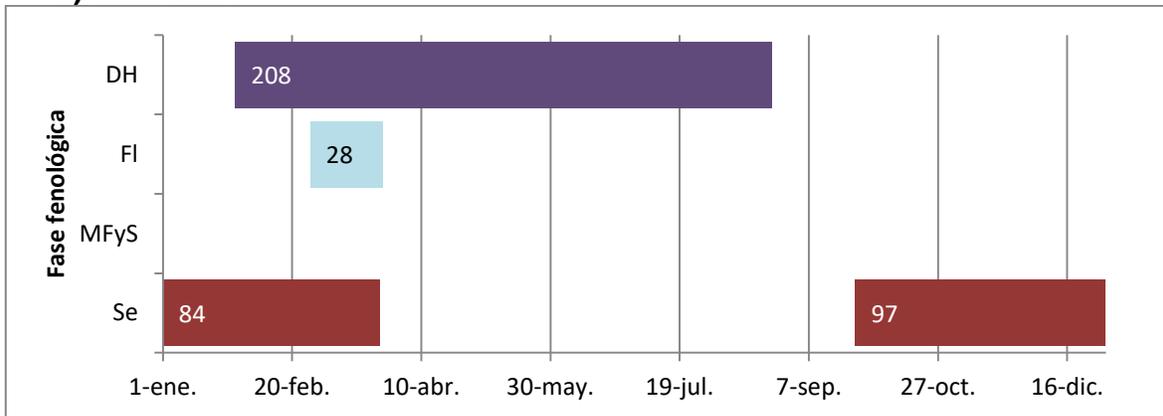
Figura 4. 11 Calendario fenológico por año de la especie pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) en el centro de capacitación de Alternare A.C.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

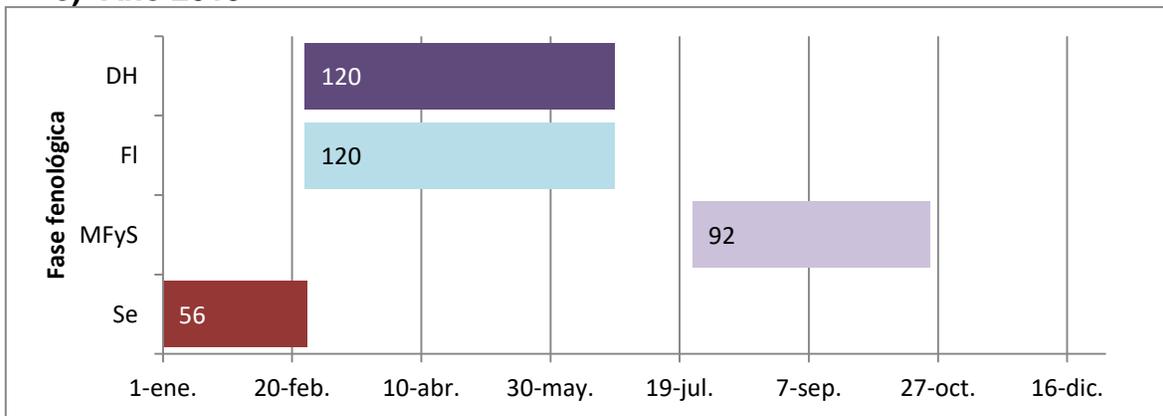
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

Figura 4. 12 Calendario fenológico por año de la especie pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl.) en el paraje "Remunrreje"

4.3.2 *Alnus acuminata* Kunth subsp. *Glabrata* (Fernald) Furlow

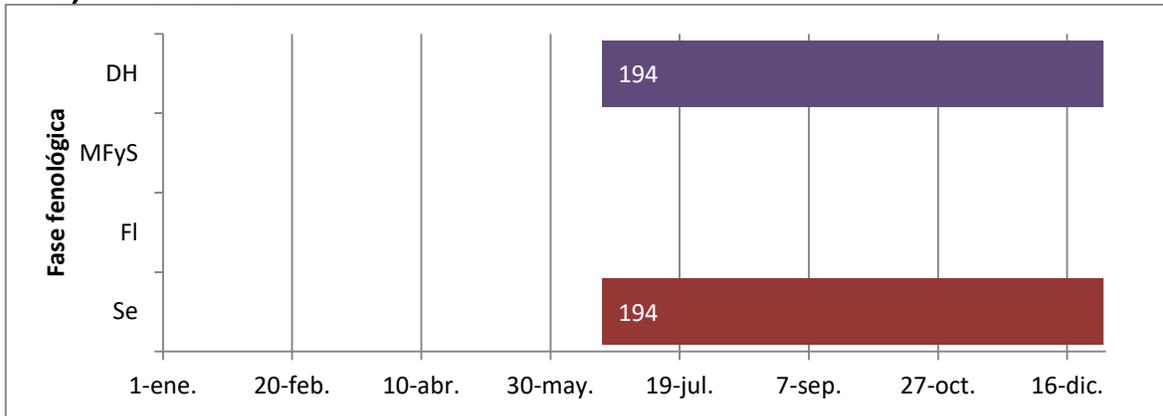
Esta especie fue monitoreada en dos parajes: el paraje “La Entrada” en la comunidad de Crescencio Morales, en donde se llevó a cabo el monitoreo de los ejemplares únicamente en los años 2013 y 2014 debido a que fueron talados poco después de iniciar con los registros y en el paraje “Pila de Marlen” en la comunidad de Donaciano Ojeda. En ambos sitios se reportó la presencia de muérdago (plaga) en todos los ejemplares a lo largo de los años 2013 y 2014.

La fase de desarrollo de las hojas en el paraje “La Entrada” inició después que en el paraje “Pila de Marlen”, en el primer sitio ocurrió en 2013 a partir de Agosto, mientras que en el segundo paraje inicia en el mes de junio, casi dos meses antes; mientras que la fecha de fin en el paraje “La Entrada” se presenta en el mes de octubre, en el paraje “Pila de Marlen” sigue presente durante más de un año y medio y no se puede establecer una fecha de fin precisa en los años 2013 y 2014; sin embargo, más adelante en ambos parajes coinciden las fechas de fin de esta fenofase en la última semana del mes de julio.

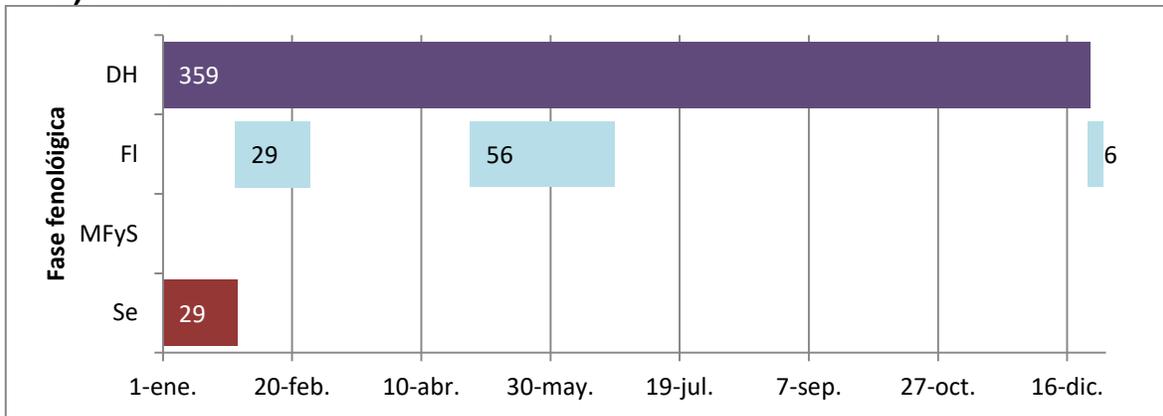
La fase de floración en ambos parajes se presenta en la última semana del mes de enero; mientras que en el paraje “La Entrada”, la fenofase de maduración de frutos y semillas se presenta en la última semana de enero y finaliza casi un mes después durante la última semana de febrero; en el paraje “Pila de Marlen” esta fase inicia durante la última semana de agosto y termina en la última semana de octubre. Finalmente la fase de senescencia se presenta en ambos sitios a partir de agosto y hasta finales de enero aproximadamente (Figura 4.13 y Figura 4.14).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

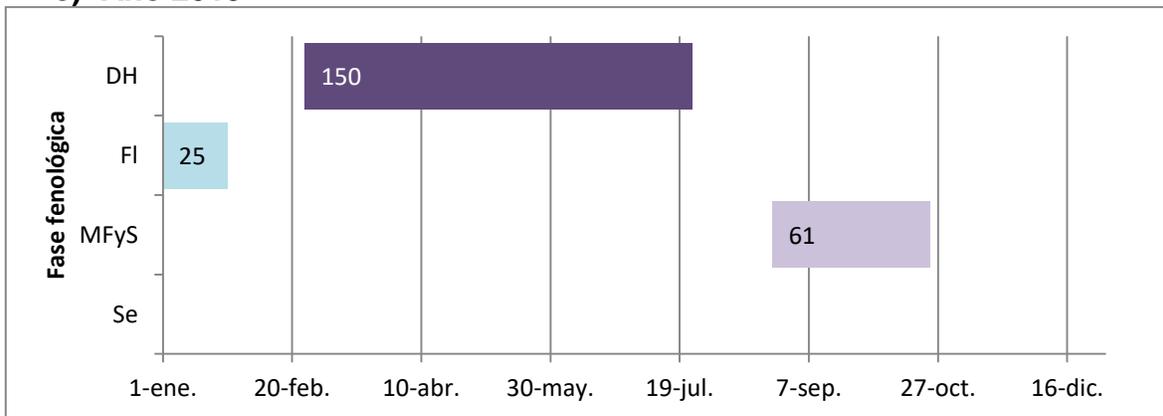
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

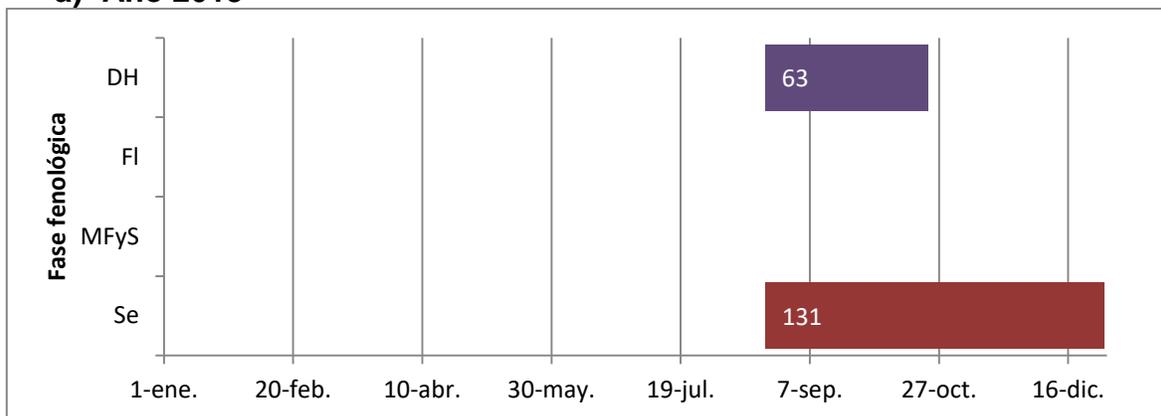


DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

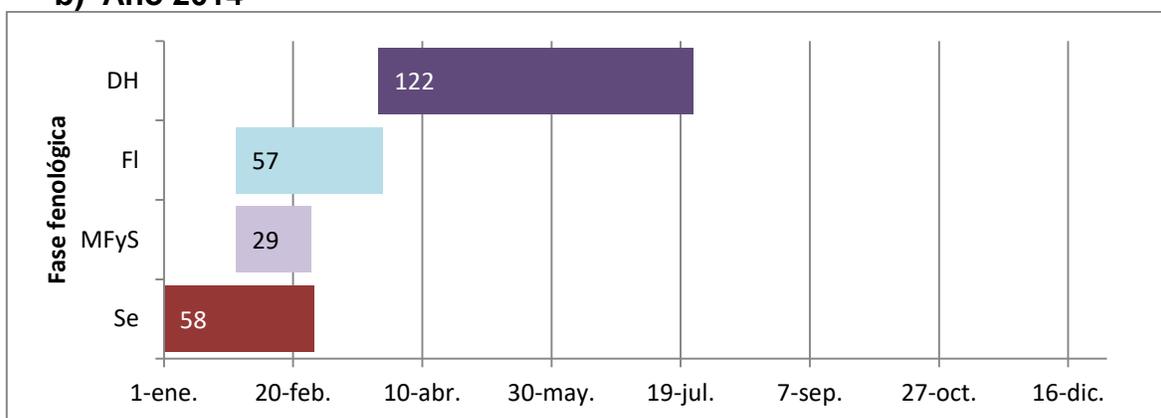
Figura 4. 13 Calendario fenológico por año de la especie *Alnus acuminata* Kunth subsp. *Glabrata* (Fernald) Furlow en el paraje "Pila de Marlen"

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

a) Año 2013



b) Año 2014



DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

Figura 4. 14 Calendario fenológico por año de la especie *Alnus acuminata* Kunth subsp. *Glabrata* (Fernald) Furlow., en el paraje “La Entrada”

4.3.3 *Pinus leiophylla* Schiede ex Schtdl. & Cham.

La especie *Pinus leiophylla* se registró en los parajes “La Segundita” en la comunidad de Donaciano Ojeda y en el paraje “Xorejé” en la comunidad de Francisco Serrato.

La fase de desarrollo de las hojas en ambos sitios tiene una fecha de inicio similar, a partir de la última semana de junio y finaliza entre la última semana de julio y septiembre, a pesar de que el desarrollo de hojas está presente en la mayor parte del año.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

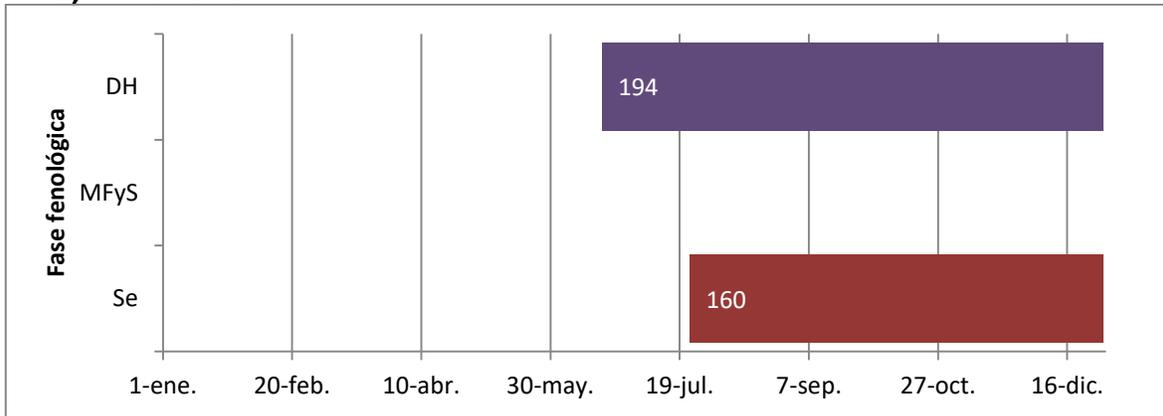
Por otro lado, la fase de floración únicamente se reportó en el paraje “Xorejé” con una fecha de inicio aproximada en la última semana de enero y finaliza durante la última semana de marzo; mientras que la fase de maduración de frutos sí se presentó en ambos parajes con un inicio aproximado de la última semana de julio y la última semana de agosto; aunque en el paraje “Xorejé” se presenta casi un mes después en comparación con el paraje “La Segundita”. Finalmente la fase de senescencia en el paraje “Xorejé” está presente a lo largo de todo el año, mientras que en el paraje “La Segundita” inicia entre los meses de julio a septiembre y finalizar en febrero, durante la última semana de este mes (Figura 4.15 y Figura 4.16).

4.3.4 *Quercus rugosa* Née.

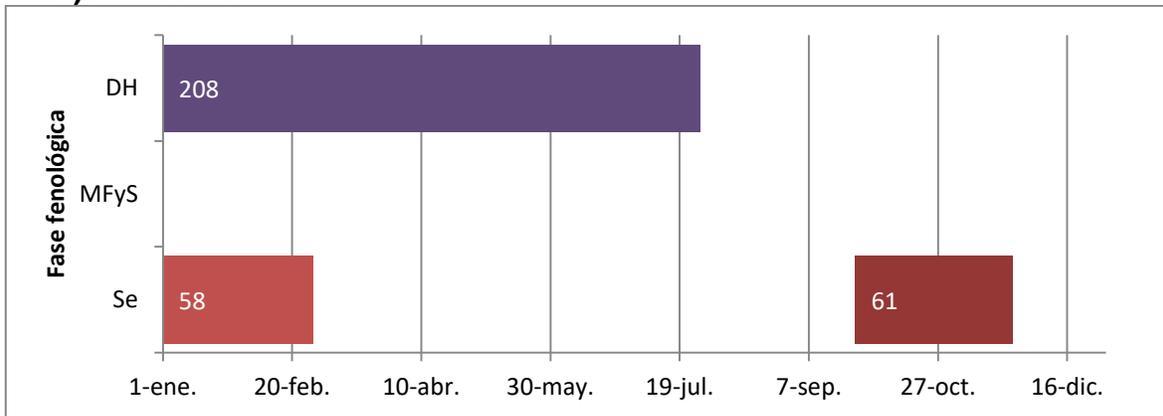
Esta especie se registró únicamente en el paraje “Tamejé” en la comunidad de Francisco Serrato. En esta especie se registró la presencia de plagas a partir de del otoño del año 2014 y hasta finales de enero de 2015. El desarrollo de las hojas en *Quercus rugosa* está presente en gran parte del año, se puede inferir como fecha de inicio a partir de la última semana de enero y de fin la última semana de agosto. En cuanto a la fase de floración, inicia a partir de la última semana de febrero y finalizar en el mes de mayo; así mismo presenta una sincronización con la fase de desarrollo de las hojas. Finalmente la senescencia se presenta a partir de la última semana de septiembre y noviembre o durante los meses de otoño y finaliza en el mes de marzo (Figura 4.17).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

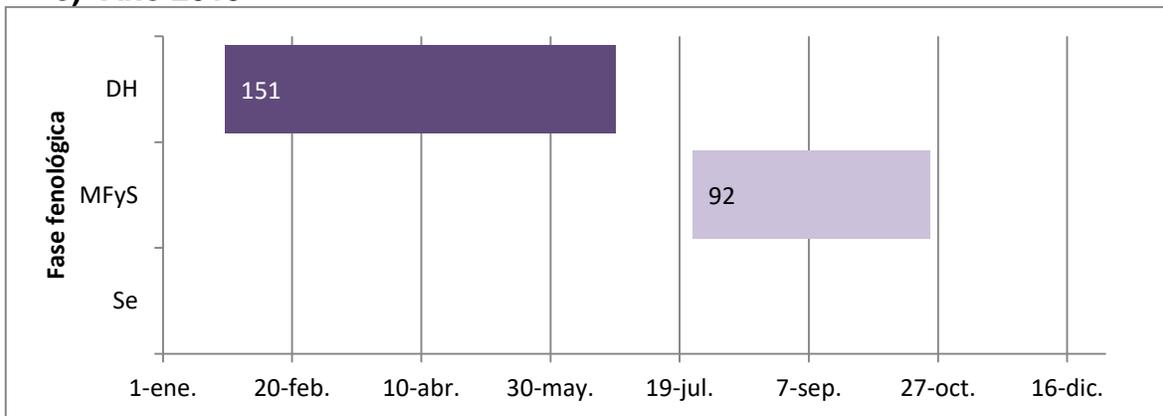
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

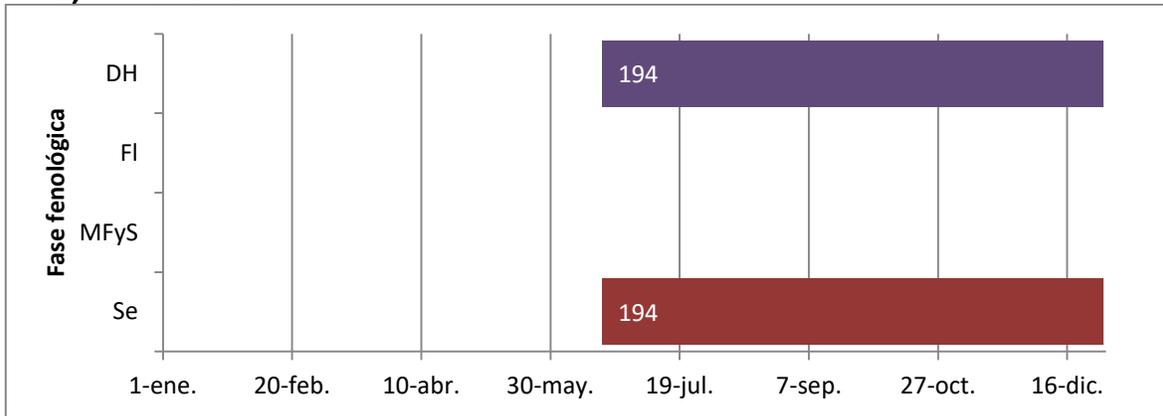


DH: desarrollo de las hojas MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

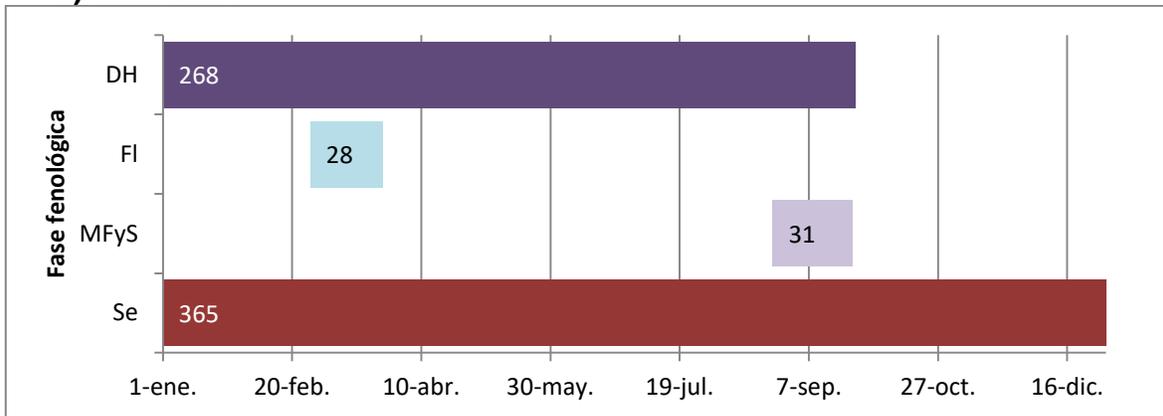
Figura 4. 15 Calendario fenológico por año de la especie *Pinus leiophylla* Schiede ex Schtdl. & Cham., en el paraje “La Segundita”.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

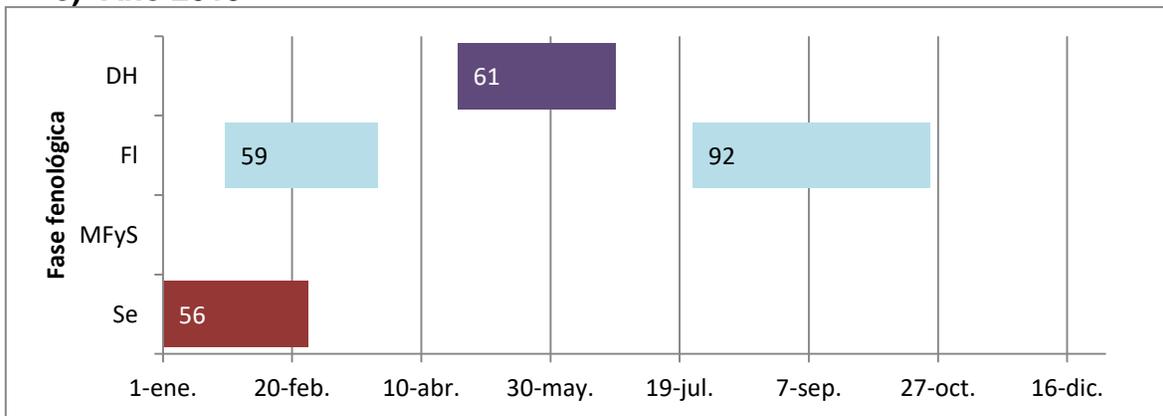
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

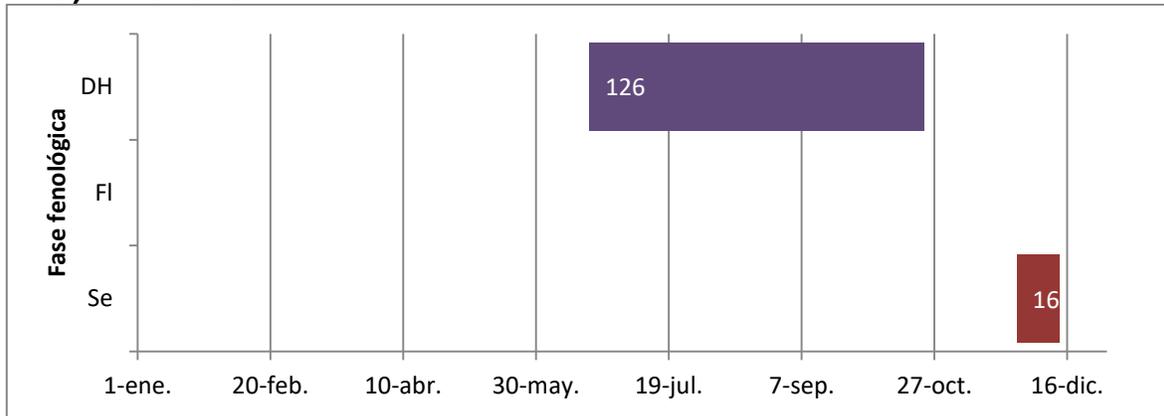


DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia

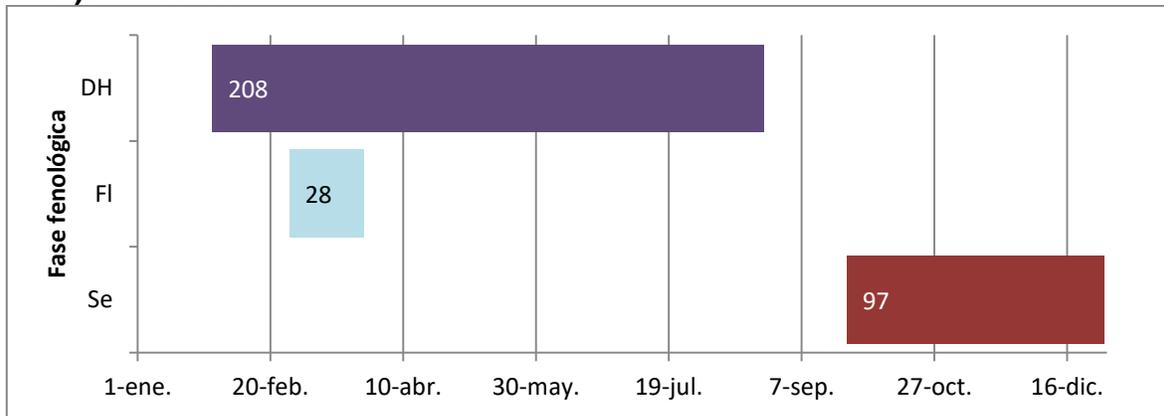
Figura 4. 16 Calendario fenológico por año de la especie *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. en el paraje "Xorejé"

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS

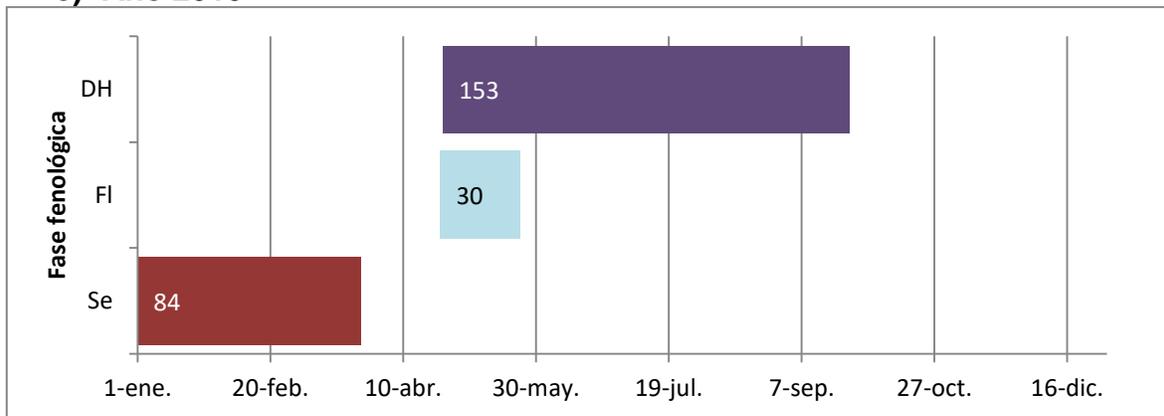
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



DH: desarrollo de las hojas FI: floración Se: senescencia

Figura 4. 17 Calendario fenológico por año de la especie *Quercus rugosa* Née., en el paraje “Tamejé”.

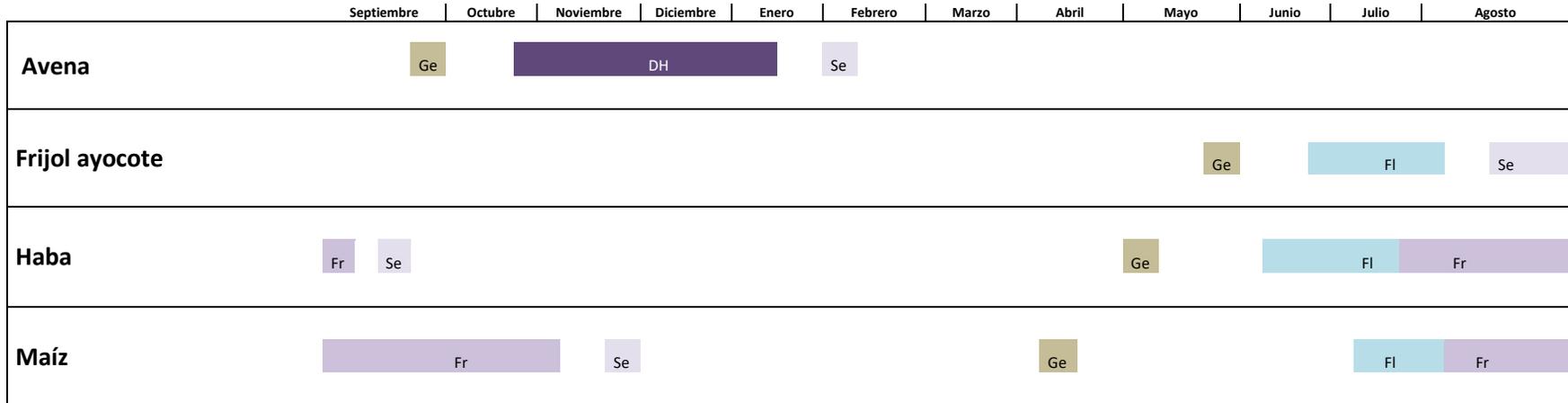
4.4 Resumen fenológico anual

Con base en toda la información fenológica recabada en campo durante los tres años de monitoreo, se realizaron los calendarios fenológicos anuales por especie que muestran las fechas promedio en la que se presentan las principales fases fenológicas de las especies monitoreadas en el centro de capacitación de Alternare, A.C. y en los sitios de monitoreo del agua.

En términos generales, las figuras 4.18, 4.19 y 4.20 muestran el desarrollo fenológico de las especies monitoreadas en el centro de capacitación Alternare, A.C. y de las especies presentes en los sitios de monitoreo del agua a lo largo de un año respectivamente.

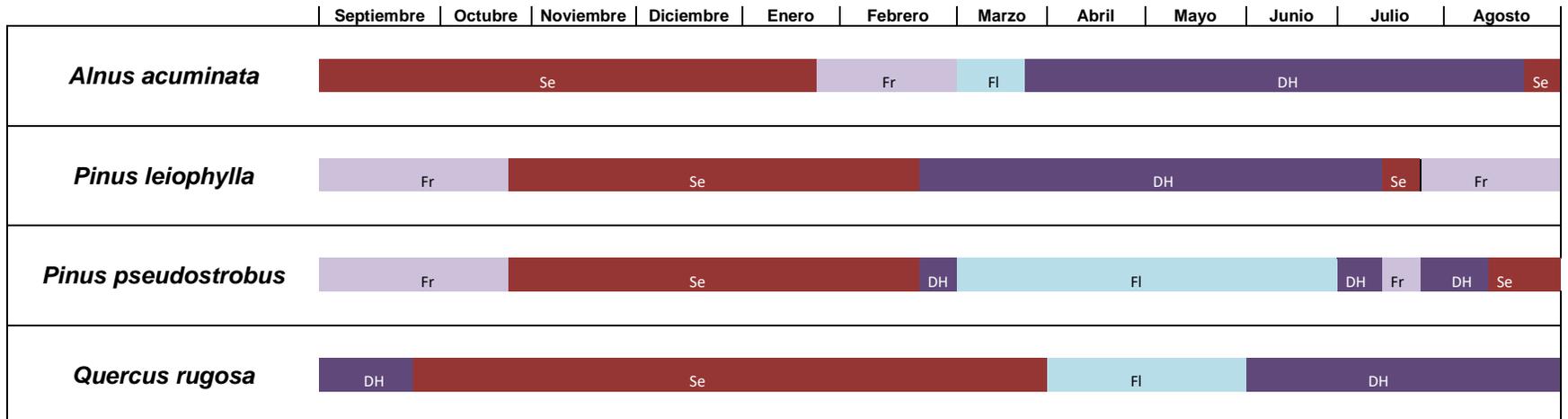
En el caso de los cultivos se seleccionaron las fenofases de: germinación senescencia, floración, fructificación y desarrollo de las hojas para ser representadas; en el caso de los frutales las fenofases representadas fueron: senescencia, floración, fructificación y desarrollo de las yemas; finalmente en el caso de las especies forestales las fenofases que se presentan en los calendarios son: senescencia, fructificación, floración y desarrollo de las hojas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS



Simbología: **Ge**: germinación; **DH**: desarrollo de las hojas; **FI**: Floración; **Fr** fructificación; **Se**: senescencia

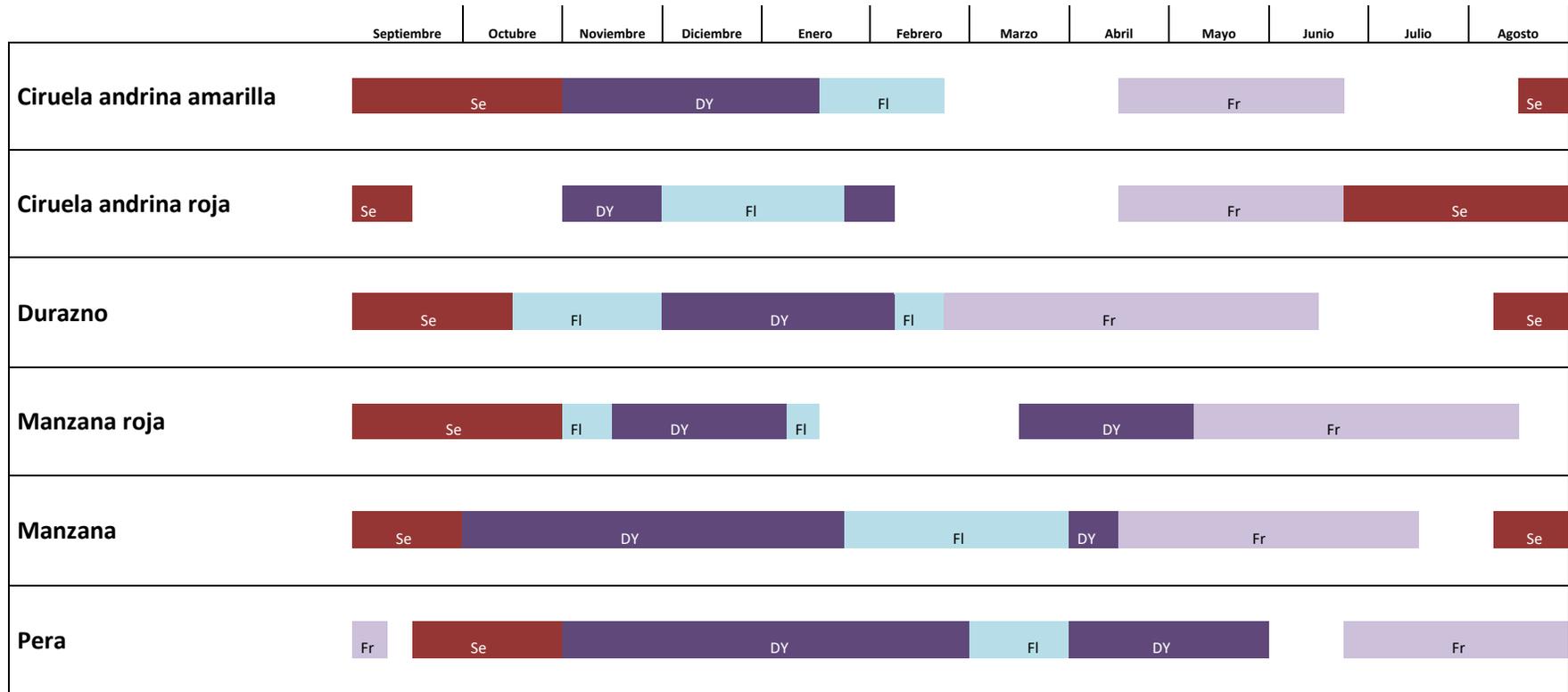
Figura 4. 18 Calendarios fenológicos generales para cultivos y cereales



Simbología: **DH**: desarrollo de las hojas; **FI**: Floración; **Fr** fructificación; **Se**: senescencia

Figura 4. 19 Calendarios fenológicos generales para las especies forestales

CAPÍTULO 4. RESULTADOS: CALENDARIOS FENOLÓGICOS



Simbología: **DY**: desarrollo de las yemas; **FI**: Floración; **Fr**: fructificación; **Se**: senescencia

Figura 4. 20 Calendarios fenológicos generales para frutales

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

5.1 Climatología de la parte norte de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca

5.1.1 Estación 16121 Senguio (2511 msnm)

Climatología histórica

En el caso de la estación Senguio, la temperatura máxima se presenta en el mes de mayo con valores de 28.1°C en promedio, mientras que la temperatura mínima en el mes de enero con 4.1°C en promedio. Las mayores precipitaciones se presentan en el mes de julio con 148.9 mm mensuales (Figura 5.1).

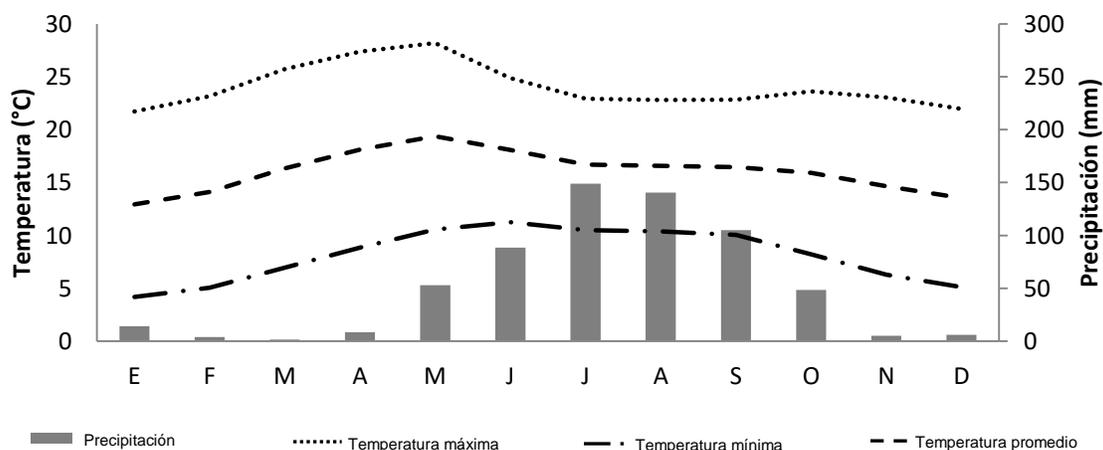


Figura 5. 1 Diagrama termopluviométrico de la estación Senguio (SMN)

5.1.2 Estación 16A03184 Llano de la Rosa (3255msnm)

Climatología histórica

En la estación llano de la Rosa, la temperatura máxima promedio se registra en el mes de abril con 16.6°C, respecto a la temperatura mínima esta se presenta en el

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

mes de enero con 2.1°C en promedio. Las mayores precipitaciones se registran en el mes de agosto con 263 mm en promedio (Figura 5.2).

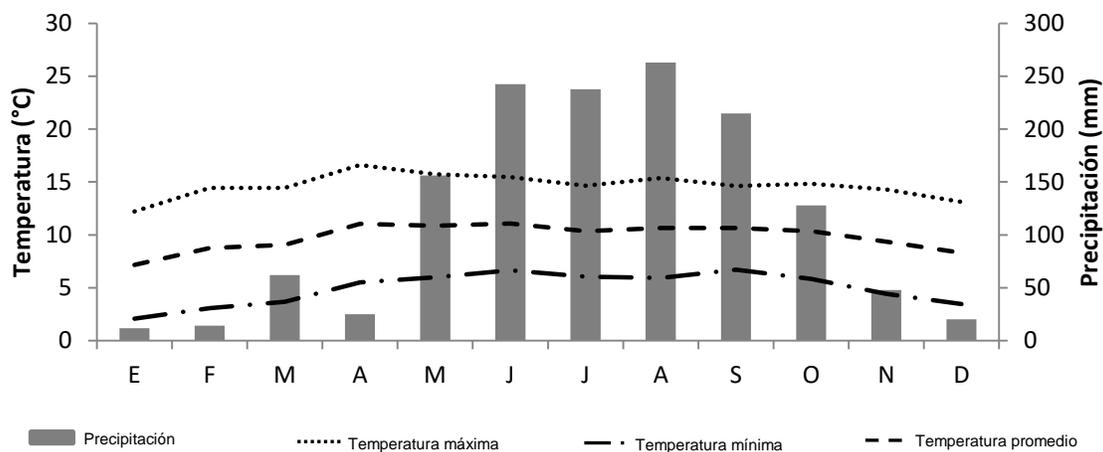


Figura 5. 2 Diagrama termopluiométrico de la estación Llano de la Rosa (CONANP)

Climatología anual 2013, 2014 y 2015

Durante el año 2013, las temperaturas máximas se registraron en el mes de abril con 17.4°C. Respecto a las temperaturas mínimas se presentan en el mes de enero con 2.4°C. Las mayores precipitaciones ocurrieron en el mes de septiembre con un promedio de 296.4 mm.

En el año 2014 al igual que en el año anterior, los valores más altos en las temperaturas máximas se registraron en el mes de abril con 16.6°C. Nuevamente los valores más bajos de las temperaturas, mínimas se registraron en el mes de enero con un valor de 1.3°C. Durante este año las mayores precipitaciones se presentaron en el mes de junio con 314.2 mm en promedio.

Finalmente en el año 2015, la temperatura máxima se presentó en noviembre con 15.9°C. Respecto a las temperaturas mínimas, estas se presentaron en el mes de enero como en los años anteriores con temperaturas de 2.4°C. Las mayores

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

precipitaciones en este año ocurrieron en el mes de agosto con 259.0 mm de promedio mensual (Figura 5.3).

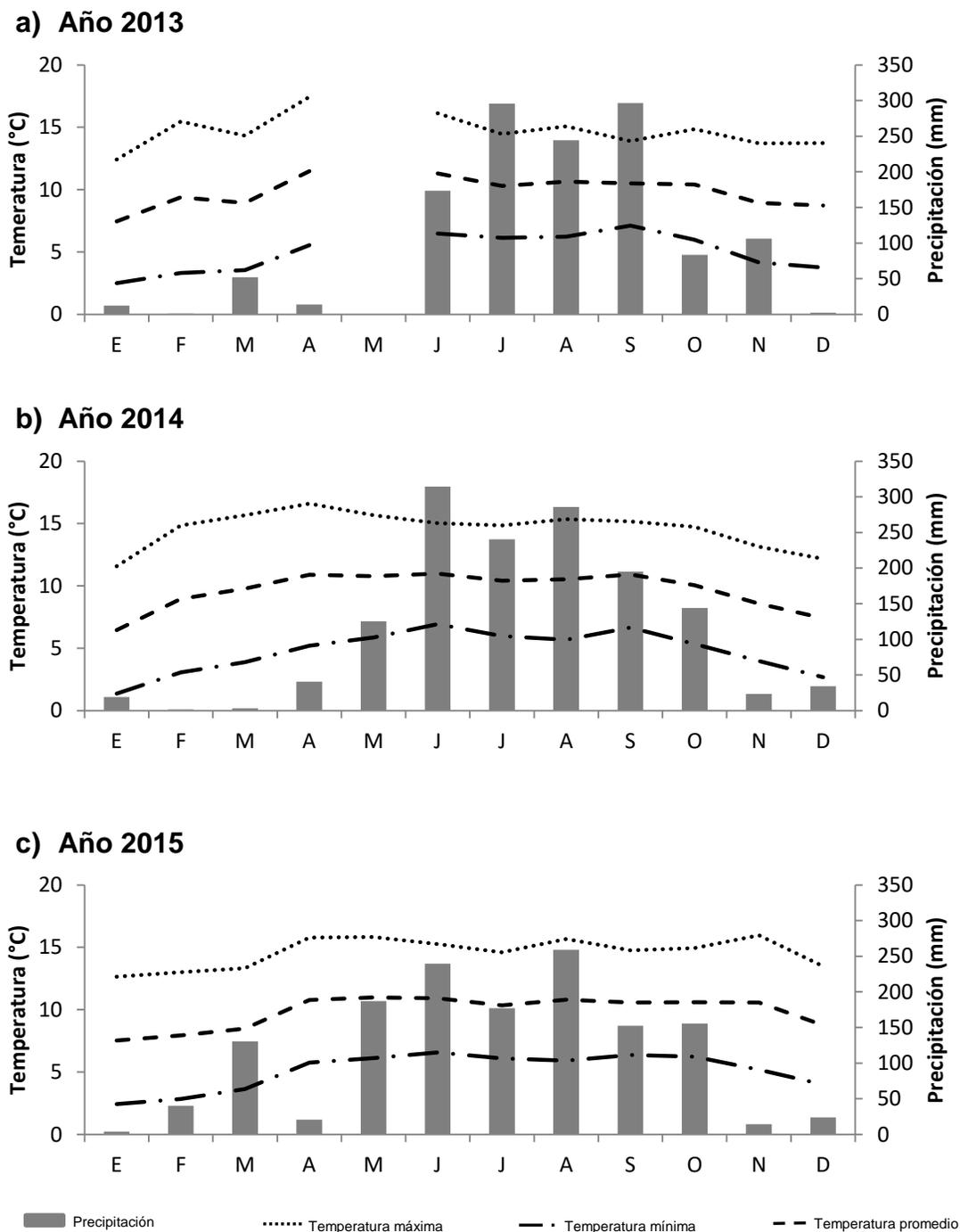


Figura 5. 3 Diagrama termopluviométrico anual de la estación Llano de la Rosa (CONANP)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Inicio y fin de la temporada de lluvias y periodo libre de heladas

De acuerdo con los registros de la estación Llano de la Rosa, la temporada de lluvias inicia aproximadamente en la segunda semana de junio y finaliza en la primera semana de noviembre; sin embargo, durante el año 2014, las precipitaciones se presentaron 24 días antes y finalizaron 12 días antes aproximadamente. La duración promedio de la temporada de lluvias en esta estación es de 130 días (Figura 5.4).

La duración promedio del periodo libre de heladas es de 305 días. El año 2014 se caracterizó por tener el periodo de tiempo más largo sin la presencia de heladas con una duración de 346 días. La última helada se presenta en esta estación durante la tercera semana de marzo, mientras que la primera se registra por lo general durante la primera semana de enero.

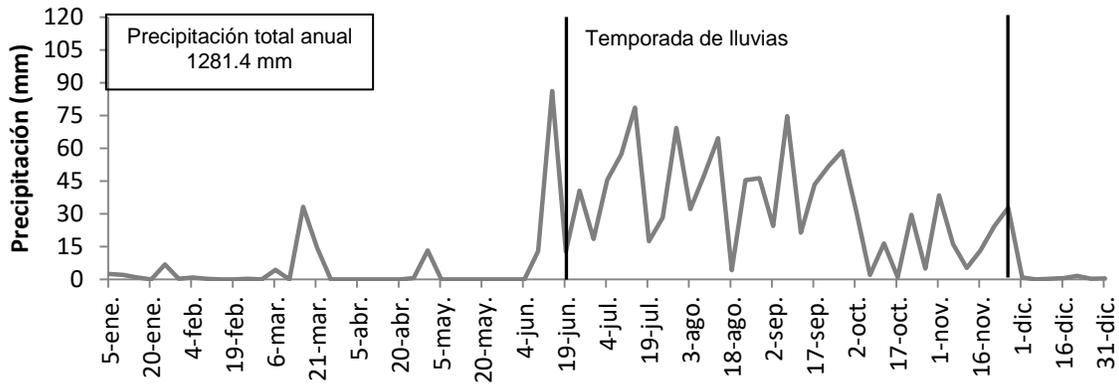
5.1.3 Estación automática Centro de capacitación Alternare, A.C.-CIGA, UNAM (2356msnm)

Climatología histórica

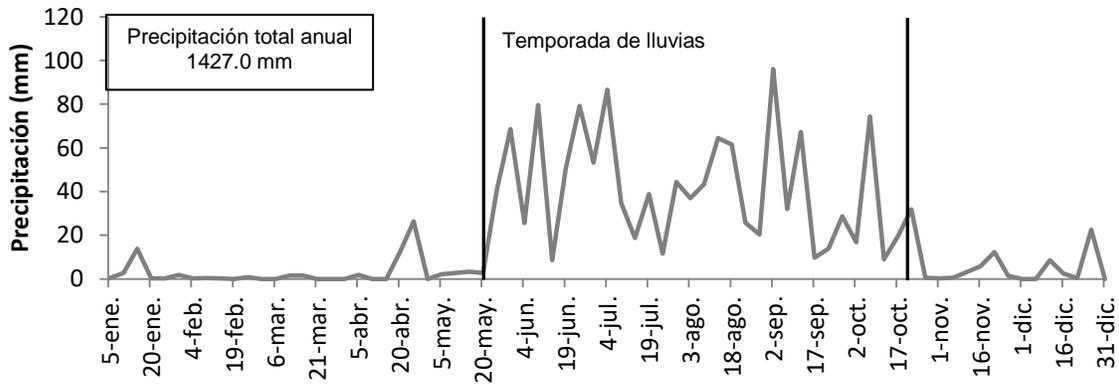
En la estación Alternare A.C. las temperaturas máximas promedio se presentan en abril con 27.4°C y las mínimas en el mes de febrero con 2.5°C. Las mayores precipitaciones ocurren en junio con un promedio de 222.3 mm mensuales (Figura 5.5).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

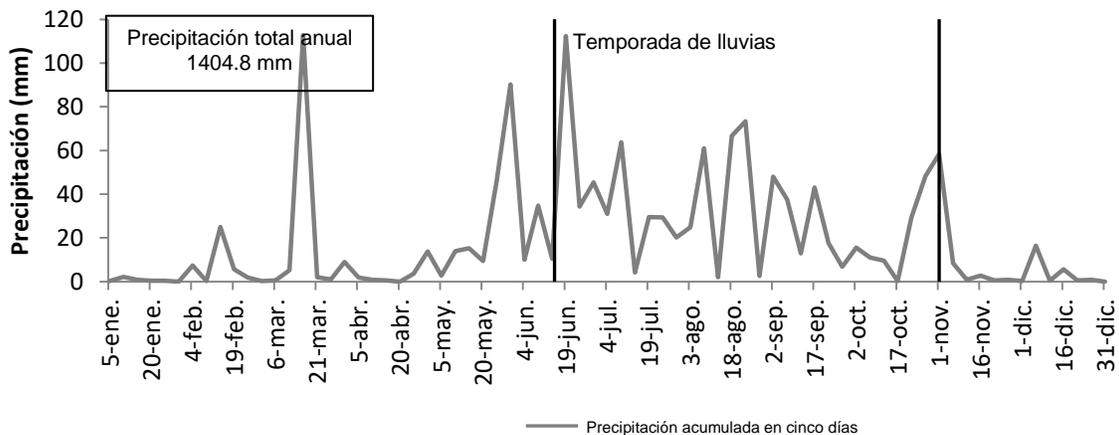


Figura 5. 4 Precipitación acumulada en un periodo de 5 días en la estación Llano de la Rosa

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

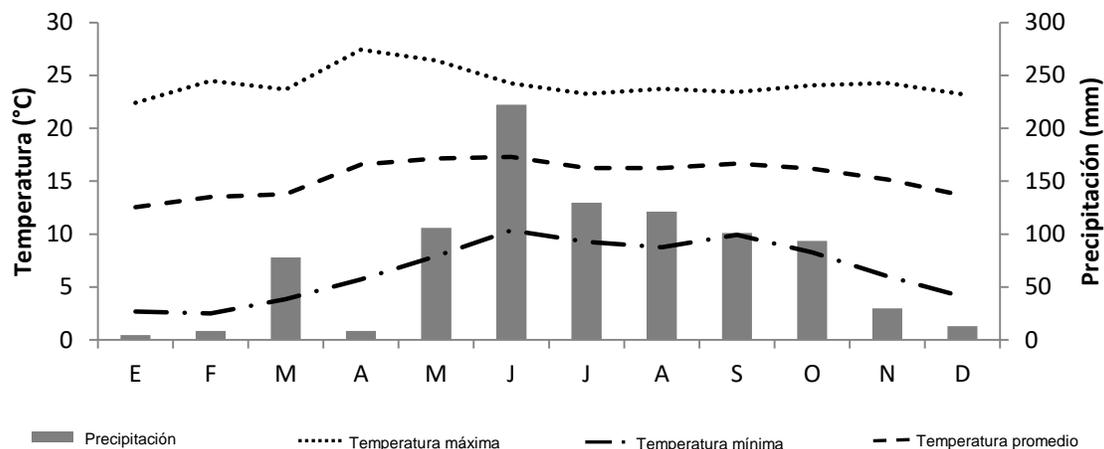


Figura 5. 5 Diagrama termopluiométrico de la estación Alternare, A.C.

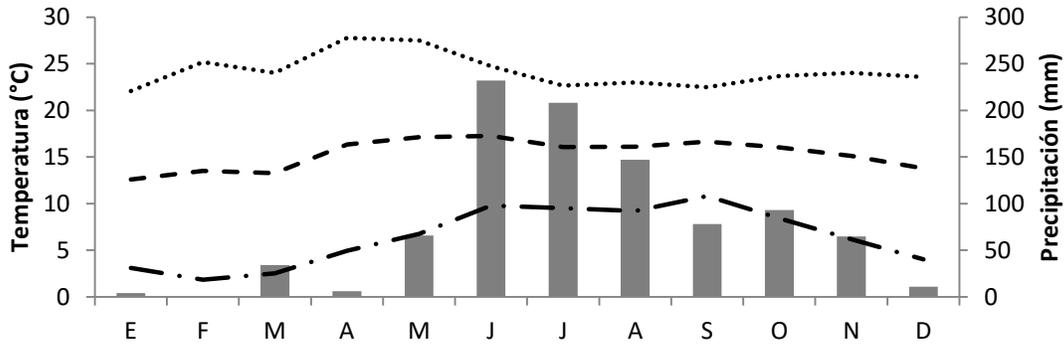
Climatología anual 2013, 2014 y 2015

Para esta estación, los valores más altos de las temperaturas máximas se registran en el mes de abril; para los años 2013, 2014 y 2015 estos valores fueron de 27.8, 28.2 y 26.3°C respectivamente. Las temperaturas mínimas registradas en el año 2013 se presentaron en febrero con 1.8°C, mientras que en los años 2014 y 2015 estos valores ocurrieron en enero con 2.0 y 3.0°C respectivamente.

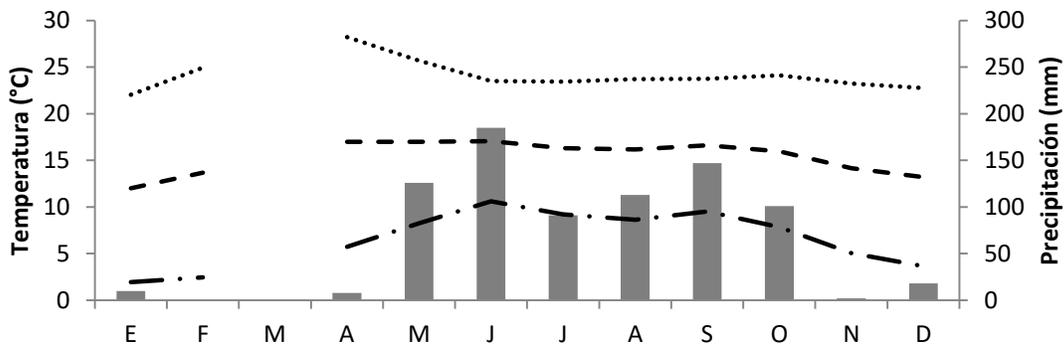
Respecto a los valores máximos de lluvia, las precipitaciones más intensas se presentaron durante en el mes de junio durante los tres años de registro; en el año 2013 este valor fue de 232.0 mm, en el año 2014 fue de 185.0 mm y en el año 2015 se registraron 250.0 mm mensuales promedio (Figura 5.6).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

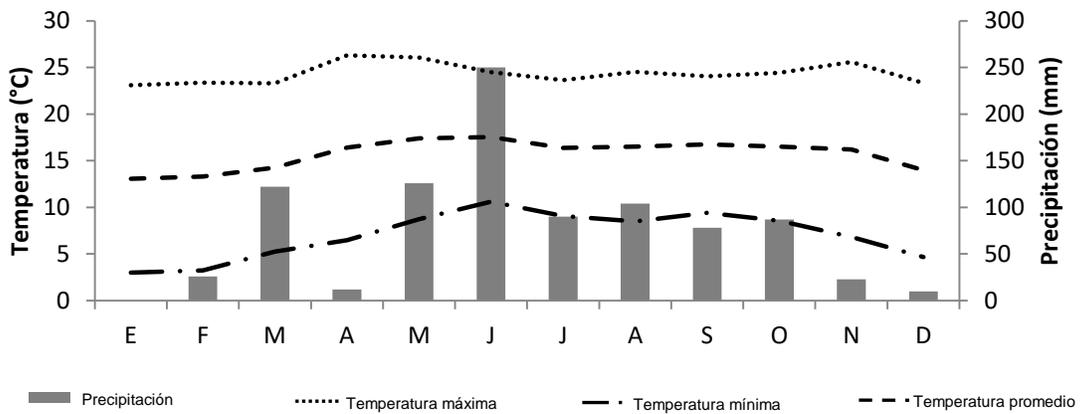


Figura 5. 6 Diagrama termopluiométrico anual de la estación Alternare, A.C.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Inicio y fin de la temporada de lluvias y periodo libre de heladas

La temporada de lluvias para esta estación tiene una duración promedio de 164 días e inicia aproximadamente durante la tercera semana de mayo y finaliza en noviembre durante las dos primeras semanas de este mes (Figura 5.7).

En cuanto al periodo libre de heladas, la última helada se presenta en el mes de febrero durante la segunda semana de este, mientras que la primera helada se presenta por lo general en febrero del siguiente año durante la primera semana de este mes. La duración promedio del periodo libre de heladas para esta estación es de 346 días.

5.2 Climatología de la parte centro de la Reserva de la Biosfera

Mariposa Monarca

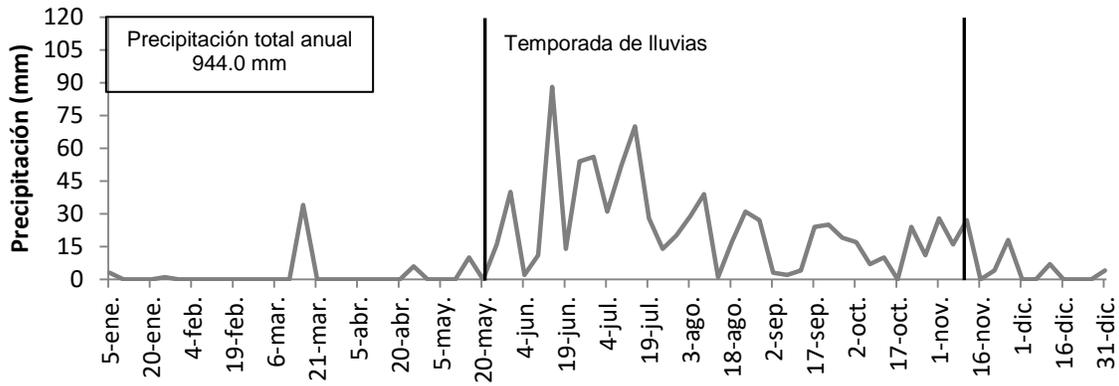
5.2.1 Estación 16036 El Bosque, Zitácuaro (1750msnm)

Climatología histórica

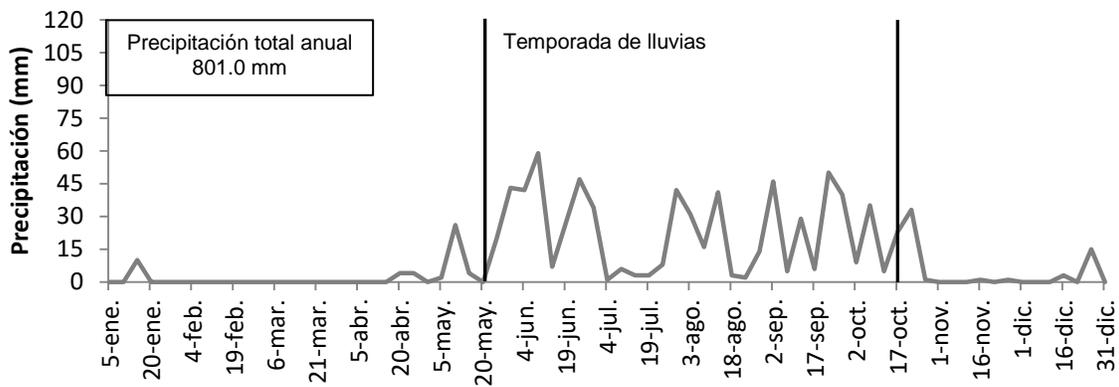
Para la estación El Bosque, las temperaturas máximas promedio se presentan en el mes de abril con 28.4°C, mientras que las mínimas se presentan en el mes de enero con valores de 9.2°C. Las mayores precipitaciones se presentan en julio con 182.8 mm en promedio (Figura 5.8).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

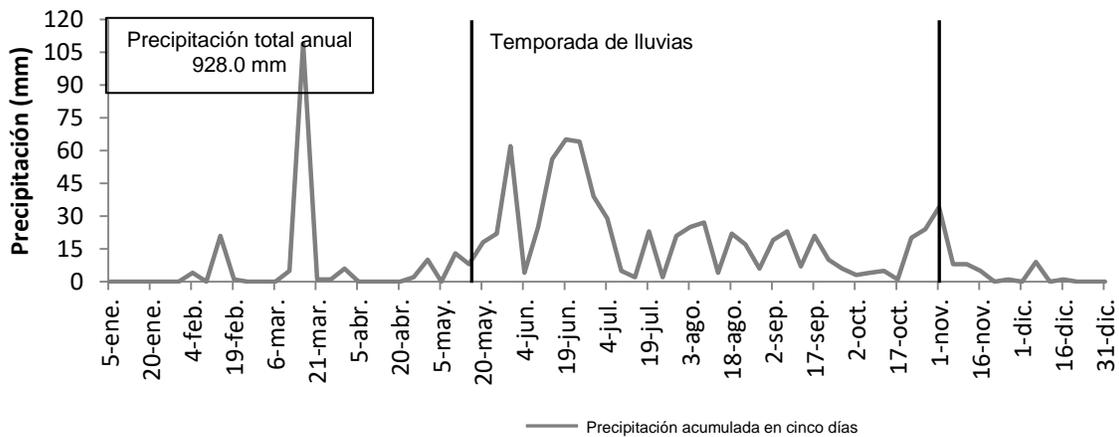
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015



. **Figura 5. 7** Precipitación acumulada en un periodo de 5 días en la estación Alternare, A.C.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

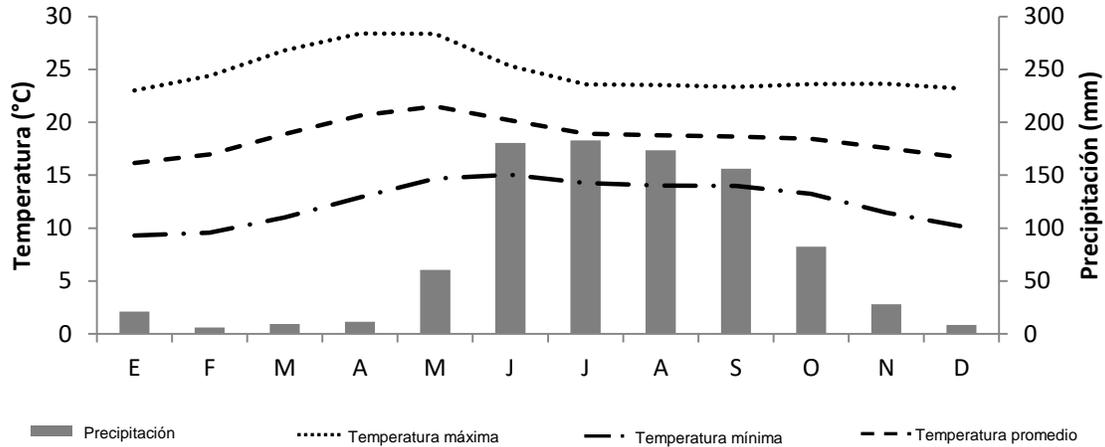


Figura 5. 8 Diagrama termopluviométrico de la estación El Bosque, Zitácuaro (SMN)

5.2.2 Estación 16A0E7EC Llano del Toro (2970msnm)

Climatología histórica

En la estación Llano del Toro, las temperaturas máximas se presentan en el mes de abril con 18.5°C mensuales en promedio y las mínimas ocurren en el mes de enero con 1.6°C. Las mayores precipitaciones se presentan en julio con 263.9 mm en promedio al mes (Figura 5.9).

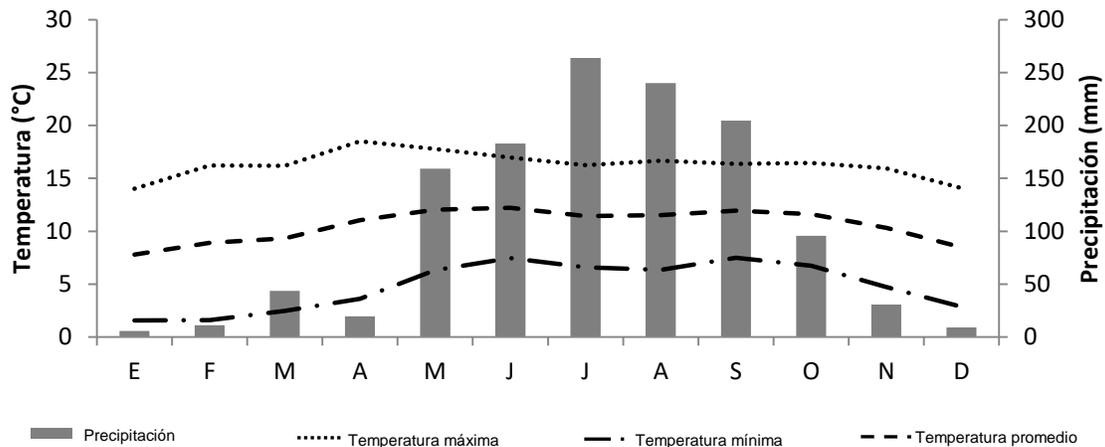


Figura 5. 9 Diagrama termopluviométrico de la estación Llano del Toro (CONANP)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Climatología anual 2013, 2014 y 2015

De acuerdo con los registros de la estación Llano del Toro, en el año 2013 las temperaturas máximas se registraron en el mes de abril con 19.1°C promedio, y las mínimas se presentaron en el mes febrero con 1°C. En cuanto a la precipitación, junio fue el mes que mayor precipitación registró con 462.8 mm mensuales.

Durante el año 2014 las temperaturas máximas se registraron en abril con 18.5°C. Por otro lado, las temperaturas mínimas se presentaron en enero con 1,0°C. El valor más alto de precipitación se registró en julio con 191.8 mm mensuales.

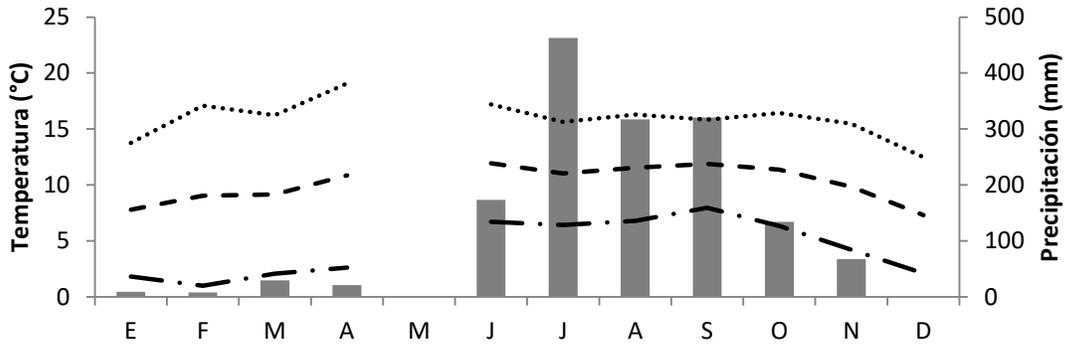
Por último, el año 2015, los valores de temperaturas mínimas más bajas fueron registrados en el mes de enero con 2.0°C, mientras que las temperaturas máximas se registraron durante el mes de mayo con valores de 18.1°C. Respecto a las precipitaciones durante el año 2015, los valores máximos se registraron en agosto con una precipitación mensual acumulada de 221.6 mm (Figura 5.10).

Inicio y fin de la temporada de lluvias y periodo libre de heladas

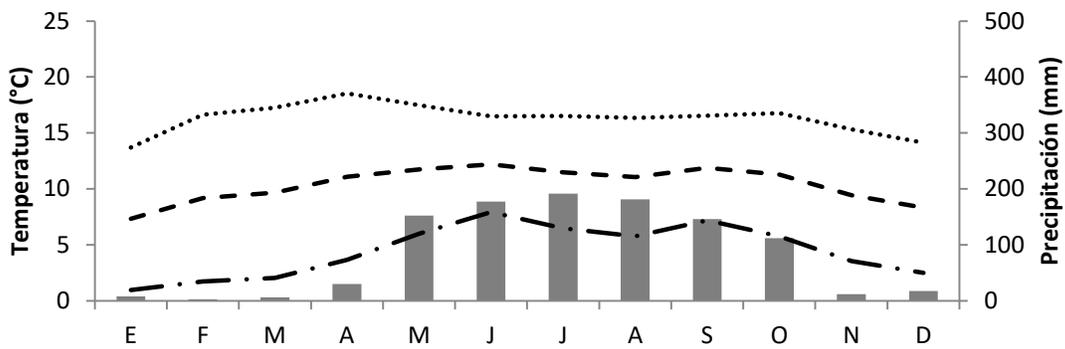
En el caso de la estación Llano del Toro, el inicio de la temporada de lluvias ocurre generalmente durante la última semana de mayo y finaliza durante la última semana de octubre y la primera semana de noviembre. Su duración promedio es de 146 días. El año 2014 tuvo la mayor duración del periodo de lluvias con 159 días y se caracterizó además por presentar un adelanto en el inicio de la temporada de lluvias, las cuales comenzaron durante la tercera semana del mes de mayo (Figura 5.11).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

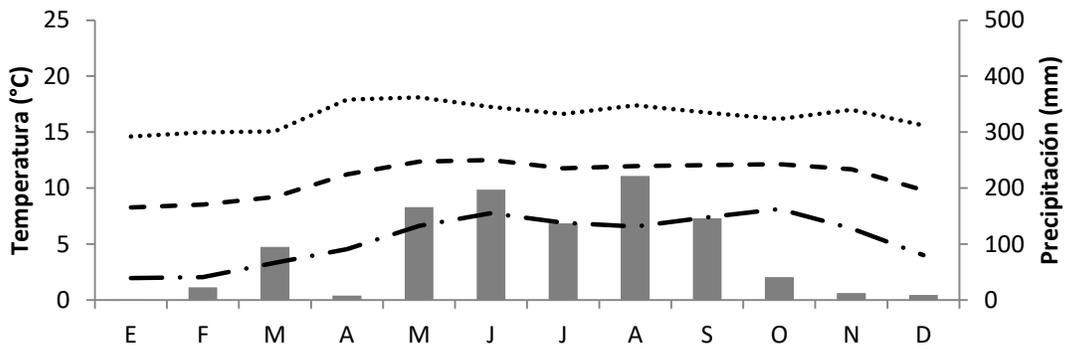
a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

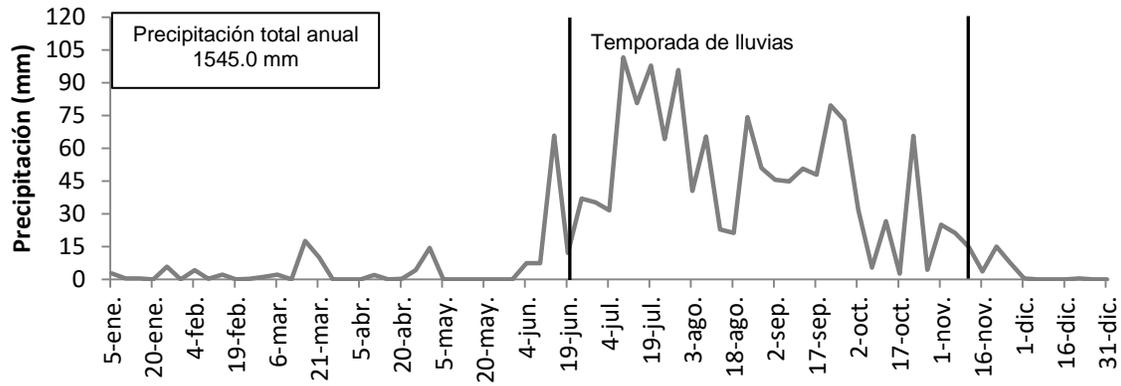


■ Precipitación Temperatura máxima - · - Temperatura mínima - - - Temperatura promedio

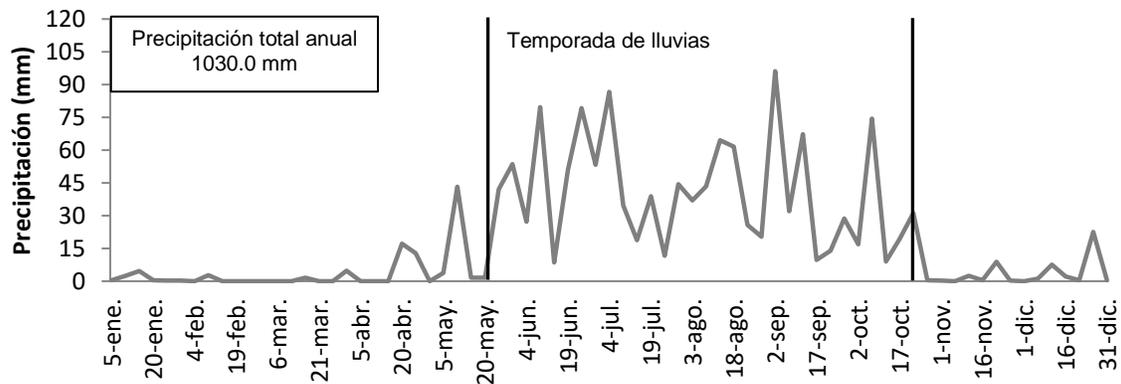
Figura 5. 10 Diagrama termopluviométrico anual de la estación Llano del Toro (CONANP)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

a) Año 2013



b) Año 2014



c) Año 2015

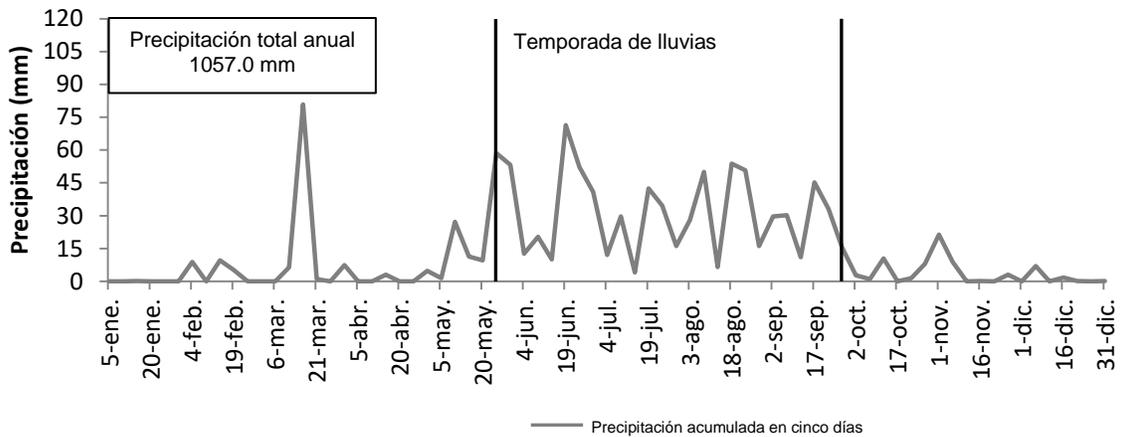


Figura 5. 11 Precipitación acumulada en un periodo de 5 días en la estación Llano del Toro (CONANP)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Respecto al periodo libre de heladas, este tiene una duración promedio de 251 días, comenzando durante la primera semana de diciembre y finalizando durante la tercera semana de marzo. En el año 2013, se registró la última helada más tardía, que ocurrió el 15 de abril.

5.3 Anomalías

5.3.1. Coeficientes de correlación

Los coeficientes de correlación para la estación Llano del Toro resultaron con valores aceptables mayores a 0.80 en las series de datos de precipitación, temperatura mínima de los años 2013, 2014 y 2014 y para las series de temperatura promedio del año 2014; las temperaturas máximas en los tres años de registro arrojaron poca relación entre las dos series de datos al igual que la temperatura promedio de los años 2013 y 2015.

En la estación Llano de la Rosa, se encontró una buena relación entre las series de los datos de precipitación y temperaturas mínimas para los tres años de registro y en las temperaturas promedio únicamente para los años 2013 y 2014. Las temperaturas máximas arrojaron coeficientes de correlación por debajo de 0.80 en los tres años de registro; al igual que en las temperaturas promedio del año 2015.

Finalmente en el caso de la estación Alternare, A.C. los valores de correlación aceptables se obtuvieron en las series de precipitación del año 2013, de temperatura máxima durante los años 2013 y 2014 y de temperatura mínima y

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

promedio para los tres años de registro. Valores por debajo de 0.80 se obtuvieron en precipitación de los años 2014 y 2015 y temperatura máxima del año 2015 (Tabla 5.1).

Tabla 5. 1 Coeficientes de correlación por variable y año de la estación Llano del Toro con respecto a la estación El Bosque, Zitácuaro y de las estaciones Llano de la Rosa y Alternare, A.C. con respecto a la estación Senguio.

	Llano del Toro						Llano de la Rosa						Alternare, A.C.					
	2013		2014		2015		2013		2014		2015		2013		2014		2015	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Precipitación	0,91	0,0001	0,93	0,0001	0,82	0,0010	0,93	0,0001	0,92	0,0001	0,80	0,0017	0,82	0,0001	0,74	0,0088	0,50	0,1000
T. Máxima	0,72	0,0120	0,75	0,0056	0,46	0,1269	0,78	0,0045	0,72	0,0087	0,46	0,1419	0,88	0,0020	0,83	0,0015	0,69	0,0127
T. Mínima	0,90	0,0002	0,95	0,0001	0,88	0,0002	0,94	0,0001	0,96	0,0001	0,90	0,0001	0,83	0,0090	0,96	0,0001	0,93	0,0001
T. Promedio	0,77	0,0050	0,82	0,0010	0,68	0,0152	0,90	0,0002	0,90	0,0001	0,76	0,0036	0,83	0,0080	0,94	0,0001	0,82	0,0009

A: coeficiente de correlación B: Valor de ρ

5.3.2 Anomalías de precipitación y temperatura

En el caso de las anomalías de precipitación, la estación Llano de la Rosa presentó en su mayoría anomalías positivas para los tres años de registro; sin embargo, las anomalías negativas que se presentaron parecen coincidir con los meses de invierno (enero-febrero). En la estación Llano del Toro, las anomalías negativas de precipitación aparecen en los meses de otoño-invierno, aproximadamente desde septiembre a enero; se presentan además en los meses con mayores precipitaciones, en junio de 2013 y 2014 y julio de 2015. Finalmente las anomalías negativas de la estación Alternare se presentan al igual que en la estación Llano del Toro, durante los meses de invierno e inclusive en los meses de verano (julio-septiembre) (Figura 5.12).

Respecto a las anomalías de las temperaturas máximas, en la estación Llano de la Rosa, se obtuvieron en los tres años meses más fríos o con anomalías negativas,

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

en la estación Llano del Toro, la mayoría de las anomalías resultaron negativas, únicamente los meses de finales del verano en los años 2014 y 2015 presentaron anomalías positivas o como en el caso de mes de julio de 2015, que no presentó anomalía. Finalmente en el caso de la estación Alternare, las anomalías en su mayoría resultaron positivas y las anomalías negativas se presentaron en los meses de verano y finales de primavera (Figura 5.13).

Las anomalías de temperatura mínima en la estación Llano de la Rosa resultaron positivas en todos los meses y años, únicamente junio de 2013 resultó sin anomalía, en la estación Llano del Toro fueron negativas en la mayoría de los meses con excepción de los meses de otoño (septiembre-diciembre) de 2015 y septiembre de 2013 y 2014; mientras que en la estación Alternare las anomalías positivas correspondieron a los meses octubre a noviembre de 2015 y a agosto y septiembre de 2013 (Figura 5.14).

Finalmente en las temperaturas promedio, las anomalías de la estación Llano de la Rosa resultaron negativas, excepto diciembre de 2013, en donde no se presentó anomalía. Las anomalías de las estaciones Llano del Toro y Alternare, resultaron negativas en su mayoría; sin embargo, en la estación Llano del Toro las anomalías positivas aparecieron en el mes de septiembre durante los tres años de registro, mientras que en el caso de la estación Alternare, las anomalías positivas o meses más cálidos corresponden a los meses de otoño de septiembre a diciembre (Figura 5.15).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

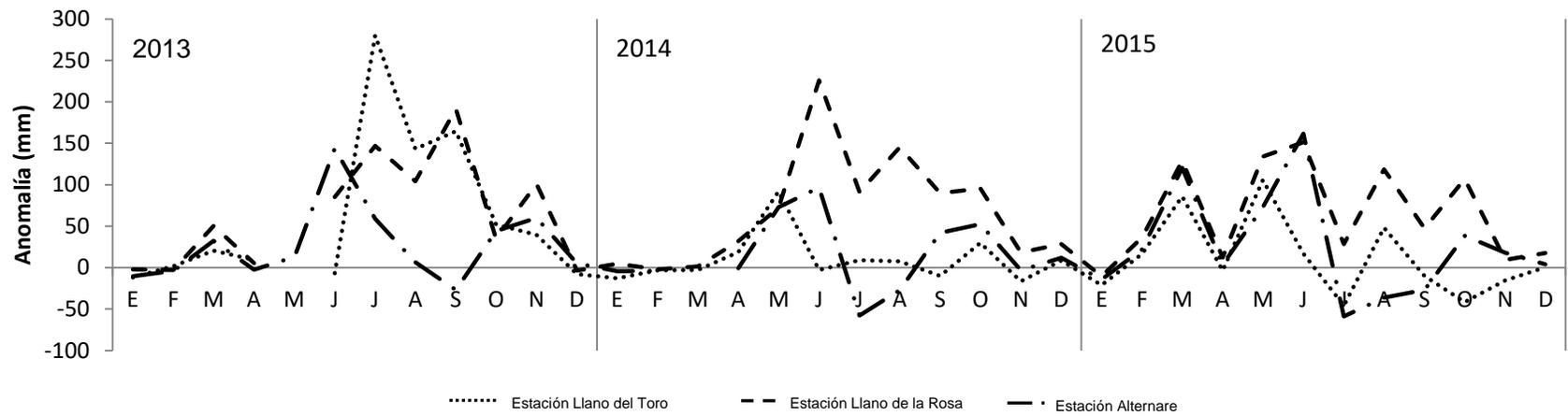


Figura 5. 12 Anomalías mensuales de precipitación

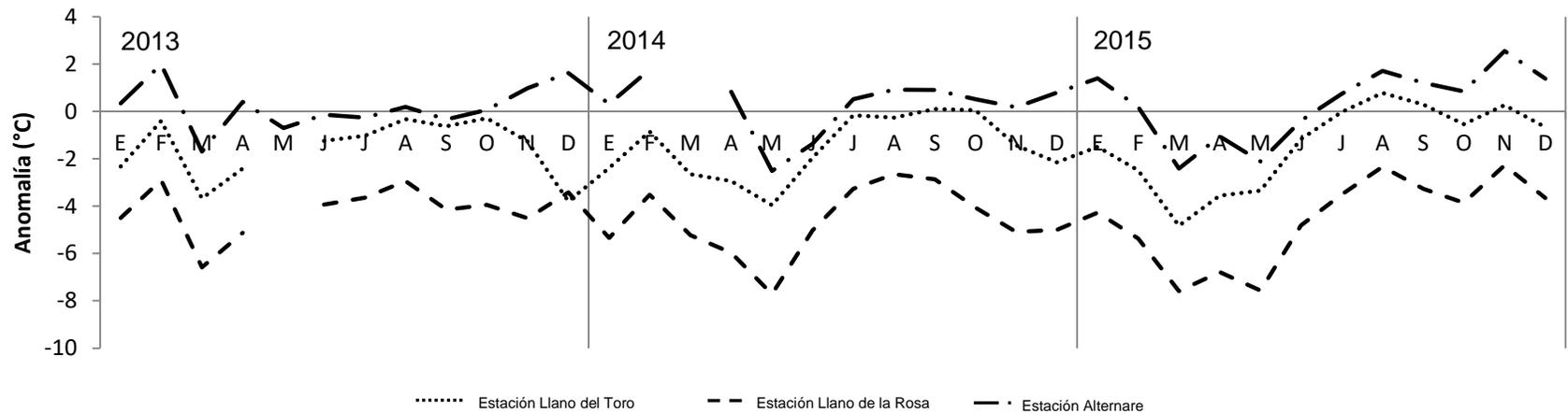


Figura 5. 13 Anomalías mensuales de temperatura máxima

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

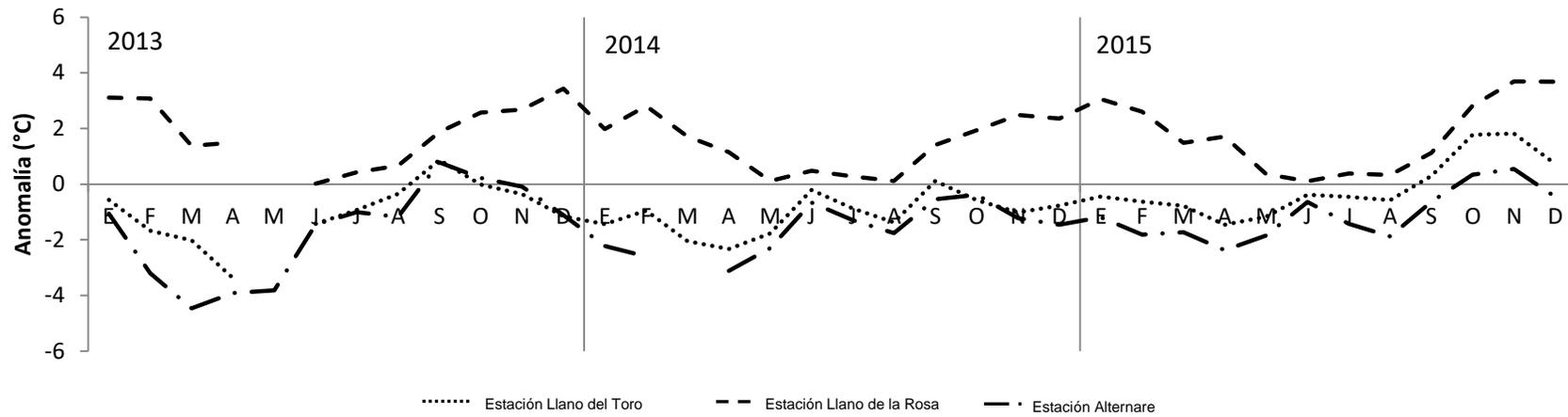


Figura 5. 14 Anomalías mensuales de temperatura mínima

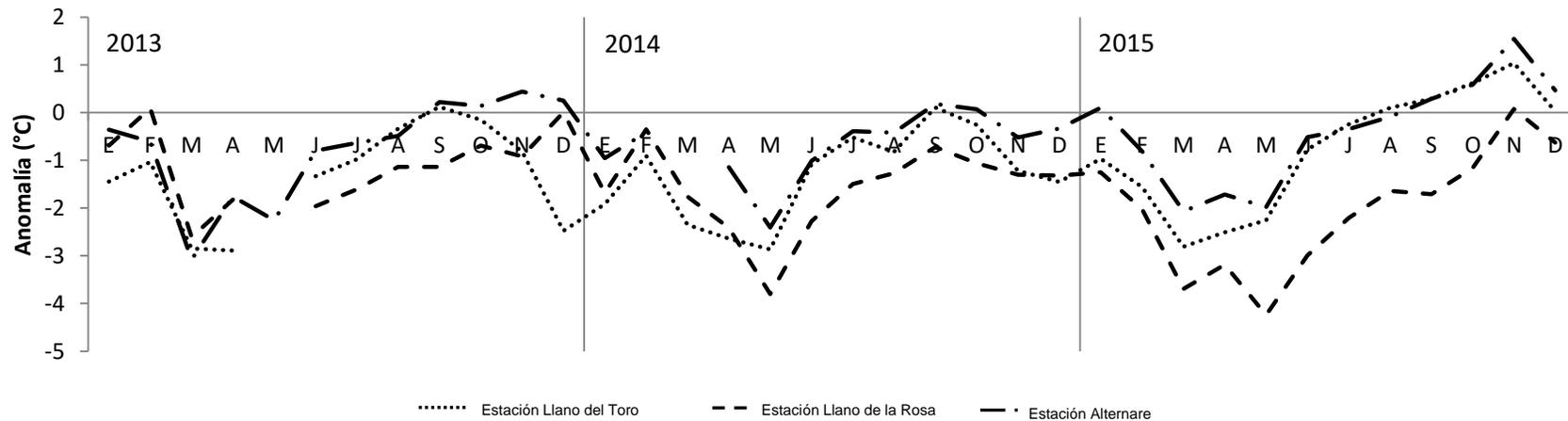


Figura 5. 15 Anomalías mensuales de temperatura promedio

5.4 Índices agroclimáticos y condiciones de temperatura y precipitación

A continuación se describen los valores umbrales de temperatura máxima, mínima y promedio, así como de precipitación que se presentaron durante el periodo de aparición de las diferentes fases fenológicas para cada especie monitoreada, además de las unidades calor y horas frío acumuladas necesarias para el inicio de las fenofases. Se incluye además el periodo libre de heladas, su duración así como las fechas de inicio y fin de la temporada de lluvias a manera de referencia del comportamiento de estas variables durante los tres años de observación.

5.4.1 Cultivos

Avena

En el caso de la avena, únicamente se pudieron calcular las unidades calor para la fase de desarrollo de las hojas de los años 2013 y 2015, aunque no se obtuvieron la misma cantidad en ambos años, los resultados fueron muy parecidos, este resultado puede ser producto de la temporalidad con la que se llevaron a cabo los registros fenológicos.

Por otro lado, en la mayoría de las especies y fenofases restantes, es posible establecer umbrales de temperatura y precipitación, gracias a que estas condiciones presentes durante la aparición de una fase fenológica resultaron similares año con año.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Se determinó que el umbral de precipitación para la fase de desarrollo de las hojas es de 1.0 a 18.0 mm, mientras que los umbrales de temperatura máxima y mínima para esta fase se calcularon entre 19.7 a 27°C y 3.1 a 10.5°C respectivamente (Tabla 5.2).

Frijol ayocote

En el caso del frijol ayocote, las unidades calor calculadas para la fase de floración en las dos fechas de siembra del año 2014 tuvieron una variación de 78 unidades. En promedio esta fase necesita de 481.5 unidades calor aproximadamente. Al igual que en la especie anterior, esta diferencia puede explicarse por la temporalidad con la que se realizaron los monitoreos fenológicos. Los umbrales de temperatura y precipitación que se obtuvieron para la fase de floración fueron: de 0.0 a 50.0 mm de precipitación, 23.8 a 28.2°C de temperatura máxima y 8.2 a 11.0°C de temperatura mínima (Tabla 5.3).

Haba

En el caso de esta especie no se pudieron obtener unidades calor en algunas fases, por lo cual, no es posible realizar una comparación anual. Los umbrales obtenidos para las fases fenológicas registradas fueron: para la fase de formación del fruto de 6.0 a 20.0 mm de precipitación y 23.7 a 23.9°C de temperatura máxima, para la maduración del fruto de 0.0 a 25 mm de precipitación y 21.1 a 25.3°C de temperatura máxima, finalmente para la fase de floración de 0.0 a 50.0 mm de precipitación y de 22.5 a 28.2°C de temperatura máxima (Tabla 5.4).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 2 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie avena (*Avena* sp.), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA	
	DH	Se
	AÑO 2013	
PRECIPITACIÓN (mm)	11.4-17.0	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	19.7-25.2	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	3.1-7.6	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.4-16.4	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	391.5	1622.5
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 MZO 2013-09 ENE 2014	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174	
	AÑO 2014	
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 FEB 2014-07 FEB 2015	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150	
	AÑO 2015	
PRECIPITACIÓN (mm)	1.0-1.8	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	26.9-27.0	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.9-10.5	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.4-18.7	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	376.2	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	09 DE FEB 2015-14 FEB 2016	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169	

Simbología:

DH: desarrollo de las hojas Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 3 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de

	FASE FENOLÓGICA			
	Fl	Se	Fl	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-50.0	N/A		
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	23.8-28.2	N/A		
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	8.4-11.0	N/A		
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	17.4-18.3	N/A		
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R		
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 MZO 2013-09 ENE 2014			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	4.0-20.0	N/A	20.0-21.0	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	20.7-22.5	N/A	22.9-23.9	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	10.4-12.0	N/A	7.0-10.4	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.3-16.4	N/A	15.8-16.5	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	520.5	S/R	442.5	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 FEB 2014-07 FEB 2015			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	2.0-22.0	N/A		
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	25.5	N/A		
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	8.2-10.8	N/A		
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.8-18.1	N/A		
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R		
PERIODO LIBRE DE HELADAS	09 DE FEB 2015-14 FEB 2016			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169			

Simbología

Fl: floración Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 4 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie haba (*Vicia faba* L.), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA			
	FI	FF	MFyS	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-50.0	S/R	1.0-25.0	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	23.8-28.2	S/R	23.8-25.3	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	8.4-11.0	S/R	11.0-11.1	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	17.4-18.3	S/R	17.4-18.2	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 MZO 2013-09 ENE 2014			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	6.0-20.0	6.0-20.0	S/R	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	23.7-23.9	23.7-23.9	S/R	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	7.0-7.2	7.0-7.2	S/R	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	15.4-15.5	15.4-15.5	S/R	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	986.7	986.7	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 FEB 2014-07 FEB 2015			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	S/R	0.0-19.9	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	S/R	21.1-23.4	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	S/R	10.0-10.4	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	S/R	15.5-16.9	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R	1246.9	1613.2
PERIODO LIBRE DE HELADAS	09 DE FEB 2015-14 FEB 2016			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169			

Simbología: FI: floración FF: formación del fruto MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Maíz

En el caso del maíz, para la fase de formación del fruto en los años 2014 y 2015, las unidades calor calculadas resultaron similares, con una diferencia de apenas cuatro unidades; sin embargo, en la fase de maduración del fruto, esta diferencia se eleva a 262.4. En promedio para esta última fase las unidades calor necesarias son de 1187. Los umbrales establecidos para la fase de formación del fruto son de 0.0 a 20.0 mm de precipitación y de 22.5 a 25.5°C de temperatura máxima, para la fase de maduración de frutos se presentó con temperaturas máximas entre 21.5 a 25.3°C y precipitaciones de 0.0 a 17.0 mm; mientras que la fase de floración se presentó con 0.0 a 20.0mm de precipitación y 22.5 a 22.9°C de temperatura máxima (Tabla 5.5).

5.4.2 Frutales

Ciruela andrina amarilla

En el caso de este frutal, las unidades calor calculadas para la fase de senescencia son similares en los años 2013 y 2015 con más de 2500 unidades calor en ambos casos; sin embargo, en el año 2014 esta cantidad desciende hasta 1529.7 unidades. Las unidades calor y horas frío para las fases restantes únicamente se pudieron calcular para el año 2015 con excepción de la fase de maduración del fruto. Los umbrales estimados para las diferentes fases son los siguientes: para el desarrollo de las yemas desde 0.0 a 17.0 mm de precipitación y de 20.2 a 26.7°C de temperatura máxima, en el caso de la aparición del órgano floral desde 22.6 a 23.2°C de temperatura máxima, para la fase de floración de 0.0

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 5 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie maíz (*Zea mays* L.), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA			
	FI	FF	MFyS	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	3.0-15.0	0.0-17.0	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	23.4-25.5	24.6-25.3	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	6.9-8.5	0.3-6.9	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	15.2-17.0	12.8-15.7	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 MZO 2013-09 ENE 2014			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-20.0	2.0-20.0	0.0-1.0	N/A
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	22.5-22.9	22.5-23.9	21.5-24.8	N/A
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	10.4-10.5	7.0-10.4	6.4-6.6	N/A
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.4-16.7	15.4-16.4	13.0-15.7	N/A
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	656.5	850.6	1318.5	1366.7
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 FEB 2014-07 FEB 2015			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	0.0-16.9	2.0-16.0	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	22.8-24.7	23.8-24.1	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	8.0-9.2	7.2-9.3	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	16.2-16.3	15.6-16.5	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	854.6	1056.1	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	09 DE FEB 2015-14 FEB 2016			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169			

Simbología: FI: floración FF: formación del fruto MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

a 13.0 mm de lluvia y 23.2 a 25.5°C de temperatura máxima, en la fase de formación del fruto se presentaron de 0.0 a 10.0 mm de precipitación y hasta 26.4°C de temperatura máxima, mientras que en la maduración del fruto, la precipitación fue de 0.0 a 50.0mm y 25.1 a 27.9°C de temperatura máxima, finalmente las condiciones presentes cuando ocurrió la fase de senescencia fueron de 0.0 a 20.0 mm de precipitación y 24.2 a 27.8°C de temperatura máxima (Tabla 5.6).

Ciruela andrina roja

Las unidades calor calculadas para la fase de senescencia resultaron distintas en los tres años de registro con valores que van desde los 1500 hasta más de 3000 unidades calor. Estos valores pueden ser explicados por la falta de registros sobre el fin de esta misma fase en años anteriores. Para el año 2014, únicamente fue posible estimar las unidades calor y horas frío para las fases de desarrollo de las yemas y para la aparición del órgano floral, mientras que en el año 2015 fue posible calcular estos requerimientos para las fases de desarrollo de las yemas, floración y formación del fruto. En el caso de la fase de desarrollo de las yemas, las unidades calor y horas frío requeridas fueron muy distintas en los años 2014 y 2015, con una diferencia de 202.3 unidades calor y 472 horas frío entre ambos años (Tabla 5.7).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 6 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie ciruela andrina amarilla (*Prunus domestica*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA					
	DY	AOF	FI	FF	MF	Se
AÑO 2013						
PRECIPITACIÓN (mm)	3.0-17.0	S/R	0.0-10.0	S/R	0.0-50.0	0.0-17.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	20.2-25.2	S/R	24.4-25.3	S/R	26.8-27.9	24.5-25.3
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	2.4-7.6	S/R	0.3-3.7	S/R	1.3-9.2	2.5-11.1
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.3-16.4	S/R	12.8-14.5	S/R	14.0-18.5	13.5-18.2
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	N/A	S/R	N/A	2542.4
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174					
AÑO 2014						
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	10.0-20.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	24.2-27.8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	6.5-11.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	17.1-17.9
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	1529.7
HORAS FRÍO ACUMULADAS	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150					
AÑO 2015						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-16.0	0.0	0.0-13.0	0.0-10.0	0.0-31.0	0.0-20.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	24.7-26.7	22.6-23.2	23.2-25.5	26.4	25.1-25.9	24.9-27.0
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	7.6-8.0	1.3-5.0	3.8-5.0	4.4	9.5-11.6	5.7-5.8
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.3-17.1	11.9-14.1	14.1-14.6	15.4	17.3-18.7	15.3-16.4
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	602.1	602.1	749.2	1005.6	2139.8	2598
HORAS FRÍO ACUMULADAS	543	543	725	986	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169					

Simbología: DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 7 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie ciruela andrina roja (*Prunus domestica*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA					
	DY	AOF	FI	FF	MF	Se
AÑO 2013						
PRECIPITACIÓN (mm)	3.0-17.0	S/R	1.0-17.0	S/R	0.0-52.0	0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	25.1-25.2	S/R	24.1-24.4	S/R	23.2-25.5	24.5-25.3
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	2.4-7.6	S/R	3.7-5.9	S/R	3.4-10.8	2.5-11.0
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.7-16.4	S/R	14.0-15.9	S/R	13.3-18.1	13.5-16.0
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	N/A	S/R	N/A	2554.1
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	N/A	S/R	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174					
AÑO 2014						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-52.0	4.0-8.0	S/R	S/R	S/R	0.0-4.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	22.3-25.5	17.6-24.9	S/R	S/R	S/R	20.7-23.9
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	9.0-10.5	0.7-5.8	S/R	S/R	S/R	9.6-12.0
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.4-17.2	11.7-12.8	S/R	S/R	S/R	16.3-16.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	208.3	1061.1	S/R	S/R	S/R	1529.7
HORAS FRÍO ACUMULADAS	4	517	S/R	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150					
AÑO 2015						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-20.0	1.0-18.0	0.0-8.0	0.0-10.0	0.0-31.0	0.0-1.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	22.2-24.7	22.2-26.9	22.2-27.0	25.5-26.4	25.1-25.9	21.8-22.8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.5-8.0	5.5-10.5	5.5-5.8	4.4-8.2	9.5-11.6	6.9-9.2
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.8-16.3	13.8-18.7	13.8-16.4	15.4-16.8	17.3-18.7	14.3-16.0
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	858.7	1360.4	1586.3	2720.5	3178.7
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	45	867	1094	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169					

Simbología: DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Durazno

En el caso del durazno, las unidades calor referentes a la fase de senescencia fueron similares únicamente en los años 2013 y 2014 con más de 2200 unidades, mientras que en el año 2015 éstas llegaron únicamente a 1820 aproximadamente. Por otro lado, para la fase de maduración del fruto, las unidades calor calculadas resultaron muy distintas; mientras en el año 2014 se contabilizaron más de 760, en el año 2015 se obtuvieron más del doble que en el año anterior.

Los umbrales obtenidos para cada fase fenológica son los siguientes: para la fase de desarrollo de las yemas, las condiciones presentes de temperatura y precipitación fueron de 28.2 a 28.4°C y 0.0 a 18.0 mm respectivamente, para la fase de aparición del órgano floral fueron de 2.0 a 27.0 mm de precipitación y 21.5 a 26.9°C de temperatura máxima, en el caso de la fase de floración se presentaron 0.0 a 20.0 mm de precipitación y 25.2 a 26.6°C de temperatura máxima, para la fase de formación y maduración del fruto las precipitaciones fueron desde 0.0 a 32.0 mm y de 20.7 a 25.9°C de temperatura, finalmente la fase de senescencia ocurrió cuando las precipitaciones fueron de 0.0 a 27.0 mm y 22.2 a 25.1°C de temperatura máxima (Tabla 5.8).

Manzana

En el caso de la manzana, las unidades calor requeridas para la fase de senescencia durante los tres años fueron similares, con más de 2000 unidades calor y siendo el 2015, el año en el cual los requerimientos fueron mayores. Por otro lado, la fase de floración en los años 2014 y 2015 requirió de cantidades muy

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 8 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie durazno (*Prunus pérsica*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA					
	DY	AOF	FI	FF	MF	Se
AÑO 2013						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-18.0	S/R	3.0-14.0	S/R	S/R	0.0-16.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	28.2-28.4	S/R	25.2-25.7	S/R	S/R	22.4-24.1
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	8.4-8.5	S/R	4.9-7.6	S/R	S/R	5.9-10.3
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	18.3-18.4	S/R	15.3-16.4	S/R	S/R	15.0-16.3
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	226	S/R	N/A	S/R	S/R	2371.6
HORAS FRÍO ACUMULADAS	138	S/R	N/A	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174					
AÑO 2014						
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	2.0-27.0	N/A	S/R	0.0-32.0	0.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	21.5-23.9	N/A	S/R	20.7-25.1	22.6-22.9
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	4.6-7.0	N/A	S/R	2.4-12.0	1.3-10.5
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	13.0-15.4	N/A	S/R	13.7-16.3	11.9-16.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	N/A	N/A	S/R	764.2	2230.6
HORAS FRÍO ACUMULADAS	S/R	N/A	N/A	S/R	780	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150					
AÑO 2015						
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	3.0-20.0	0.0-20.0	0.0-52.0	0.0-31.0	4.0-21.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	23.8-26.9	25.6-26.6	21.8-23.2	25.1-25.9	22.2-25.1
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	9.3-10.5	6.3-8.3	5.0-6.9	9.5-11.6	5.5-9.5
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	16.5-18.7	16.4-16.9	14.1-14.3	17.3-18.7	13.8-17.3
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	N/A	N/A	154.6	1545.1	1820.2
HORAS FRÍO ACUMULADAS	S/R	N/A	N/A	195	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169					

Simbología: DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

similares de unidades calor con más de 230 unidades; mientras que en el caso de la fase de maduración del fruto, las unidades calor requeridas en el año 2013, rebasaron por más del doble a las unidades requeridas durante 2014, las cuales fueron de 550.6 unidades calor.

Los umbrales que se pudieron determinar fueron: para la fase de desarrollo de las yemas temperaturas de 22.2 a 25.9°C de temperatura máxima, para la aparición del órgano floral de 22.8 a 26.9°C y 0.0 a 18.0 mm de precipitación, para la fase de maduración y formación del fruto de 0.0 a 50.0 mm de precipitación y 20.0 a 27.6°C de temperatura máxima y finalmente para la fase de senescencia de 0.0 a 27.0 mm de precipitación y 16.8 a 25.3°C de temperatura máxima (Tabla 5.9).

Manzana roja

En el caso de la manzana roja, únicamente resultaron similares los requerimientos de unidades calor para la fase de senescencia y en los años 2014 y 2015, mientras que en el año 2013, estos requerimientos resultaron más altos por más de 1000 unidades calor; en el caso de la fase de formación del fruto, las unidades calor requeridas en el año 2014, fueron mayores por 667 unidades.

Por otro lado, los umbrales determinados fueron: para la fase de desarrollo de las yemas de 20.2 a 25.2°C de temperatura máxima, para la fase de floración se presentaron 20.4 a 25.3°C de temperatura máxima, para la formación del fruto fueron necesarios 0.0 a 32.0 mm de precipitación y 20.7 a 28.0°C de temperatura máxima (Tabla 5.10)

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 9 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie manzana (*Malus sp.*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA					
	DY	AOF	FI	FF	MF	Se
AÑO 2013						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-10.0	S/R	S/R	S/R	0.0-50.0	0.0-17.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	24.5-25.1	S/R	S/R	S/R	20.8-27.6	16.8-25.3
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	2.4-2.5	S/R	S/R	S/R	4.8-12.1	3.4-11.1
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.3-13.5	S/R	S/R	S/R	16.2-16.4	10.1-18.2
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	S/R	1173.2	2517.1
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	S/R	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174					
AÑO 2014						
PRECIPITACIÓN (mm)	1.0-52.0	0.0-8.0	0.0	S/R	0.0-32.0	20.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	24.8-25.9	22.8-24.9	16.5-20.4	S/R	22.4-24.4	18.7-22.5
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	6.6-11.6	0.7-4.6	2.0-11.6	S/R	3.7-7.9	7.0-10.4
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	15.7-18.7	12.8-13.7	11.2-14.0	S/R	14.0-15.1	12.8-16.4
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	233.7	S/R	550.6	2229.8
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	N/A	272	S/R	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150					
AÑO 2015						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-20.0	1.0-18.0	0.0-13.0	0.0-52.0	S/R	1.0-20.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	22.2-24.7	22.2-26.9	23.2-25.5	25.9-26.4	S/R	22.2-22.8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.5-8.0	5.5-10.5	3.8-5.0	4.4-11.6	S/R	5.5-9.2
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.8-16.3	13.8-18.7	14.1-14.6	15.4-18.7	S/R	13.8-16.0
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	277.2	1158.0	S/R	2604
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	N/A	319	890	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370					
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169					

Simbología: DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 10 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie manzana roja (*Malus sp.*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA					
	DY	AOF	FI	FF	MF	Se
AÑO 2013						
PRECIPITACIÓN (mm)	3.0-17.0	S/R	0.0-10.0	S/R	3.0-17.0	0.0-17.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	20.2-25.2	S/R	20.4-25.3	S/R	25.2-25.3	24.6-25.5
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	4.4-7.6	S/R	0.3-2.0	S/R	0.3-7.6	2.5-6.9
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	12.3-16.4	S/R	11.2-12.8	S/R	12.2-16.4	13.5-15.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	N/A	S/R	N/A	3164
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	N/A	S/R	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174					
AÑO 2014						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-31.0	S/R	S/R	4.0-20.0	0.0-32.0	1.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.5-22.9	S/R	S/R	20.7-22.9	22.1-28.1	19.6-25.0
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	9.0-11.6	S/R	S/R	10.5-12.0	8.3-10.4	4.5-12.5
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	14.0-15.9	S/R	S/R	16.3-16.7	16.4-18.2	14.7-16.0
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	233.7	1136.6	1514.8	1924.8
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	878	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150					
AÑO 2015						
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-27.0	0.0-18.0	0.0-1.0	0.0-32.0	S/R	1.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	21.1-22.3	28.0-28.4	23.7-24.5	24.5-28.0	S/R	22.3-24.5
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	9.6-10.0	4.8-5.6	3.4-6.6	5.6-8.8	S/R	8.8-9.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	15.5-15.9	16.6-16.8	13.5-15.5	16.6-16.8	S/R	15.9-16.6
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	1040.0	1206.3	N/A	1803	S/R	2084.6
HORAS FRÍO ACUMULADAS	1064	1141	N/A	1250	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016					
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370					
INICIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO					
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE					
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169					

Simbología: DY: desarrollo de las yemas AOF: aparición del órgano floral FI: floración FF: formación del fruto MF: maduración del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Pera

En el caso de esta especie, las unidades calor fueron similares para la fase de senescencia únicamente en los años 2013 y 2014; mientras que en el año 2015, las unidades calor calculadas fueron menores con aproximadamente 1000 unidades calor menos que en los años anteriores (Tabla 5.11).

5.4.3 Especies forestales

Alnus

Para el caso de la especie *Alnus*, la cantidad de horas calor calculadas para las fases de desarrollo de las hojas y senescencia en el año 2013, difiere por aproximadamente 500 unidades, ya que mientras en el paraje “La Entrada” se requirieron 1247 unidades calor para ambas fases, en el paraje “Pila de Marlen” fueron necesarias 792.9 unidades calor. Estas cifras difieren nuevamente durante la fase de senescencia en el año 2014 del paraje “La Entrada” para la cual únicamente se requirieron 155 unidades calor (Tabla 5.12 y Tabla 5.13).

Pinus leiophylla

En esta especie, las unidades calor calculadas en la fase de desarrollo de las hojas en el año 2013 fue igual en ambos sitios de monitoreo; por otro lado, respecto a la fase de senescencia para este mismo año, las unidades calor calculadas en el paraje “La Segundita”, superaron por aproximadamente 1000 unidades calor a las unidades calculadas en el paraje “Xorejé”. Esta misma fase en el año 2014 en el paraje “La Segundita” tuvo los mayores requerimientos con 5500 unidades calor.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 11 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie pera (*Pyrus sp.*), durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLÓGICA			
	DY	FI	FF	Se
AÑO 2013				
PRECIPITACIÓN (mm)	3.0-18.0	S/R	S/R	3.0-14.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	25.9-25.2	S/R	S/R	24.1-25.2
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	7.6-8.5	S/R	S/R	5.9-7.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	16.4-16.7	S/R	S/R	15.0- 16.4
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	2771.8
HORAS FRÍO ACUMULADAS	N/A	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174			
AÑO 2014				
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	N/A	4.0-23.0	0.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	N/A	20.7-25.0	23.2-23.9
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	N/A	9.5-12.0	5.0-9.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	N/A	16.3-17.25	14.1-16.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	824.1	1960.7	2904.3
HORAS FRÍO ACUMULADAS	S/R	914	1101	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150			
AÑO 2015				
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-52.0	S/R	S/R	0.0-20.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	24.7-25.5	S/R	S/R	21.8-22.2
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	3.8-8.0	S/R	S/R	5.5-6.9
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	14.5-16.3	S/R	S/R	13.8-14.3
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	265.9	S/R	S/R	1494.8
HORAS FRÍO ACUMULADAS	266	S/R	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169			

Simbología:

DY: desarrollo de las yemas FI: floración FF: formación del fruto Se: senescencia S/R: sin registros N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 12 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Alnus acuminata*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el paraje “Pila de Marlen”

	FASE FENOLÓGICA			
	DH	FI	MFyS	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	2.6-62.2	S/R	S/R	2.6-62.2
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.7-17.1	S/R	S/R	12.6-17.1
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	2.8-9.1	S/R	S/R	1.1-9.1
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	9.7-13.1	S/R	S/R	6.8-13.1
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	792.9	S/R	S/R	792.9
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	2.6-62.2	0.0	S/R	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.7-17.1	12.6-15.6	S/R	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	2.8-9.1	1.1-1.9	S/R	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	9.7-13.1	6.8-8.7	S/R	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	249			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-39.0	0.0-0.2	2.6-19.8	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.8-17.8	14.2-16.7	18.3-18.5	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	3.6-8.0	1.9-4.4	7.0-8.0	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	10.2-12.9	8.0-10.5	12.7-13.1	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	N/A	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE MARZO-13 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	275			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	15 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	27 DE SEPTIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	105			

Simbología: DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 13 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Alnus acuminata*, durante los años 2013 y 2014, en el paraje “La Entrada”

	FASE FENOLÓGICA			
	DH	FI	MFyS	Se
	AÑO 2013			
UMBRAL DE PRECIPITACIÓN (mm)	0.6 -11	S/R	S/R	0-11
UMBRAL DE TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	15,3-16	S/R	S/R	15,3-17
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	4,9-6,9	S/R	S/R	1,8-4,9
UMBRAL DE TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	10,1-11,4	S/R	S/R	9,4-10,1
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	1247,7	S/R	S/R	1247,7
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144			
	AÑO 2014			
UMBRAL DE PRECIPITACIÓN (mm)	0-43,8	0	0	S/R
UMBRAL DE TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16,3-19,4	12,6-17,0	12,6-15,6	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5,1-7,4	1,1-1,8	1,1-1,9	S/R
UMBRAL DE TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	10,7-12,2	6,8-9,5	6,8-8,7	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	155.0	N/A	N/A	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DIAS)	249			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154			

Simbología: DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

En cuanto a la fase de desarrollo de las hojas en el año 2015, las unidades calor obtenidas resultaron similares en ambos parajes, difiriendo únicamente por 50 unidades calor aproximadamente y siendo el paraje “Xorejé” en el cual los requerimientos fueron mayores. (Tabla 5.14 y Tabla 5.15).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 14 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Pinus leiophylla*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el paraje “La Segundita”

	FASE FENOLOGICA		
	DH	MFyS	Se
	AÑO 2013		
PRECIPITACIÓN (mm)	1.0-62.2	S/R	0.0-62.2
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	17.0-17.7	S/R	15.6-17.2
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.5-9.1	S/R	1-9-7.2
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	9.1-11.25	S/R	8.7-12.2
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	3433.9	S/R	4321.8
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144		
	AÑO 2014		
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	S/R	5.6-43.8
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	S/R	15.9-16.2
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	S/R	2.9-7.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	S/R	9.5-11.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	S/R	5535.6
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	249		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154		
	AÑO 2015		
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-39.0	0.0-39.6	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	14.2-17.8	18.3-19.4	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	1.9-8.0	7.5-9	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	8.0-12.9	13.1-13.4	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	1441.0	6120.0	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE MARZO-13 DE DICIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	275		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	15 DE JUNIO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	27 DE SEPTIEMBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	105		

Simbología:

DH: desarrollo de las hojas MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 15 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Pinus leiophylla*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el paraje "Xorejé"

	FASE FENOLÓGICA			
	DH	FI	MFyS	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	2,6-43.8	S/R	S/R	2,6-43.8
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	15.9-17,1	S/R	S/R	16.8-17,1
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	7.6-9,1	S/R	S/R	3.6-9,1
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.7-13.1	S/R	S/R	10.2-13.1
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	3433.9	S/R	S/R	3433.9
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	0.0-1.4	0,6-43.8	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	15,6-17.0	15,8-15.9	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	1.8-1,9	4,9-7.6	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	8.7-9.4	10.3-11.7	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	N/A	N/A	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	249			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-38.4	0.0-39.0	S/R	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	17.8-17,9	14,2-16.2	S/R	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.0-8.0	1,9-3.4	S/R	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.4-12.9	8.0-9.8	S/R	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	1501.9	N/A	S/R	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE MARZO-13 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	275			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	15 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	27 DE SEPTIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	105			

Simbología: DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Pinus pseudostrabus

Mientras que en el centro de capacitación de Alternare se registraron únicamente las fases de desarrollo de las hojas y senescencia, y no se pudieron realizar los cálculos de unidades calor debido a la periodicidad con la que se realizaron las observaciones; en el paraje “Remunrreje” se registraron estas fases además de las de floración y maduración de frutos y semillas.

En este paraje se obtuvieron los requerimientos de unidades calor de las fases de senescencia, los cuales fueron similares en los años 2013 y 2014 con más de 3000 unidades calor. Por otro lado, se pudieron calcular además las unidades calor de las fases de maduración de frutos y semillas del año 2015 y desarrollo de las hojas del año 2013, los cuales fueron de 2900 y 2050 unidades calor aproximadamente para cada fase respectivamente (Tabla 5.16 y Tabla 5.17).

Quercus rugosa

Finalmente en el caso de la especie *Quercus rugosa* del paraje “Tamejé”, sus requerimientos de unidades calor para la fase de desarrollo de las hojas fueron similares en los años 2014 y 2015, con valores entre 230 y 280 unidades calor, mientras que en el año 2013 este valor incrementó a más de 860 unidades calor, esto debido a que no se conocía la fecha del final de la senescencia en el año 2012.

Por otro lado, la fase de floración en el año 2014 requirió de aproximadamente 151 unidades calor más que en el año 2015, mientras que la fase de senescencia los valores obtenidos fueron similares en los años 2013 y 2014 con requerimientos de entre 2340 y 2380 unidades calor (Tabla 5.18).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 16 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Pinus pseudostrobus*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el centro de capacitación de Alternare, A.C.

	FASE FENOLOGICA	
	Se	DH
	AÑO 2013	
PRECIPITACIÓN (mm)	20.0-27.0	0.0-31.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	21.5-22.5	22.6-24.6
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	4.6-10.4	6.9-9.0
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.5-16.4	15.7-15.9
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	5 DE MARZO DE 2013-9 DE ENERO DE 2014	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	310	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	174	
	AÑO 2014	
PRECIPITACIÓN (mm)	S/R	3.0-27.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	S/R	18.0-24.9
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	S/R	0.7-12.7
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	S/R	12.8-15.2
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	S/R	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE FEBRERO DE 2014-7 DE FEBRERO DE 2015	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	359	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	18 DE OCTUBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	150	
	AÑO 2015	
PRECIPITACIÓN (mm)	1.0-20.0	0.0-52.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	22.8-26.5	22.2-22.8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	4.5-9.2	4.5-5.5
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	15.5-16.0	13.7-13.8
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A
PERIODO LIBRE DE HELADAS	9 DE FEBRERO DE 2015-14 DE FEBRERO DE 2016	
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	370	
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	16 DE MAYO	
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	01 DE NOVIEMBRE	
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	169	

Simbología:

DH: desarrollo de las hojas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 17 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Pinus pseudostrobus*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el paraje “Remunrreje”

	FASE FENOLÓGICA			
	DH	FI	MFyS	Se
	AÑO 2013			
PRECIPITACIÓN (mm)	2.6-62.2	S/R	S/R	11-37.6
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.9-17.1	S/R	S/R	15.3-17.7
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	6.9-9.1	S/R	S/R	2.3-4.9
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.4-13.1	S/R	S/R	10.0-10.1
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	2056.3	S/R	S/R	3267.1
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144			
	AÑO 2014			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-43.8	0.0-1.4	S/R	5,6-23
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	15.812,60	16,6-17.0	S/R	15,9-16.8
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	1,1-4.9	-0,5-1,8	S/R	3.6-7,6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	6.8-10.3	8.0-9.4	S/R	10.2-11.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	S/R	3573.0
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	249			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154			
	AÑO 2015			
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-39.0	0.0-39.0	0	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16,8-17.8	16,8-17.8	18.3-19,4	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	3,6-8.0	3,6-8.0	8.0-7,5	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	10.2-12.9	10.2-12.9	13.1-13.4	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	N/A	N/A	2910.8	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE MARZO-13 DE DICIEMBRE			
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	275			
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	15 DE JUNIO			
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	27 DE SEPTIEMBRE			
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	105			

Simbología: DH: desarrollo de las hojas FI: floración MFyS: maduración de frutos y semillas Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

CAPÍTULO 5. RESULTADOS: CLIMATOLOGÍA E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS

Tabla 5. 18 Requerimientos agroclimáticos y umbrales de temperatura y precipitación presentes durante el desarrollo de las fases fenológicas de la especie *Quercus rugosa*, durante los años 2013, 2014 y 2015, en el paraje “Tamejé”

	FASE FENOLÓGICA		
	DH	FI	Se
	AÑO 2013		
PRECIPITACIÓN (mm)	2,6-62.2	S/R	0.0-0,2
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	17,1	S/R	14,2-13.3
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	9,1	S/R	0,5-3.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	13.1	S/R	7.3-10.4
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	866.3	S/R	2343.5
PERIODO LIBRE DE HELADAS	15 DE ABRIL-1 DE DICIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	229		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	20 DE JUNIO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	11 DE NOVIEMBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	144		
	AÑO 2014		
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-39.6	0.0-1.4	5.6-39.0
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	12.6-15.8	15.6-17.0	15.9-16.2
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	1.1-4.9	1.8-1.9	3.4-7.6
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	6.8-10.3	8.7-9.4	9.8-11.7
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	232.7	438.7	2380.6
PERIODO LIBRE DE HELADAS	19 DE MARZO-23 DE NOVIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	249		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	21 DE MAYO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	22 DE OCTUBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	154		
	AÑO 2015		
PRECIPITACIÓN (mm)	0.0-39.6	0.0-28.0	S/R
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	16.4-17.9	15.7-17.9	S/R
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	5.0-7.1	5.0-6.1	S/R
TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	11.4-11.7	10.9-11.4	S/R
UNIDADES CALOR ACUMULADAS	287.1	287.1	S/R
PERIODO LIBRE DE HELADAS	13 DE MARZO-13 DE DICIEMBRE		
DURACIÓN PERIODO LIBRE DE HELADAS (DÍAS)	275		
INCIO TEMPORADA DE LLUVIAS	15 DE JUNIO		
FIN TEMPORADA DE LLUVIAS	27 DE SEPTIEMBRE		
DURACIÓN TEMPORADA DE LLUVIAS (DÍAS)	105		

Simbología:

DH: desarrollo de las hojas FI: floración Se: senescencia S/R: sin registro N/A: no aplica

DISCUSIÓN

La armonía entre los ecosistemas y las comunidades humanas son un elemento clave para ayudar a la adaptación al cambio climático; por lo tanto, las áreas protegidas se han convertido en una alternativa para proteger a la sociedad de los impactos negativos de este fenómeno, al ser una herramienta de conservación y fortalecimiento del bienestar humano (CONANP, 2015; CONANP, 2016a). Durante el trabajo de campo, se pudo corroborar que en el caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, la relación de las comunidades con los ecosistemas es muy estrecha, por lo tanto, la idea de la conservación de sus bosques parece representar una prioridad para la mayoría de sus pobladores; gracias a esto, el interés en la observación fenológica como herramienta de conservación y generación de conocimiento fue mayor para las comunidades involucradas de esta región.

Por otro lado, a escala mundial se han propuesto diferentes acciones que permitan identificar la vulnerabilidad e implementar medidas de adaptación a fin de reducir, mitigar y compensar la pérdida de hábitats, la degradación de ecosistemas y la pérdida de especies (Cervantes *et al.*, 2015). Las principales opciones de adaptación se han enfocado en mantener e incrementar las condiciones naturales de los ecosistemas en México (CONANP, 2015; CONANP, 2016), para lograr este objetivo es necesario identificar en primera instancia, cuáles y cómo han sido esas condiciones naturales a lo largo del tiempo. En este ámbito, el monitoreo fenológico ha contribuido en documentar la respuesta de la vegetación a las variables climáticas características de su entorno y generar información para

identificar variaciones en su fenología debido a cambios las condiciones climáticas.

La información climática y su relación con otras variables como la topografía y edafología, han sido utilizadas en modelos para predecir la distribución potencial de las especies a escala temporal y espacial. La mayoría de estos estudios han sido enfocados a la respuesta de los ecosistemas al cambio climático o para la toma de decisiones en cuanto a la selección de especies con características más adecuadas a los nuevos escenarios de cambio climático (Bárcenas, 2015). En este sentido, se identificó que el monitoreo fenológico puede ser una herramienta que permita identificar las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de la vegetación en este caso de la RBMM y es capaz de generar información sobre la respuesta de las especies ante un clima cambiante.

Gracias a lo anterior, se pudieron establecer en algunos casos, umbrales de temperatura y precipitación entre los cuales se presentó una fase fenológica y de esta manera delimitar la tolerancia a las variables climáticas, de las especies que fueron objeto de estudio, sin dejar de considerar que no es el único elemento que influye en su crecimiento y desarrollo.

Aunque los umbrales identificados resultaron relevantes, las unidades calor se han utilizado para identificar el efecto de la temperatura sobre las plantas, como un índice de desarrollo de los cultivos y otras especies vegetales; ya que el uso de valores máximos, mínimos y promedio de temperatura no son suficientes por no encontrarse en sincronía con las fases (Villalpando *et al.*, 1991). En este trabajo,

se identificó que en algunos casos el inicio de una fase fenológica específica presentó requerimientos parecidos de unidades calor u horas frío acumuladas para comenzar con el desarrollo de la misma fase año con año, mientras que algunos otros valores llegaron a ser distintos. Se identificó que las horas frío en el caso de los frutales se encontraban por encima de las horas frío citadas en la bibliografía (De fina y Ravelo, 1985), en el caso de la manzana, requirió hasta 1200 horas frío mientras que en las referencias bibliográficas sus requerimientos se establecieron entre 900 y 1000 horas frío, lo mismo sucede con el durazno en el cual el frío requerido es de 600 horas frío y las horas calculadas fueron de hasta 780, y en el caso de la ciruela, los requerimientos de horas frío fueron los que más difirieron, pues la literatura los sitúa entre 400 y 500, el cálculo resultó en hasta 986 horas frío.

Algunos estudios anteriores como el desarrollado por Bárcenas (2015), examinaron la distribución potencial de algunas especies de pinos en México. Uno de los resultados obtenidos fue para la especie de *pinus pseudostrobus*., en donde identificó que las variables que más influyeron para determinar su distribución potencial fueron temperatura máxima del mes más cálido, precipitación máxima de las máximas mensuales, y precipitación del trimestre más cálido, mientras que variables como el tipo de suelo o la topografía tuvieron menor influencia en su distribución, comprobando de esta manera la importancia de la temperatura y precipitación en las especies.

Respecto al inicio y fin de las fases fenológicas de las distintas especies monitoreadas, ocurrieron en fechas diferentes en cada año de monitoreo; sin

embargo, a pesar de que la fenofase no inicia en la misma fecha, sí se encuentra dentro del periodo de ocurrencia del año o años anteriores. Esto podría ser explicado por la temporalidad con la que se realizaron las observaciones fenológicas, ya que fueron registradas con una periodicidad de 15 días, pues de acuerdo con Villalpando *et al.* (1991) determinaron que los monitoreos deben realizarse cada semana cuando la planta se encuentra en descanso y con mayor frecuencia cuando se detecta el inicio de la floración y brotación, razón por la cual, para trabajos futuros, la periodicidad con la que se realicen los monitoreos debe ser corregida.

En cuanto al sector agrícola, ha sido objeto de preocupación por la relación tan estrecha entre las comunidades mexicanas y su dependencia con las condiciones climáticas. Por esta razón, es comprensible que la mayoría de los datos fenológicos en México estén orientados a este sector, que instituciones como el INIFAP (2016) o trabajos como el de Gómez (1998) se enfoquen en identificar los requerimientos agroecológicos principalmente de cultivos y que los estudios sobre fenología forestal en nuestro país (Cortés, *et al.*, 2011) estén concentrados en pocas especies y a objetivos muy específicos. En este caso, la conformación de una red fenológica comunitaria fue capaz de generar información para diferentes sectores de la sociedad y sobre diferentes tipos de vegetación, permitió un conocimiento de la fenología de las principales especies forestales, frutales y cultivos de la RBMM, que han sido fuente de ingresos económicos y alimentos para muchas comunidades de esta región y objeto de conservación por ser una área natural protegida.

Los estudios sobre el impacto del cambio climático y la variabilidad climática en el sector agrícola mexicano se han desarrollado desde hace más de dos décadas con temas relacionados a la ocurrencia de sequías o los efectos del fenómeno “El Niño”. Estas investigaciones han estado centradas en cuatro vertientes; dos de ellas, el identificar el cambio en el rendimiento y el grado de aptitud para distintos cultivos ante las condiciones climáticas. Se han comenzado a estudiar los efectos del cambio climático en el inicio del periodo de lluvia, la calidad de la temporada de lluvias o el efecto en alguna otra variable climática que resulte crítica en el desarrollo de los cultivos, como una forma de idear medidas de adaptación a través del conocimiento tradicional (Monterroso, *et al.*, 2015). Por esta razón, se realizaron los talleres de seguimiento con las comunidades involucradas con el fin de informar sobre los avances de la investigación en términos de las condiciones climáticas y de esta forma, a partir del conocimiento de la población, proponer conjuntamente ideas para actuar ante los posibles cambios que se han estado presentando en las variables climáticas.

Se debe reconocer aún la falta de estudios que consideren a otros factores que afectan el desarrollo y producción agrícola, como la presencia de plagas y enfermedades bajo escenarios de cambio climático, pues son las áreas rurales en México las que se definen como más vulnerables por su dependencia a los recursos naturales y que a su vez son vulnerables a las condiciones climáticas (Aragón, *et al.*, 2015). Ante esta situación, el modelo de observación fenológica implementado en este trabajo, ha destinado una sección de su formato de observación al registro de la presencia de plagas en la vegetación, con el fin de

complementar la información fenológica de cada especie y considerando que algunas plagas responden a condiciones climáticas y pueden llegar a afectar a la producción de especies de importancia económica o de conservación; por lo tanto, aunque la presencia de plagas y/o enfermedades no es considerada una fase fenológica, tiene consecuencias para la vegetación y por lo tanto para las comunidades humanas.

De acuerdo con los principios de la Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE), entre los que se considera la colaboración entre los distintos sectores involucrados y los principales actores clave en el manejo de los ecosistemas y a diferentes escalas geográficas y que además integra sistemas de monitoreo a largo plazo, que permiten el aprendizaje y la apropiación de nuevas decisiones de manejo, empoderando a las personas del conocimiento para guiar su futuro en el contexto del cambio climático (CONANP, 2015), el monitoreo fenológico bien puede ser considerado como una alternativa de adaptación basada en ecosistemas, pues a lo largo del desarrollo de este trabajo, se identificó que estos principios básicos fueron aplicados al realizar esta actividad, pues se abordó el problema desde diferentes puntos de vista, desde la academia, hasta la parte comunitaria, trabajando en conjunto con los actores clave de esta región y llevando a cabo un monitoreo de más de tres años y que pretende continuar y extenderse a otras partes de México, cumpliendo así con el estatuto de integrar sistemas de monitoreo de largo plazo y a diferentes escalas geográficas. En la AbE, el conocimiento científico va de la mano con el conocimiento tradicional (CONANP, 2015), por esta razón, el papel de las comunidades mexicanas como generadores

y actores de una “ciencia ciudadana” ha cobrado gran importancia en los últimos años, ya que ha contribuido al conocimiento científico, a través del monitoreo de la dinámica de los ecosistemas.

Por otro lado, al identificarse los efectos del clima en la fenología y sus afectaciones en los servicios ecosistémicos, aún no queda claro cómo el uso de la información fenológica puede ser implementada en las prácticas de manejo de los recursos naturales. El mayor problema se ha centrado en describir únicamente los cambios ecológicos en lugar de ligar esta información con el manejo y las preocupaciones locales o regionales, se ha hecho énfasis en que la información fenológica es crucial para el manejo de los recursos naturales, pues facilita la identificación y evaluación de estrategias que ayuden a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales ante el cambio climático (Enquist *et al.*, 2013). Es por esto que se trabajó muy de cerca con las comunidades, con el fin de a partir de la información generada, las comunidades y demás personas interesadas puedan apropiarse de los resultados obtenidos e identificar la aplicación para idear a futuro estrategias de adaptación y/o conservación de sus bosques, cultivos y frutales.

Otro problema en el uso de la información fenológica para estos fines, es la falta de protocolos de observación y bases de datos estandarizados para las diferentes especies y regiones geográficas (Enquist *et al.*, 2013). Por ejemplo, los protocolos de observación de las distintas redes fenológicas como Nature’s Notebook perteneciente a la USA-National Phenology Network o los protocolos desarrollados por la European Phenology Network, se han centrado en desarrollar para cada especie una forma distinta de observación, de acuerdo al tipo de vegetación.

Durante la puesta en marcha de este proyecto, se logró generar un protocolo de observación general para todos los tipos de vegetación; sin embargo, se identificó que no sería suficientemente específico ni funcional para reportar la fenología por cada tipo de vegetación, razón por la cual en los trabajos futuros relacionados con esta investigación, se deben adecuar los protocolos de observación adecuados de acuerdo al tipo de vegetación que se pretende monitorear en México, diferenciando las fases fenológicas para cada especie.

En México se han desarrollado diferentes estudios para caracterizar las variaciones de algún elemento climático, a partir del uso de la información de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que ha permitido tener una idea del comportamiento del clima en un periodo de tiempo (Medina, 2002).

Respecto las condiciones climáticas, en el caso de la parte centro o de la estación Llano del Toro, el año más seco fue el 2014 solo 19 mm abajo del 2015 y el más húmedo el 2013. El año más cálido en esta estación fue el año 2015 y el más frío el año 2013. En la parte norte de la reserva en general se puede decir que el año 2014 resultó ser más frío en los meses de invierno respecto al año 2013, mientras que el año 2015 resultó ser más cálido durante estos meses respecto al año 2014, razón por la cual el periodo libre de heladas tuvo una menor duración en este año. En cuanto a precipitación, el año más húmedo fue 2014 muy parecido al año 2015 y el más seco el año 2013.

Estas condiciones se ven reflejadas en el crecimiento de los cultivos en el centro de capacitación de Alternare A.C, cuando el 29 de julio de 2014 se reporta un

atraso en la emergencia de plantas de frijol por exceso de lluvia y el 23 de octubre del mismo año se reportan plantas de maíz podridas por precipitaciones excesivas.

Un aspecto que llamó la atención durante este trabajo, fue que septiembre de 2013, registró la temperatura mínima más alta en las tres estaciones, cuando en los años 2015 y 2014, la temperatura mínima más alta se concentraba en el mes de junio. Comparado con las anomalías, este mes resultó más cálido que la climatología promedio. El uso de esta información puede ser utilizada para analizar el impacto de estos acontecimientos en la fenología de las especies. Aunque no se reportaron anomalías en la fenología de los cultivos o frutales en el centro de capacitación de Alternare A.C., la presencia de plagas en la especie *Malus* sp., o manzana se presentó en este año y además en 2015, existiendo una relación con los años más cálidos para esta zona. Con base en el reporte anual del Servicio Meteorológico Nacional, el año 2013 presentó una anomalía positiva de 1.2°C por arriba de lo normal, lo que lo catalogó como el segundo año más cálido desde 1971 (CONAGUA, 2013), mientras que el año 2015 presentó una anomalía de 1.1°C por arriba del promedio considerándolo también como uno de los años más cálidos.

No solo la temperatura y precipitación influyen en el desarrollo de las especies. Por ejemplo en el monitoreo del día 31 de julio de 2015 se reportó la caída de granizo que afectó a las plantas de maíz que se encontraban en la fase de floración, importante para los polinizadores, estas afectaciones resultan en asincronías entre especies que pueden traer como consecuencia pérdidas

económicas en la agricultura o en otros casos cambios en la dinámica de los ecosistemas (Donnelly *et al.*, 2011).

Finalmente, el objetivo principal de este trabajo fue la creación de una red fenológica comunitaria para generar información sobre los efectos del cambio climático en la vegetación de la RBMM y que esta información pueda ser apropiada por las comunidades para su beneficio. En México, el interés en el conocimiento de la fenología se ha ido incrementando en los últimos años. A partir, de la implementación de este proyecto, se han desarrollado diferentes iniciativas en México plasmadas en documentos como la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (SEMARNAT-INEC, 2012), la Estrategia de Cambio Climático desde las Áreas Protegidas (CONANP, 2015), o la Estrategia Nacional de Cambio Climático (Guerra *et al.*, 2013) en donde ahora se considera al monitoreo fenológico como una de las vastas estrategias de adaptación que deben implementarse en nuestro país para hacer frente al cambio climático.

Este interés desde el punto de vista institucional se nutre con el interés de la sociedad civil y de las comunidades que habitan cada uno de los ecosistemas de nuestro país, por el apego de conservar los recursos que les proveen de los medios para sobrevivir y en algunos casos por el propio valor intrínseco que dan las personas a los sistemas naturales en los que habitan; sin embargo, el tiempo en el que se ven los primeros resultados de esta actividad es considerable, por lo que resultó ser otro limitante para implementar esta red; sin embargo, estas problemáticas fueron afrontadas en la impartición de los talleres en las

comunidades en dónde se explicaron las ventajas de este proyecto, razón por la cual debe darse seguimiento y mantener informados a los voluntarios para seguir fomentado su interés en esta actividad.

Aunque los datos recabados hasta el momento siguen siendo pocos comparados con los de otras redes de observación en el mundo, resultaron suficientes para comenzar a comprender cómo responden las plantas ante un clima cambiante. Esta actividad marcó la pauta entre un vacío de redes fenológicas en México y la primera iniciativa de este tipo, que proporcionó un acercamiento para entender mejor la respuesta de la vegetación desde la escala local, escala desde la que deben ser implementadas las estrategias de adaptación ante el cambio climático atendiendo a las necesidades de la población y a las condiciones específicas de cada ecosistema y entendiendo que aunque el cambio climático es un fenómeno de escala global, sus efectos se ven reflejados de distinta manera a escala local.

CONCLUSIONES

A pesar de que el cambio climático es un fenómeno a escala global, sus consecuencias a escala local o regional dependerán de muchos factores. Para idear estrategias de adaptación, es necesario identificar las necesidades de las comunidades, las características y respuesta de los ecosistemas, además de la relación que existe entre el sistema natural y social.

La observación fenológica se utilizó como una herramienta para la generación de información para las comunidades; esta información, podría ser utilizada para idear sus propias estrategias de adaptación, pues permitió identificar cómo es la respuesta de las especies presentes en los ecosistemas y de los cultivos y especies de frutales ante la variabilidad del clima y en conjunto con la información climática se puede implementar un sistema de alertamiento temprano, para prevenir las consecuencias ante eventos climáticos adversos como sequías, heladas o lluvias extremas, para la toma de decisiones en cuanto a la selección de cultivos aptos a las condiciones climáticas esperadas e inclusive para la conservación del ecosistema.

A pesar de que el clima es uno de los factores que más influyen en el desarrollo de la vegetación, específicamente la temperatura, se deben tomar en cuenta otros factores que determinan el crecimiento de las plantas, como la precipitación, la humedad del suelo, o el tipo de suelo para tener una respuesta más certera del comportamiento de la vegetación ante el cambio climático; sin embargo, el conocimiento de la fenología permitió acercarnos a conocer esta respuesta de una

manera práctica, fácil y sin requerir un gran esfuerzo, pues se logró identificar un adelanto en la fecha de ocurrencia de algunas fases fenológicas, siendo más notorio en la fase de senescencia y en algunos casos en las fases de floración y desarrollo de las yemas.

En cuanto a la información climática, las anomalías indicaron que los meses de invierno y los meses de lluvias han estado presentando anomalías negativas; es decir, que la precipitación ha disminuido; en cuanto a precipitación anual acumulada, el año 2014 fue más seco, mientras que los años 2013 y 2015 presentaron valores de precipitación similares. Los meses de junio, julio y agosto se obtuvieron como los meses con las mayores precipitaciones. En promedio la temporada de lluvia en la RBMM tuvo una duración de 145 a 167 días; sin embargo, la temporada de lluvias ha estado disminuyendo su duración. En cuanto a la temperatura, el mes de abril resultó ser el más cálido y esporádicamente resultó ser el mes de mayo, mientras que enero resultó el mes con las temperaturas más bajas. Los meses de invierno se han mostrado más cálidos, mientras que los meses de primavera-verano han resultado con anomalías negativas.

Por otro lado, se identificó que la periodicidad y el número de ejemplares con los que se realizó el monitoreo fenológico fueron insuficientes, ya que en muchas ocasiones no se pudieron identificar con exactitud las fechas de inicio y fin de algunas fases fenológicas, esto trajo como consecuencia, el no poder calcular los requerimientos de frío y calor de algunas especies; por lo tanto, es necesario

ajustar el protocolo de observación en cuanto a la periodicidad de los monitoreos, y del número de ejemplares a monitorear.

La reciente participación de la sociedad civil en esta actividad y la incursión del sector académico en la evaluación de la repuesta fenológica ante las variables climáticas han tenido varios acercamientos con investigaciones muy específicas o desde el punto de vista agroclimático. Sin embargo, se ha dejado de lado la relación entre la fenología y las implicaciones en el ámbito social, razón por la cual se decidió desarrollar este trabajo, al identificarse que la vulnerabilidad de las comunidades va estrechamente relacionada con la vulnerabilidad y efectos del cambio climático en los sistemas naturales, cuando se depende de ellos como una forma de vida.

Así pues, durante la estancia realizada en la Universidad de Arizona, específicamente en la USA-National Phenology Network (USA-NPN) se pudo concluir que a pesar de que muchas redes de observación fenológica en el mundo tienen ya varios o cientos de años de haberse formado, existen otras relativamente jóvenes como la misma NPN, pues no resulta una actividad fácil conformar una red; iniciando con la búsqueda de participación voluntaria en esta actividad la convierte en algo complicado al fomentar el interés en las personas para que decidan monitorear; sumando a esto, la búsqueda de alguna institución gubernamental o académica interesada en una iniciativa de este tipo resulta otro inconveniente, además de la búsqueda de un equipo de trabajo especializado para cada uno de los aspectos relacionados con el monitoreo fenológico.

CONCLUSIONES

A pesar de todos estos aspectos, a través de este trabajo se ha dado el primer paso para la conformación de una pequeña red a nivel local, actividad que fue reafirmada con la realización del primer simposio denominado “Red Nacional de Fenología” en la UNAM, desarrollado en el marco de este trabajo de investigación y en dónde se comprobó el interés de algunas instituciones académicas, gubernamentales y de la sociedad civil en este tipo de iniciativas, marcando así la pauta para la conformación de la primera Red de Observación Fenológica Comunitaria en México.

REFERENCIAS

- Alcántara, I, López, J. y R. Garnica, (2011) "On the landslide event in 2010 in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Angangueo, Michoacán, Mexico" en *Landslides*. 9(2012): 263-273.
- Alfaro, E., Cid, L. y D. Enfield. (1998) "Relaciones entre el inicio y el término de la estación lluviosa en Centroamérica y los océanos Pacífico y Atlántico tropical" en *Investigaciones Marinas*. 26 (1998): 59-69.
- Alvarado, M.A., Foroughbakhch, R., Jurado, E. y A. Rocha, (2002) "El cambio climático y la fenología de las plantas" en *Ciencia UANL*. Volumen V(4): 493-500. Monterrey, México.
- Aragón, F., Ibarra, E. y A. Moreno, (2015) "Bases para la toma de decisiones" en Gay, C., y Rueda, C., (coordinadores) *Reporte mexicano de cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Grupo II*. México, pp. 29-38.
- Bárcenas, M, (2015) *Modelación de la distribución espacial y el riesgo de extinción de especies maderables pinus: una aproximación para el manejo forestal*. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 193.
- Barradas, V., Cervantes, J., Ramos, R., Puchet, C., Vázquez, P. y R. Granados, (2010) "Meso-scale climate change in the central mountain region of Veracruz State, Mexico". En: Bruijnzeel L., Scatena F., y L. Hamilton., (eds), *Tropical Montane Cloud Forests*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 549-556.
- Beaubien, E. y A. Hamman, (2011) "Plant phenology networks of citizen scientists: recommendations from two decades of experience in Canada" en *International Journal of Biometeorology*. 55(2011): 833-841.
- Bohle, H., Downing, T., y M. Watts, (1994) "Climate change and social vulnerability" en *Global Environmental Change*. 4(1): 37-48.
- Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, (2012) *Ley General de Cambio Climático*. [En línea], México, pp. 52. Disponible en: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_010616.pdf [Accesado el 16 de octubre de 2014].
- Castillo, F y F. Castellvi, (1996) *Agrometeorología*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España, pp. 517.
- Cervantes, S., Challenger, A., Hernández, C., Gay, C., Ordoñez, M., Ordoñez, A., Gual, M. y M. Rodríguez, (2015) "Ecosistemas de México" en Gay, C., y

- Rueda, C., (coordinadores) *Reporte mexicano de cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Grupo II*. México, pp. 121-146.
- Chmielewski, F., Müller, A. y E. Brunsl, (2003) "Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-200" en *Agricultural and Forest Meteorology*. 121(2004): 69-78.
- CONABIO, (2007) *Estrategia para la conservación y uso sustentable de la diversidad biológica del Estado de Michoacán*. [En línea] Primera edición, México, D.F. Pp. 79. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EEB_MICHOACAN_2007.pdf
- CONABIO, (2016) "Alnus acuminata Kunth" en *Nova Genera et Species Plantarum* [En línea] 2(20.1817): 45-48. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf
- CONAFOR, (2016) *Pinus leiophylla Schl. & Cham*. [En línea] pp. 7. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/967Pinus%20leiophylla.pdf>
- CONAGUA, (2013) *Reporte del clima en México. Reporte anual 2013*. [En línea] Comisión Nacional del Agua, coordinación general del Servicio Meteorológico Nacional. México, D.F. Disponible en: <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2013.pdf> [Accesado el día 19 de agosto de 2016].
- CONANP, (2001) Plan de manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Enero de 2001, México pp. 138.
- CONANP, (2015) *Estrategia de cambio climático desde las Áreas Naturales Protegidas: una convocatoria para la resiliencia de México 2015-2020*. Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, México, pp. 60.
- CONANP, (2016a) *Las Áreas Naturales Protegidas: respuestas naturales frente al cambio climático*. Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, México, pp. 15.
- CONANP, (2016b) *Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Descripción de la problemática*. Manifestación de impacto regulatorio, pp. 23.
- CONANP-SEMARNAT, (2012) *Memorias del Taller de Identificación de Prioridades de Investigación en Materia de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático Para el Manejo y Conservación de la Áreas Naturales Protegidas y los Recursos Naturales*. Primera edición, Alianza México Resiliente, México, pp. 28.
- Conde, C., (2007) *México y el cambio climático global*. [En línea] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional Autónoma de

- México. México, Pp. 31. Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf> [Accesado el día 19 de junio de 2016].
- Cornejo, G., Casas, A., Farfán, B., Villaseñor, J., y G. Ibarra, (2003) “Flora y vegetación de las zonas núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México” en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 73(2003): 43-62.
- Cornelius, Ch., Petermeier, H., Estrella, N. y A. Menzel, (2011) “A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording” en *International Journal of Biometeorology*. 55(2011): 867-877.
- Cortés, J., Cornejo, G. y G. Ibarra, (2011) “Fenología reproductiva de las especies arbóreas de un bosque neotropical” en *Interciencia*. 36(8): 608-613.
- Crimmins, T., Barnett, L., Denny, E., Rosemartin, A., Schaffer, S. y J. Weltzin., (en preparación) *From tiny acorns grow mighty oaks: What we've learned from nurturing Nature's Notebook*. USA-National Phenology Network. Estados Unidos de América.
- De Fina, A. y A. Ravelo, (1985) *Climatología y fenología agrícolas*, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 4° edición, Buenos Aires, pp. 354.
- Deguignet, M., Juffe, D., Harrison, J., MacSharry, B., Burgess, N. y N. Kingston, (2014) *United Nations List of Protected Areas*. United Nations Environment Program –World Conservation Monitoring Centre: Cambridge, UK, pp. 33.
- DOF, (2009) *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. [En línea], Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, México, pp. 98. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/Documents/PEC_C_DOF.pdf [Accesado el día 23 de octubre de 2014].
- DOF, (2010) *Declaratoria de emergencia por la ocurrencia de lluvias severas el día 3 de febrero de 2010, en 5 municipios del Estado de Michoacán de Ocampo*. [En línea] Secretaría de Gobernación, México, pp. 3. Disponible en: dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5132859
- Dong, Z., Pan, Z., An, P., Wang, L., Zhang, J., He, Di., Han, H. y X. Pan, (2014) “A novel method for quantitatively evaluating agricultural vulnerability to climate change” en *Revista Ecological indicators*, 48: 49-54.
- Donnelly, A., Caffarra, A. y B. O'Neill, (2011) “A review of climate-driven mismatches between interdependent phenophases in terrestrial and aquatic ecosystems” en *International Journal of Biometeorology*. 55(2011): 805-817.

- Enquist, C., (2011) *Phenology-linked indicators of climate change impacts on society and ecosystems*” USA-National Phenology Network, Abril de 2011, Tucson, Arizona, pp. 4.
- Enquist, C., Kellermann, J., Gerst, K. y A. Miller, (2013) “Phenology research for natural resource management in the United States” en *International Journal of Biometeorology*, pp. 12, DOI 10.1007/s00484-013-0772-6
- FAO, (2009) *Adecuar los bosques al cambio climático. Una perspectiva global de los efectos del cambio climático sobre los bosques y las poblaciones y opciones de adaptación al mismo*, nota de orientación, Finlandia, pp. 39.
- Frankenberger, T., (2014) “Agricultural village resilience in Africa” Symposium on *Arid Lands Agriculture, Food Security and Health*. University of Arizona. 30 de octubre de 2014.
- Galeana, H., Chavez, O., Ventura, E. y F. Ortega, (2015) “Análisis de un deslizamiento de ladera formada por suelos residuales en la microcuenca El Ventilados, Angangueo, Michoacán, México” [En línea] en *Research*, pp. 1-11. Disponible en: <file:///C:/Users/Reyes%20Glez/Downloads/c3%202013%20IX%20CII.pdf> [Accesado el 25 de mayo de 2015].
- García, F. e I. Cruz, (2008) “Fechas de inicio y terminación de la temporada de lluvias en la región Pacífico Norte” en *Ingeniería hidráulica de México*. XXIII(3): 179-188.
- Gómez, J., (1998) *Agroclimatología y espacio geográfico en el noreste del Estado de Morelos*. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 279.
- Granados, R. y M. Medina, (2012) “Los indicadores climáticos en la planeación agrícola” en Granados, R. y Trujillo, R. (coordinadoras) *Centro-Occidente de México. Variación climática e impactos en la producción agrícola*. Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 51-62.
- Granderson, A. (2014) “Making sense of climate change risk and responses at the community level: a cultural-political lens” en *Climate Risk Management*. 3(2014): 55-64.
- Guerra, J., Lacy, R., Barnés, F., Bugada, B., Ólea, F., Muñozcano, L., Cortina, L., Echegoyen, M., Alarcón, S., Ayala, M., Cárdenes, I., Castro, M., Cuevas, G., Manrique, H., González, V., Lahoz, D., López, f., Martín, L., Mosqueda, E., Olivares, E., Nieto, J., Pígueron, C., y M., Trejo, (2013) *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. [En línea] Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales, México, pp. 64, disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf [Accesado el día 18 de octubre de 2014].

- Hoth, J., (1997) *Reunión de América del Norte sobre la Mariposa Monarca*, Commission for Environmental Cooperation, Montréal, Québec, pp. 428.
- INIFAP, (2016) *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. [En línea]. Pp. 70-110. Disponible en <http://www.inifapcirpac.gob.mx/PotencialProductivo/Jalisco/AltosNorte/RegionAltosNorteReqAgroecologicos.pdf> [Accesado el 29 de marzo de 2016].
- IPCC, (2001) Tercer informe de evaluación Cambio Climático, 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Parte de la contribución del grupo de trabajo II al tercer informe de evaluación Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [En línea] IPCC, Ginebra, Suiza, pp. 92, disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf> [Accesado el día 20 de octubre de 2014].
- IPCC, (2007), Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. [En línea] IPCC, Ginebra, Suiza, pp. 104, disponible en: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf [Accesado el día 20 de octubre de 2014].
- Janssen, M., Schoon, M., Ke, W. y K., Börner, (2006) “Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change” en *Global Environmental Change*. 16(3): 240-252.
- Jönsson, A. Eklundh, L., Hellström, M., Barring, L. y P. Jönsson, (2010) “Annual changes in MODIS vegetation indices of Swedish coniferus forest in relation to snow dynamic and tree phenology” en *Remote Sensing of Environment*. 114(2010): 2719-2730.
- Kiem, A. y E. Austin, (2013) “Drought and the future of rural communities: opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia” en *Global Environmental Change*. 23(2013): 1307-1316.
- López, J e I. Alcántara, (2012) “Land-use change and hillslope instability in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, central Mexico” en *Land Degradation and Development*. 23(4): 384-397.
- López, J., (2007) *Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006-2007)*. Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca, WWF-FMCN, México, D.F, pp. 36.
- Loredo, O., Rodríguez, J. y M. Ramos, (2002) “Aprovechamiento de recursos vegetales en una localidad de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México” en *Etnobiología*. 2(2002): 23-60.

- Magaña, V. y C. Gay, (2002) "Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos". En *Gaceta ecológica octubre-diciembre*. [En línea] México. 65: 7-23. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906501.pdf> [Accesado el día 19 de noviembre de 2014].
- Manchado, R. y A. García de León, (2012) "Población y actividades económicas" en Manchado, R. (editor) *La región y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. Análisis e intervención territorial para el desarrollo sostenible*, Universidad de Granada, pp. 225.
- Manchado, R. y J. López, (2012) "Medio físico" en Manchado, R. (editor) *La región y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. Análisis e intervención territorial para el desarrollo sostenible*, Universidad de Granada, pp. 225.
- Manzo, L., López, J. e I. Ayala, (2014) "Role of forest conservation in lessening degradation in a temperate region: the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico" en *Journal of Environmental Management*. 138(2014): 55-66.
- Medina, G., Ruiz, J. y A. María, (2003) *SICA. Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas versión 2.5. Documentación y manual de usuario*. Tema didáctico Núm. 2. Segunda edición, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de investigación Regional Norte-Centro, Campo experimental Calera, pp. 74.
- Medina, M., (2002) *Regionalización agroclimática de la zona sur del Distrito Federal para actividades agrícolas, pecuarias y forestales*. Tesis de maestría. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 489.
- Meier, U., (2001) *Estudio de plantas mono y dicotiledóneas. BBCH monografía*. [En línea] Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura, edición 2001, pp. 149. Disponible en: http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/bbch/BBCH-Skala_spanisch.pdf [Accesado el 20 de junio de 2016].
- Menzell, A., Sparks, T., Estrella, N. y E. Koch, (2006) "European phenological response to climate change matches the warming pattern" en *Journal Global Change Biology* [En línea] 12(2006):1969-1976. Disponible en: http://faculty.jsd.claremont.edu/emorhardt/159/pdfs/2007/1_23_07.pdf [Accesado el día 7 de abril de 2015].
- Merino, L. y A. Hernández, (2004) "Destrucción de instituciones comunitarias y deterioro de los bosques en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Michoacán, México" en *Revista Mexicana de Sociología*. México, D.F. 66(2): 261-309.

- Mérola, R. y S. Díaz, (2012) *Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras* [En línea] Universidad de la empresa, Facultad de ciencias agrarias, Trabajo final Curso de post-grado: Producción de semillas de plantas forrajeras, Uruguay, Montevideo, pp. 35, disponible en: <http://www.pasturasdeamerica.com/articulos-interes/notas-tecnicas/inhibir-dormancia-semillas-plantas-forrajeras/inhibir-dormancia-semillas-plantas-forrajeras.pdf> [Accesado el día 15 de octubre de 2014].
- Miller, P., Lanier, W. y S. Brandt, (2001) *Using growing degree days to predict plant stages*. Montana State University, Agosto 7/2001, pp. 8.
- Monterroso, A., Gómez, J., Lluch, S., Cobos, M., Sáenz, C., Pérez, R., Martínez, C., Marquez, C. y J. Boca, (2015) “Sistemas de producción de alimentos y seguridad alimentaria” en Gay, C., y Rueda, C., (coordinadores) *Reporte mexicano de cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación. Grupo II*. México, pp. 97-118.
- Morzaria, H., Turk, P. y M. Moreno, (2013) “Social indicators of vulnerability for fishing communities in the Norther Gulf of California, México: implications for climate change” en *Marine Policy*. 45: 183-193.
- Navarrete, J., Ramírez, I. y D. Pérez, (2011) “Logging within protected áreas: spatial evaluation of Monarch Butterfly Biosphere Reserve, México” en *Forest Ecology and Management*. 262(2011): 646-654.
- NEON, (2013b), *FieldScope Unit 2. Exploring the FieldScope Seasonal Visualization Tool* [En línea] National Geographic Society’s FieldScope Program, National Ecological Observatory Network Citizen Science Academy y Project BudBurst, pp. 13, disponible en: http://budburst.org/documents/871408/1044448/FS_Unit_2.pdf/681de63b-5127-4a1f-a39b-c52f74d6cc1e [Accesado el día 14 de octubre de 2014].
- NEON, (2013c), *FieldScope Unit 3. Discovering the Growing Degree Days Tool* [En línea] National Geographic Society’s FieldScope Program, National Ecological Observatory Network Citizen Science Academy y Project BudBurst, pp. 14, disponible en: http://budburst.org/documents/871408/1044448/FS_Unit_3.pdf/5b4c635f-2d09-4055-a881-35a174d0085d [Accesado el día 15 de octubre de 2014].
- Nilsson, A., Stige, L., Jerstad, K., Wiggo, O., Slagsvold, T., Knudsen, E., Walseng, B. y N. Stenseth, (2011) “To make the most of what we have: extracting phenological data from nestling measurements” en *International Journal of Biometeorology*. 55(2011): 797-804.
- Parmesan, C., (2006) “Ecological an evolutionary responses to recent climate change” en *Annual Review. Of Ecology, Evolution and Systematics* [En línea]. 37: 637-669. Disponible en: http://www.planta.cn/forum/files_planta/ecological_and_evolutionary_respon

- ses_to _recent_climate_change_399.pdf [Accesado el día 7 de abril de 2015].
- Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S., Chopra, K., Dasgupta, P., Dietz, T., Duraiappah, A., Hassan, R., Kasperson, R., Leemans, R., May, R., McMichael, T., Pingali P., Samper, Ch., Scholes, R., Watson, R., Shidong, Z., . Ash, N., Bennett, E., Kumar, P., Lee, M., Raudsepp-Hearne, C., Simons, H., Thonell, J., M. Zurek, (2005) *Ecosystems and Human well-being*. Millennium Ecosystem Assessment, Washington, pp.15.
- Reyes, E., (2013) *Aplicación de un modelo de observación fenológica comunitaria para identificar tendencias del clima en el municipio Zitácuaro, Michoacán*. Tesis de licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 122.
- Richardson, A., Keenan, T., Migliavacca, M. y Y. Ryu, (2012) "Climate change, phenology, and control of vegetation feedbacks to the climate system" en *International Journal of Biometeorology*. 169(2013): 156-173.
- Rzedowski, J., (1978) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Editorial Limusa, Primera edición, México. Pp. 504.
- Sánchez, G. y G. Arrigaga, (2015), Habitantes de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, trabajadores del centro de Capacitación de Alternare, A.C. y realizaron monitoreo fenológico en este sitio, comunicación personal.
- Schwartz, M., (2003) "Introduction" en Schwartz, M. (Editor) *Phenology: an integrative environmental science*. Kluwer Academic Publishers, Estados Unidos de América. Pp. 564.
- Schwartz, M., Betancourt, J. y J. Weltzin, (2012) "From Carprio's lilacs to de USA National Phenology Network" en *Frontiers in ecology and the environment*. 10(6): 324-327. Estados Unidos de América.
- Segundo, G. y J. García, (2012) Habitantes de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, trabajadores del centro de Capacitación de Alternare, A.C. y realizaron monitoreo fenológico en el municipio de Zitácuaro, Michoacán, comunicación personal.
- SEMARNAT-INEC, (2012) "Programas que comprenden medidas para facilitar la adecuada adaptación al cambio climático" en *México. Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Primera edición, México, pp. 340.
- Sonwa, D., (2012) "Vulnerability, forest-related sectors and climate change adaptation: the case of Cameroon" en *Forest Policy and Economics*. 23(2012): 1-9.

- Torres, E., (1995) *Agrometeorología* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, pp. 154.
- Trejo, I., Hernández, J. y L. Villers, (2016) *Afectación de las comunidades vegetales de México ante el cambio climático*. En XI Encuentro de Geógrafos de América Latina. Geopolítica, globalización y cambio ambiental: retos para el desarrollo Latinoamericano. Bogotá, Colombia. Pp.15.
- USA-National Phenology Network, (2011) *Phenology as an indicator of environmental variation and climate change impact*. Abril de 2011, pp. 2, Tucson, Arizona.
- Villalpando, F. y E. García, (1993) *Agroclimatología del Estado de Jalisco*. Universidad de Guadalajara, pp. 40.
- Villalpando, F., del Real, I. y J. Ruiz, (1991) *Temperatura y fenología agrícola*. Agroclimatología, S. A. de C.V. Guadalajara, Jal. 1991, pp. 75.
- WWF, (2013) *Degradación forestal en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca 2012-2013*. Resumen ejecutivo, WWF y Fondo Monarca, pp.3.
- Zarco, (2012) "Turismo" en Manchado, R. (editor) *La región y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México. Análisis e intervención territorial para el desarrollo sostenible*, Universidad de Granada, pp. 225.

Páginas web

- Alternare, A.C., (2015) *Programas: Conservación de bosque y agua*, [En línea]. Disponible en: <http://www.alternare.org/> [Accesado el 14 de marzo de 2016].
- CONABIO, (2012) "Bosques templados" en *Biodiversidad Mexicana* [En línea], disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado.html> [Accesado el día 29 de octubre de 2014].
- CONAFOR, (2010). *Zona Lacustre y Oriente, áreas de atención especial para el control de plagas forestales*. [En línea]. Disponible en: http://conaformichoacan.blogspot.mx/2010_04_01_archive.html [Accesado el 18 de agosto de 2015].
- El Universal, (2010) *Deforestación causa deslaves en Michoacán*. [En línea]. Disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/658062.html> [Accesado el 11 de mayo de 2015].
- Forest Forecast, (2015) Disponible en: <http://forestforecasts.org/> [Accesado el 20 de octubre de 2014].

- INEGI, (2010) *Censo de Población y vivienda 2010*. [En línea] Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=pob&c=1 [Accesado el 11 de mayo de 2015].
- La jornada, (2010) *Deslave ha causado 22 muertes en Michoacán; 83 desaparecidos*. [En línea]. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2010/02/08/estados/031n1est> [Accesado el 11 de mayo de 2015].
- Montalvo, T., (2010). "Crecimiento poblacional, deslaves y los riesgos de la tragedia humana en *Expansión en alianza con CNN*". [En línea]. Disponible en http://mexico.cnn.com/nacional/2010/09/30/crecimiento-poblacional-deslaves-y-los-riesgos-de-tragedia-humana_ [Accesado el 11 de mayo de 2015].
- SIAP, (2014) "Veza o Janamargo. *Vicia sativa*" [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/veza-o-janamargo/> [Accesado el 23 de septiembre de 2015].
- USA-NPN, (2015) *Why Phenology?* [En línea]. Disponible en: <https://www.usanpn.org/about/why-phenology> [Accesado el 18 de noviembre de 2015].