

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Estudio Fenológico de *Pinus johannis* M.-F. Robert en los Estados de Coahuila y  
Zacatecas

Por:

**ROCÍO MENDIETA OVIEDO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Estudio Fenológico de *Pinus johannis* M.-F. Robert en los Estados de Coahuila y  
Zacatecas

Por:

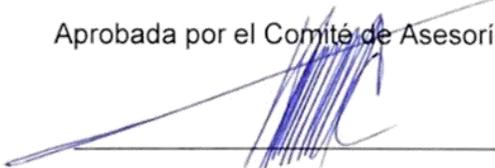
**ROCÍO MENDIETA OVIEDO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

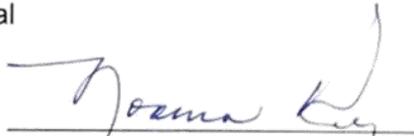
**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Celestino Flores López  
Asesor Principal

  
Dr. Jorge Méndez González

Coasesor

  
Dra. Norma Angélica Ruiz Torres

Coasesor

  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2019



Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38111-425103001-2175. Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A DIOS: por darme sabiduría, salud y permitirme llegar a un logro más.

A MIS PADRES: Juan Mendieta Sanjuán y Honorina Oviedo Arredondo quienes, con su confianza, cariño, sin escatimar esfuerzo alguno, me han convertido en una mejor persona, mi agradecimiento será eterno para los dos.

A MIS TIOS: Isidoro Mendieta Sanjuán, Carolina Mendieta Sanjuán, quienes me han brindado su apoyo incondicional desde que tengo memoria y siempre en los momentos difíciles me motivan para que siga adelante. También a Eva Oviedo Arredondo y Guadalupe Oviedo Arredondo.

A MIS ABUELOS: Teresa Sanjuán Flores que con sus chistes, cuentos y anécdotas siempre busca darme buenos consejos, a Isidoro Mendieta Salinas <sup>†</sup> que aunque en estos momentos no está conmigo fue una persona ejemplar que con su sabiduría me ayudo a que fuera una mejor persona aun en sus últimos días de vida, a Polonia Arredondo Sánchez y Ruperto Oviedo <sup>†</sup> que a pesar de que no crecí conviviendo con ellos siempre han estado pendiente de mí.

A MIS HERMANOS: Juan Martín Mendieta Oviedo, Juan Mendieta Oviedo, Rosalina Mendieta Oviedo y Oscar Isidoro Mendieta Oviedo, por su apoyo incondicional, cariño brindado a lo largo de mi vida, por sus consejos y experiencias compartidas.

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) por el tiempo que me permitió formar parte de ella, por la hospitalidad que me dio en mi estancia.

Al Dr. Celestino Flores López por la disposición, el apoyo económico que sin ello no hubiese podido lograr lo obtenido, la paciencia, el tiempo dedicado, la confianza brindada durante este periodo de titulación, por la amistad, la oportunidad de terminar este lapso en mi vida, y por los consejos con los cuales siempre había una motivación para seguir y aspirar a más logros.

Al Dr. Jorge Méndez González que además de ser mi maestro es un gran amigo a quien estaré infinitamente agradecida por la confianza, la amistad brindada y el apoyo otorgado para alcanzar más logros, con el que además compartí experiencias que siempre serán de los mejores momentos vividos en la universidad y en mi vida.

Al Ing. Gil Cabrera por la disposición, la confianza, por su paciencia y amistad brindada en este lapso de mi vida.

A la Dra. Norma Angélica Ruiz Torres por el apoyo, la confianza y tiempo dedicado.

Al Ing. Sergio Braham, Ing. Jorge David Flores Flores, M.C José Aniceto Díaz Balderas, M.C. José Armando Nájera Castro, Ing. José Antonio Ramírez, Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, M.C. Melchor García Valdés, M.C. Andrés Nájera Díaz, M.C. Salvador Valencia Manzo, Dr. Alejandro Zárate Lupercio, M.C. Gabriela Ramírez Fuentes y a todos los profesores del Departamento Forestal y no pertenecientes a este departamento que en algún momento me apoyaron en mi formación como profesional.

A Fátima Monserrat Méndez Encina y familia la cual me hizo sentir parte de ella, por su apoyo, experiencias compartidas y amistad incondicional durante toda la carrera.

A Marisol Gomes Santos por su apoyo incondicional, por la amistad otorgada durante la estancia en la universidad, por sus consejos y experiencias compartidas que fueron de las mejores en esa etapa.

A Marcela Rivera Contreras por su amistad y apoyo, con la que compartí muchas experiencias tanto de ella como mías.

A Santiago Mendoza Morales por su apoyo incondicional durante toda la carrera y su amistad brindada, amigo que estuvo conmigo en momentos alegres y tristes.

A José de Jesús de Villar Ponce por la amistad brindada.

A Bárbara Lilibeth Sánchez Sánchez por su ayuda brindada en la recolección de datos para esta tesis y la amistad brindada.

Al Ing. Jesús Pérez Días por la disposición en ayudarme en la realización de esta tesis, en las evaluaciones realizadas en campo y por la amistad otorgada.

A mis compañeros y amigos con los que compartí experiencias buenas y malas en su momento, Aarón Sandoval, Juan de Jesús Pérez, Luis Enrique Hernández, Edgar Guzmán, Otoniel Cortés, Juan Carlos Espinoza, Judith Reyes, Blanca Reyna López.

A todos mis compañeros de forestal con los que compartí experiencias las cuales son parte de la historia de mi vida.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | i      |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | iii    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | iv     |
| RESUMEN.....   | vii    |
| ABSTRACT.....  | viii   |
| 1 INTRODUCCIÓN.....  | 1      |
| 1.1 Objetivos e hipótesis .....                                    | 3      |
| 2 REVISIÓN DE LITERATURA .....                                     | 5      |
| 2.1.1 <i>Pinus johannis</i> M. F. Robert.....                      | 5      |
| 2.1.2 Descripción botánica .....                                   | 5      |
| 2.1.3 Aspectos ecológicos .....                                    | 6      |
| 2.1.4 Estatus en el que se encuentra .....                         | 6      |
| 1.2 Fenología .....  | 7      |
| 2.2.1 Importancia de la fenología en pinos .....                   | 8      |
| 2.2.2 Importancia y realización de una evaluación fenológica ..... | 8      |
| 2.2.3 Importancia de los estudios fenológicos en campo .....       | 9      |
| 2.3 Calendario fenológico .....                                    | 9      |
| 2.4 Modelos de crecimiento .....                                   | 10     |
| 2.5 Diagrama ombrotérmico .....                                    | 10     |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 12     |
| 3.1 Descripción del área de estudio.....                           | 12     |
| 3.1.1 Ubicación geográfica .....                                   | 12     |
| 3.1.2 Edafología .....   | 12     |
| 3.2 Levantamiento de datos.....                                    | 15     |
| 3.2.1 Selección de árboles .....                                   | 15     |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.2 Selección de ramas .....   | 16 |
| 3.2.3 Observaciones fenológicas.....   | 17 |
| 3.3 Caracterización Fenológica.....  | 17 |
| 3.4 Periodos de fases fenológicas .....  | 18 |
| 3.5 Ecuaciones de ajuste del crecimiento del brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado .....  | 19 |
| 3.6 Comparación de crecimiento de brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado en las dos poblaciones evaluadas .....                          | 19 |
| 3.7 Comparación de medias a través de pruebas de T Student.....  | 20 |
| 3.8 Comparación de crecimiento de brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado en las dos poblaciones con temperatura y precipitación.....     | 21 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 22 |
| 4.1 Descripción de fases fenológicas.....  | 22 |
| 4.2 Sincronización de fases fenológicas en las dos poblaciones evaluadas. ....   | 28 |
| 4.3 Crecimiento de los brotes vegetativos, masculinos y cono fertilizado .....   | 34 |
| 4.4.1 Cono Fertilizado .....   | 36 |
| 4.4.2 Yema Vegetativa .....  | 38 |
| 4.4.3 Yema Masculina uno .....   | 38 |
| 4.4.4 Yema masculina dos .....   | 40 |
| 4.6 Comparación de medias del desarrollo del cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas.....   | 41 |
| 4.7 Comparación de crecimiento del cono fertilizado, yema vegetativa, y yemas masculinas en las dos poblaciones, con temperatura y precipitación ..... | 44 |
| 5 CONCLUSIONES .....   | 53 |
| 6 RECOMENDACIONES .....  | 54 |
| 7 LITERATURA CITADA.....   | 55 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   | Página |
|---|--------|
| Cuadro 1. Ecuaciones para curvas de crecimiento .....   | 20     |
| Cuadro 2. Calendario fenológico de los estróbilos femeninos y masculinos. ....  | 31     |
| Cuadro 3. Calendario fenológico de la yema vegetativa.....  | 32     |
| Cuadro 4. Calendario fenológico del cono fertilizado.....   | 33     |
| Cuadro 5. Parámetros de ecuación cuadrática ( $Y = \beta_0 X^2 + \beta_1 X + \beta_2$ ) por<br>localidad, parte vegetativa y variable en <i>Pinus johannis</i> . .... | 35     |
| Cuadro 6. Valores de significancia para el cono fertilizado. ....   | 42     |
| Cuadro 7. Valores de significancia para la yema vegetativa.....   | 43     |
| Cuadro 8. Valores de significancia para la yema masculina uno. ....   | 43     |
| Cuadro 9. Valores de significancia para la yema masculina dos. ....   | 44     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Localización de los árboles evaluados en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila de Zaragoza y Salaverna, Mazapil, Zacatecas. ....   | 13     |
| Figura 2. Desarrollo de estróbilos masculinos (M) de <i>Pinus johannis</i> donde se describen las fases fenológicas y subfase identificándose cada uno de los cambios morfológicos del árbol macho. ....   | 23     |
| Figura 3. Desarrollo de estróbilos femeninos (F) de <i>Pinus johannis</i> donde se describen las fases fenológicas y se identifican los cambios morfológicos del árbol hembra. ....  | 25     |
| Figura 4. Desarrollo de yema vegetativa (Y) descrita en cinco fases fenológicas. ....  | 26     |
| Figura 5. Conos fertilizados durante la evaluación realizada en el periodo de enero 2018 a enero del 2019, descritos en siete fases fenológicas. ....  | 27     |
| Figura 6. Comparación de curvas de crecimiento del cono fertilizado de <i>Pinus johannis</i> en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales obtenidos de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático. .... | 37     |
| Figura 7. Comparación de curvas de crecimiento de la yema vegetativa de <i>Pinus johannis</i> en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático. ....          | 39     |
| Figura 8. Comparación de curvas de crecimiento de la yema masculina uno de <i>Pinus johannis</i> en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores  |        |

|   |    |
|---|----|
| mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático.....   | 40 |
| Figura 9. Comparación de curvas de crecimiento de la yema masculina dos de <i>Pinus johannis</i> en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los simbolos representan los valores mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático..... | 41 |
| Figura 10. Comparación de crecimiento de cono fertilizado de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila. ....   | 45 |
| Figura 11. Comparación de crecimiento de cono fertilizado de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas. ....   | 46 |
| Figura 12. Comparación de crecimiento de la yema vegetativa de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila. ....   | 47 |
| Figura 13. Comparación de crecimiento de la yema vegetativa de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas. ....   | 48 |
| Figura 14. Comparación de crecimiento de la yema masculina uno de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila. ....  | 49 |
| Figura 15. Comparación de crecimiento de yema masculina uno de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas. ....   | 50 |
| Figura 16. Comparación de crecimiento de yema masculina dos de <i>Pinus johannis</i> con temperatura y precipitación de Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila. ....   | 51 |

Figura 17. Comparación de crecimiento de yema masculina dos de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas. .... 52

## RESUMEN

El estudio se realizó en dos poblaciones de *Pinus johannis*, una en Mesa de Las Tablas, Arteaga, Coahuila, y otra en Salaverna, Mazapil, Zacatecas. Se evaluó fenología en un periodo de un año (enero 2018 a enero 2019), en la primera área se seleccionaron 12 pares de árboles (hembra y macho), en la segunda se seleccionaron 13 pares, los cuales se marcaron a por lo menos 200 metros de distancia uno del otro. En esta selección de pares de árboles a evaluar, se consideró que estuvieran lo más cerca posible, se marcaron y se tomó fotografía de las fases fenológicas (yemas, flores y conos) sobre un papel milimétrico, para realizar las mediciones mensuales para el análisis de datos, donde se identificó la sincronización, los periodos de crecimiento de yemas y conos fertilizados del año de evaluación, y la relación con la precipitación y temperatura, así como también se identificaron las diferencias de desarrollo de las fenofases con una comparación de medias con pruebas de T de Student.

Con las imágenes obtenidas, se describieron nueve fases fenológicas y una subfase para las flores masculinas, ocho para flores femeninas, siete para el cono fertilizado y cinco para la yema vegetativa, de acuerdo a las clasificaciones de diferentes autores. Las fases fenológicas y las subfases se graficaron mensualmente, donde se observó la sincronización de las dos poblaciones en los meses de junio y julio y un desfase en el cono fertilizado entre poblaciones, considerando que en Mesa de las Tablas la maduración del cono fertilizado y desprendimiento de semilla comenzó en octubre y en Salaverna, Mazapil, Zacatecas este proceso se llevó a cabo en noviembre.

Se realizaron curvas de crecimiento de conos fertilizados, yemas vegetativas y yemas masculinas, utilizando una ecuación cuadrática, obteniéndose valores  $R^2$  de 0.5 a 0.9, así como también se hizo una comparación de medias con un periodo de 7 a 8 meses con pruebas de T Student, donde se comprobó que el desarrollo del cono fertilizado fue diferente en las dos poblaciones, y de las yemas fue similar respecto a la longitud.

Se relacionaron los periodos de crecimiento con precipitación y temperatura en un diagrama ombrotérmico, en el que se observó que el incremento de conos fertilizados, yemas vegetativas y yemas masculinas empezó cuando comenzaron las lluvias y aumentó la temperatura, culminando cuando estas disminuyen.

Palabras clave: fenología, *Pinus johannis*, crecimiento, calendario fenológico.

## ABSTRACT

The study was conducted in two populations of *Pinus johannis*, one in Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila, and another in Salaverna, Mazapil, Zacatecas. Phenology was evaluated over a period of one year (January 2018 to January 2019), 12 pairs of trees (female and male) were selected in the first area, in the second, 13 pairs were selected, and marked, at least 200 meters away from each other. In this selection of pairs of trees to be evaluated, they were considered as close as possible, photographs of the phenological phases (buds, flowers and cones) were marked and taken on a millimeter paper, to carry out the monthly measurements and used for data analysis, where the flowers synchronization was identified, as well as the buds growth periods and cones fertilized the evaluation year. Also, the relationship with precipitation and temperature, as well as the differences in growth of the phenophases were identified with a Student's T tests.

With the images obtained, nine phenological phases and a subphase were described for male flowers, eight for female flowers, seven for the fertilized cone and five for the vegetative bud, according to the classifications of different authors. The phenological phases and the subphases were plotted monthly, where the synchronization of the two populations was observed in the months of June and July and a gap in the fertilized cone between populations, considering that in Mesa de las Tablas the maturation of the fertilized cone and detachment of seed began in October, and in Salaverna, Mazapil, Zacatecas this process occurred in November.

Growth curves of fertilized cones, vegetative buds and male buds were performed, using a quadratic equation, obtaining  $R^2$  values of 0.5 to 0.9, as well as a comparison of means with a period of 7 to 8 months with T Student Test, where found that the development of the fertilized cone was different in the two populations, and of the buds was similar with respect to their length.

The periods of growth were related to precipitation and temperature in an ombrothermic diagram, in which it was observed that the increase in fertilized cones, vegetative buds and male buds began when the rains, and when the temperature increased, culminating when their decrease.

Key words: phenology, *Pinus johannis*, growth, phenological calendar.

## 1 INTRODUCCIÓN

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha identificado países en los que se encuentra una riqueza biológica considerable que se les denomina mega diversos entre los cuales se encuentra México, con una ubicación geográfica y topográfica que da lugar a su variedad de climas, que van desde fríos a subhúmedos, templados a secos en las zonas áridas (Sánchez *et al.*, 2007). Ocupa el cuarto lugar en riqueza de especies, además de que tiene una gran riqueza cultural, pero en los últimos años la actividad humana ha afectado y modificado la naturaleza, con aumento urbano se han destruido infinidad de áreas naturales que trae como consecuencia la modificación los procesos ecológicos y especies en peligro de extinción (CONABIO, 2017).

El territorio Mexicano tiene casi todos los ambientes naturales del mundo pocos países los tienen, tiene un cobertura de desiertos (37%), bosques de coníferas y encino (19.34%) y selvas tropicales secas 14.14% (Badii *et al.*, 2015). Los bosques de coníferas son muy importantes porque además de que nos proporcionan oxígeno y son el hogar de muchas especies de flora y fauna, dentro de ellos se encuentran especies que nos ofrecen una producción maderable considerable así como también la infinidad de servicios ambientales como son, la captura de carbono, captación de agua, regulación del clima, conservación de biodiversidad entre otros, para las comunidades locales son importantes porque de ellos se obtienen materiales para la construcción de viviendas, además que dentro de ellos se encuentran especies con propiedades medicinales de uso cotidiano de las personas (Chapela, 2012). También es importantes destacar que en nuestro país se encuentra el 14% del total de especies de coníferas que existen en todo el mundo, además de que es uno de los países con más especies de pinos (Manzanilla *et al.*, 2018).

Se cuenta con aproximadamente un 42% de especies de pinos considerando en todo el mundo 111, de las cuales un alto porcentaje son endémicas, se considera que aproximadamente el 55% de las especies de *Pinus* se encuentran en islas biogeográficas, tal es el caso del grupo de los pinos piñoneros, que habitan principalmente en sierras de zonas áridas y semiáridas, estas especies son un recurso

natural importante por su uso comercial ya que son fuente de madera, leña, pulpa; resinas, semillas comestibles y otros productos, además de que influyen en los procesos funcionales de los ecosistemas considerando que son hábitat y fuente de alimento de la fauna silvestre, también por los servicios ambientales que proporcionan como son agua, oxígeno, recreación, captura de carbono, aunque su disminución por actividades antropogénicas y factores naturales es alarmante ya que un gran número de especies de este género están en peligro de extinción o categorizados a cuidados especiales (Perry, 1991; Sánchez, 2008).

Los pinos piñoneros nos proporcionan infinidad de beneficios y considerando que las especies del bosque de coníferas que en la actualidad son especies prioritarias para la conservación de ellas mismas como son *Abies guatemalensis*- Rehder, *Abies guatemalensis jaliscana* Rehder, *Abies hickelii*, *Picea chihuahuana*- Martínez, *Pinus culminicola* Andresen y Beaman, *Pinus maximartinezii*,- Rzedowski, *Pinus nelsonii*- Shaw, *Pinus pinceana*- Gordon, *Pinus rzedowskii* (SEMARNAT, 2014), cuatro son correspondientes a estas especies piñoneras que se encuentran en peligro de extinción y otras categorizadas a protección especial, considerando también que este grupo en México tiene el mayor número de endemismos, además que son especies que tienen un gran potencial adaptativo y resistencia a condiciones climáticas críticas ya que se desarrollan en suelos someros (Granados *et al.*, 2015), una de estas especies con potencial es *P. johannis*, que resiste precipitaciones anuales que van de los 300 a los 400 mm temperaturas promedio de 16 °C a una altitud promedio de 2700 msnm, resiste heladas, considerando lo anterior se considera una especie apta para restauración de suelos en zonas áridas (Perry, 1991).

De acuerdo a la norma 059, la mayoría de las especies de los pinos piñoneros se encuentran categorizados como en peligro de extinción o sujetas a protección especial tal es el caso de *P. johannis*, especie que está en una situación crítica considerando que hay pocas poblaciones, lo que las hace vulnerables a los factores naturales y antropogénicos (SEMARNAT, 2010). *P. johannis* no es tan común en México por lo que se puede considerar con probabilidad de perder su diversidad genética ya que es una problemática común en las poblaciones pequeñas, el gran potencial genético se encuentra en riesgo de perderse para siempre incluso antes de ser identificado, lo que hace que pueda extinguirse, para prever esto son necesarios estudios que ayuden a

prever dicha problemática y de esa manera obtener información que ayude a reproducir esta especie o cualquier otra (Gutiérrez *et al.*, 2015), el conocimiento genético de los árboles productores de semilla es indispensable para obtener germinaciones de calidad para actividades como reforestación y conservación (Delgado *et al.*, 2013).

Uno de los estudios que son útiles para obtener información con fines de conservación son los estudios fenológicos para conocer el comportamiento de las especies en su ciclo reproductivo, actualmente se les ha tomado más importancia considerando el problema del calentamiento global, ya que los procesos biológicos de supervivencia son en función de la fenología, especies han mostrado sensibilidad a los indicadores del clima por lo que se han analizado las variaciones en los procesos reproductivos lo cual influye directamente en la recolección de semilla para su reproducción (Sherry *et al.*, 2006).

Las siguientes etapas de cambio en los pinos; crecimiento de yemas vegetativas y reproductivas, floración, polinización, fertilización, maduración del cono, semilla y las condiciones ambientales que existen en nuestro país influye en las respuestas fenológicas de diversas especies, en la actualidad hay pocos estudios relacionados con la fenología de este género (Niembro, 1986), por eso la importancia de fenología de *P. johannis* la cual se realizó monitoreando poblaciones en dos áreas con temperaturas, precipitaciones y vegetación diferentes, con la finalidad de identificar su influencia en las diferentes fases fenológicas de la especie.

## 1.1 Objetivos e hipótesis

### Objetivo general

Describir las fases fenológicas vegetativas y reproductivas de *Pinus johannis* e identificar el periodo de sincronización y de crecimiento de las fases, así como la relación con precipitación y temperatura en las poblaciones de Salaverna, Mazapil, Zacatecas y Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

Los objetivos específicos fueron:

- Identificar y describir las fases fenológicas del crecimiento de cono fertilizado, yema vegetativa y brote de flores masculinas y femeninas de *Pinus johannis* en Salaverna, Mazapil, Zacatecas y Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.
- Graficar las fases fenológicas durante el periodo de enero del 2018 a enero del 2019, discutiendo la sincronización de estas en cada población y entre poblaciones.
- Comparar el crecimiento de cono fertilizado, brote vegetativo, estróbilos masculinos entre las poblaciones de *Pinus johannis* en Salaverna, Mazapil, Zacatecas y Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.
- Relacionar los periodos de crecimiento con la temperatura y precipitación utilizando un diagrama ombrotérmico con valores promedio de las normales meteorológicas de 1951 a 2010 de estaciones climatológicas cercanas a los sitios estudiados.

Las hipótesis nulas ( $H_0$ ) y alterna ( $H_1$ ) propuestas fueron:

$H_0$ : Los periodos de crecimiento de las fenofases son similares entre las dos poblaciones.

$H_1$ : Los periodos de crecimiento de las fenofases no son similares en las dos poblaciones.

### 2.1.1 *Pinus johannis* M. F. Robert

Después de años de estudio en los bosques piñoneros en 1978 se descubrió una nueva especie de pino piñonero llamada *P. johannis* por Marie Robert Francoise (M. F. Robert), en una muestra colectada en Mazapil, Zacatecas, que contenía semillas con el endospermo blanco lo que la diferenciaba de las otras especies de pinos piñoneros estudiados hasta ese año, después se fueron encontrando las similitudes entre *Pinus cembroides* Zucc. también denominado *Pinus cembrodes* var. *bicolor* Little y *P. johannis*, que en 1983 Zavarin se cuestionaba si era útil mantener ambas especies considerando que las únicas diferencias eran la distribución y la química (Pasinni, 1994).

En 1991 esta especie fue descrita por Jesse P. Perry como un árbol pequeño arbustivo ya que individuos de la especie con un solo taxón son difíciles de encontrar, que se distribuye al norte del país en los estados de Zacatecas, Coahuila y Nuevo León (Perry, 1991).

### 2.1.2 Descripción botánica

*P. johannis* M. F. Robert se caracteriza por ser un árbol arbustivo que llega a medir entre 8 y 10 metros de altura, con diámetros promedio de 20 cm, es difícil encontrar árboles de esta especie con un solo tronco, comúnmente los individuos están ramificados desde la base, los jóvenes son de corteza liza de color gris y los árboles maduros tienen su corteza escamosa, sus acículas miden de 2 a 4 cm de largo con un ancho de 0.2 a 1.2 mm, sus conos tienen una forma oblonga, resinosos, con una longitud que varía de 3 a 4 cm y un ancho de 2 a 3 cm, cuando este abre sus escamas para el desprendimiento de semilla, las escamas son gruesas y duras su apófisis es gruesa y ligeramente levantada, el pedúnculo es pequeño de 3 a 4 cm de longitud que cae junto con el cono cuando este cae del árbol, los conos cuando ya están maduros y en proceso de desprendimiento de semillas son color marrón oliva oscuro, las semillas que comúnmente se conocen como piñones tienen un ancho aproximado de 10 mm, su madera es de color marrón

amarillento pálido que se utiliza principalmente para leña, o construcción en comunidades rurales donde se desarrolla la especie (Perry, 1991).

Considerando la descripción de Perry (1991) el color de las ramillas es gris oscuro, pero de acuerdo a la evaluación que se realizó en el periodo de enero del 2018 a enero del 2019 el color dominante en las ramas es verde amarilloso de acuerdo a Munsell soil color charts (1994).

### 2.1.3 Aspectos ecológicos

En los bosques donde se encuentran los pinos piñoneros su humedad es con precipitaciones anuales promedio de 350 mm distribuidas en 5 meses, tienen distribuciones geográficas restringidas (Rzedowski, 1978).

*P. johannis* es una especie del grupo de los pinos piñoneros que crece en altitudes que van de los 2400 a los 2900 msnm, con una precipitación promedio de 300 a 400 mm y una temperatura promedio anual de 16 °C, esta especie soporta temperaturas bajas comúnmente en los meses de enero y diciembre considerando que son temperaturas características de las áreas donde se encuentra (Perry, 1991). El suelo que predomina en Mazapil Zacatecas donde se descubrió la especie y esta una de las poblaciones que se evaluaron es un suelo blando, calcáreo (Robert, 1978).

### 2.1.4 Estatus en el que se encuentra

En México existen diferentes especies categorizadas en la NOM 059 SEMARNAT 2010 entre ellas algunas del género *Pinus*, en el cual el grupo de los piñoneros destacan porque se consideran aptos para restaurar suelos degradados en áreas de baja precipitación (Ríos *et al.*, 2008).

Como ya se mencionó *P. johannis* es una especie que se encuentra dentro del grupo de los piñoneros y se encuentra categorizado como Pr lo que significa que está sujeto a protección especial considerando de gran importancia su conservación por el potencial que tiene a resistir sequías (SEMARNAT, 2010), es una especie endémica que se distribuye al noreste de México, en los estados de Zacatecas, Coahuila, San Luis

Potosí y Nuevo León, que de acuerdo a estudios realizados se dice que existen pocas poblaciones, es importante porque además de ser viable para restaurar suelos degradados en áreas con baja precipitación también se puede utilizar como ornato ya que es una especie que se adapta fácilmente en áreas secas, sus ramas y tronco se pueden utilizar como leña en comunidades rurales además de que sus semillas sirven como alimento tanto para las personas como para alguna fauna silvestre (Perry, 1991).

## 1.2 Fenología

La fenología es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos de las plantas y los animales en determinados periodos de tiempo relacionados con el clima y el tiempo atmosférico, y no solo relacionados con cambios climáticos también es necesario identificar las características fisicoquímicas del suelo, la humedad, la topografía del área incluso la competencia que se tenga entre individuos del organismo de interés. Es una disciplina descriptiva y de observación que requiere precisión y detallamiento concreto en campo, se aplica en diferentes ámbitos como ganadería, silvicultura, conservación de la naturaleza entre otras, en especies vegetales se analizan cambios morfológicos como son maduración de semilla, brotes de yemas y elongación de las mismas, floración, caída de hojas entre otros, en animales se estudian cambios morfofisiológicos como son, los hábitos reproductivos, periodos de migración, crecimiento de pelaje o plumaje, acumulación de grasa, caída de cuernos etc., esto dependiendo del periodo que se esté observando y la especie de interés, considerando estos cambios los periodos de tiempo que ocurren para que estos pasen en plantas o animales según el estudio que se esté realizando se les denomina fases fenológicas de las cuales se obtendrán las observaciones necesarias para obtener la información requerida según el objetivo del estudio o la problemática que se desee resolver (García, 2006).

### 2.2.1 Importancia de la fenología en pinos

Como ya se mencionó anteriormente la fenología abarca los fenómenos biológicos en plantas y animales, en el ámbito forestal es importante porque con este estudio se identifican los fenómenos biológicos de árboles como son los periodos de fructificación lo cual con un poco de trabajo e interés ayuda a la conservación de los ecosistemas así como conservar especies en peligro de extinción ya que da lugar a identificar la época exacta de recolección de semilla, facilita el establecimiento de áreas que se pueden tener bajo manejo de regeneración natural, también ayuda a identificar ciertos hábitos alimenticios de la fauna ya que algunos animales se alimentan de las semillas de especies arbóreas además es importante para identificar la floración de especies que dan colorido a paisajes en áreas turísticas (Trucios, 1986).

Considerando que la fenología forestal abarca los ciclos reproductivos de los árboles (Quer, 1985), para las especies de pino conocer estos periodos es muy importante para su conservación de recursos genéticos y manejo forestal para de esa manera conocer las áreas y los individuos que producen semillas esto con la finalidad de planear colectas de las mismas e identificar mejores procedencias (Vílchez *et al.*, 2004), el conocimiento hereditario de los árboles es indispensable para obtener mejor calidad de plantas para actividades de reforestación y conservación de recursos naturales (Delgado *et al.*, 2013).

### 2.2.2 Importancia y realización de una evaluación fenológica

Las evaluaciones fenológicas proporcionan información para el mejoramiento genético considerando que es importante conocer las fechas de floración, polinización y fructificación lo cual es indispensable para si se quiere reproducir una especie (Aguirre *et al.*, 2015), estas consisten en observaciones que se realizan en determinados periodos de tiempo que van desde semanales hasta anuales dependiendo de la especie que se esté estudiando, en el caso de los pinos estos se tardan hasta dos años en terminar sus ciclos reproductivos en su mayoría por lo que se tiene que monitorear largos periodos de tiempo para registrar eventos como floración, foliación, defoliación, fructificación, polinización, etc., en cuanto a los animales se identifican eventos como caída de pelaje

o plumaje, eventos migratorios, épocas de celo etc., cada evento se registra con una finalidad, por ejemplo la polinización se registra con fines de estudios genéticos, la fructificación con fines de conservación, la foliación con fines turísticos (Ramírez y Álvarez, 2000).

### 2.2.3 Importancia de los estudios fenológicos en campo

Un estudio fenológico es importante porque de este se obtiene información benéfica para conocer el comportamiento de las especies, es una herramienta para reproducción como una base para realizar cruzas controladas, ayuda a identificar cambios climáticos considerando que la fenología es como una marca del clima, así como también ayuda a identificar la polinización entre estróbilos masculinos y femeninos a través de la sincronización, contribuye a la predicción de la producción para mejorar la capacidad de los productores para planificar las prácticas de gestión, prevé problemas relacionados con plagas y enfermedades que evalúan los daños en estructuras reproductivas, entre otras cosas (Valdivieso *et al.*, 2017).

Considerando lo anterior y sobre todo si se quiere identificar la influencia de los factores climáticos o la efectividad de una polinización, es preferente que los estudios fenológicos sean en especie silvestres y no en especies que se encuentran en jardines, áreas agrícolas, campos experimentales o plantaciones que es donde comúnmente se realizan dichos trabajos, en campo existe una gran variabilidad genética, además de que existen distribuciones más amplias con especies adaptadas a los factores bióticos y abióticos del lugar que se esté monitoreando lo cual dará precisión al estudio deseado (García, 2006).

### 2.3 Calendario fenológico

Para la comprensión de las estrategias reproductivas y adaptativas de las especies es necesario conocer sus ciclos biológicos y reproductivos con respuesta a las condiciones climáticas, condiciones de suelo, topografía entre otras, ese es uno de los objetivos de la fenología identificar estos ciclos así como también identificar el tiempo

exacto en el que suceden dichos procesos, para realizar las evaluaciones fenológicas es necesario analizar los periodos de monitoreo ya sean semanales, mensuales, bimestrales o anuales esto dependiendo de rapidez de los cambios morfológicos observados en la especie de la que se desee tener información, de esta manera se identifica la fecha exacta de observación y fenómeno observado, lo que da lugar precisión en colectas de semilla, elongación de yemas vegetativas, brote de estróbilos masculinos y femeninos, polinización y sincronización (López *et al.*, 2017).

La mayor parte de los fenómenos observables en la fenología siguen ciclos anuales, se considera que ocurren cada año en la misma época con una variación en la fechas pero de días (García, 2006), aunque de acuerdo a Niembro (1986) se considera que la fenología del género *Pinus* es atípica en las coníferas considerando que su ciclo reproductivo es de casi dos años o más aunque en algunos casos poco comunes es de un año tal es el caso de *P. johannis*.

#### 2.4 Modelos de crecimiento

El desarrollo forestal puede expresarse mediante la manipulación de modelos matemáticos en diferentes softwares que describen el incremento mensual o anual dependiendo de la precisión que se requiera, considerando también los diferentes factores involucrados en el desarrollo de las diferentes especies como son climáticos, de suelo, competencia entre otros (González *et al.*, 2016).

Las funciones matemáticas tienen diferentes aplicaciones en la vida cotidiana y también aplican para los estudios fenológicos considerando que en estos estudios se evalúa la dinámica de crecimiento de los brotes de pinos como son los brotes vegetativos; brotes masculinos, brotes femeninos y desarrollo de cono fertilizado (Castells *et al.*, 2001).

#### 2.5 Diagrama ombrotérmico

Las relaciones entre las características climáticas, la distribución de plantas y su fenología en los últimos años ha sido alarmante, por lo que se han buscado diagramas

que describan la relación entre vegetación y clima de diversas regiones del mundo. Los diagramas ombrotérmicos son representaciones gráficas que nos ayudan a identificar dichas relaciones de manera más precisa, para así conocer la relación de los fenómenos biológicos de las especies con la precipitación y temperatura y si estas influyeron para que ocurrieran cambios favorables o no favorables para la especie o especies de interés y con qué duración (Orellana *et al.*, 2002).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en la parte noreste de México en dos poblaciones de *P. johannis* que se encuentran en los estados de Coahuila y Zacatecas, se seleccionaron 12 pares de árboles (hembra y macho) en la comunidad de Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila, en las coordenadas 25° 14' 39.67" N y 100° 23' 10.66" O, a una altitud que se encuentra entre los 2700-2800 msnm y 13 pares de árboles en la población que se encuentra entre Concepción del Oro y Mazapil, Zacatecas en las coordenadas 24° 36' 55.06" N y 101° 27' 52.18" O, entre las altitudes 2600-2800 msnm.

##### 3.1.1 Ubicación geográfica

Las dos áreas se encuentran dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, En Mesa de las Tablas se encuentra un relieve montañoso árido, variado a montañoso con bosque de coníferas, en Salaverna es montañoso, árido, muy árido con una vegetación xerófila (Lugo-Hubp y Aceves-Quezada, 1992).

##### 3.1.2 Edafología

De acuerdo a la capa de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 (INEGI, 2014) los suelos que predominan en las dos áreas donde se realizaron las evaluaciones son phaeozem que son suelos de zonas templadas húmedas donde se encuentra vegetación de bosques y pastos altos, son de color oscuro y ricos en materia orgánica aptos para la agricultura y Leptosoles, que por lo contrario son suelos delgados con un alto porcentaje de predregosidad comunes en regiones montañosas (IUSS, 2007).

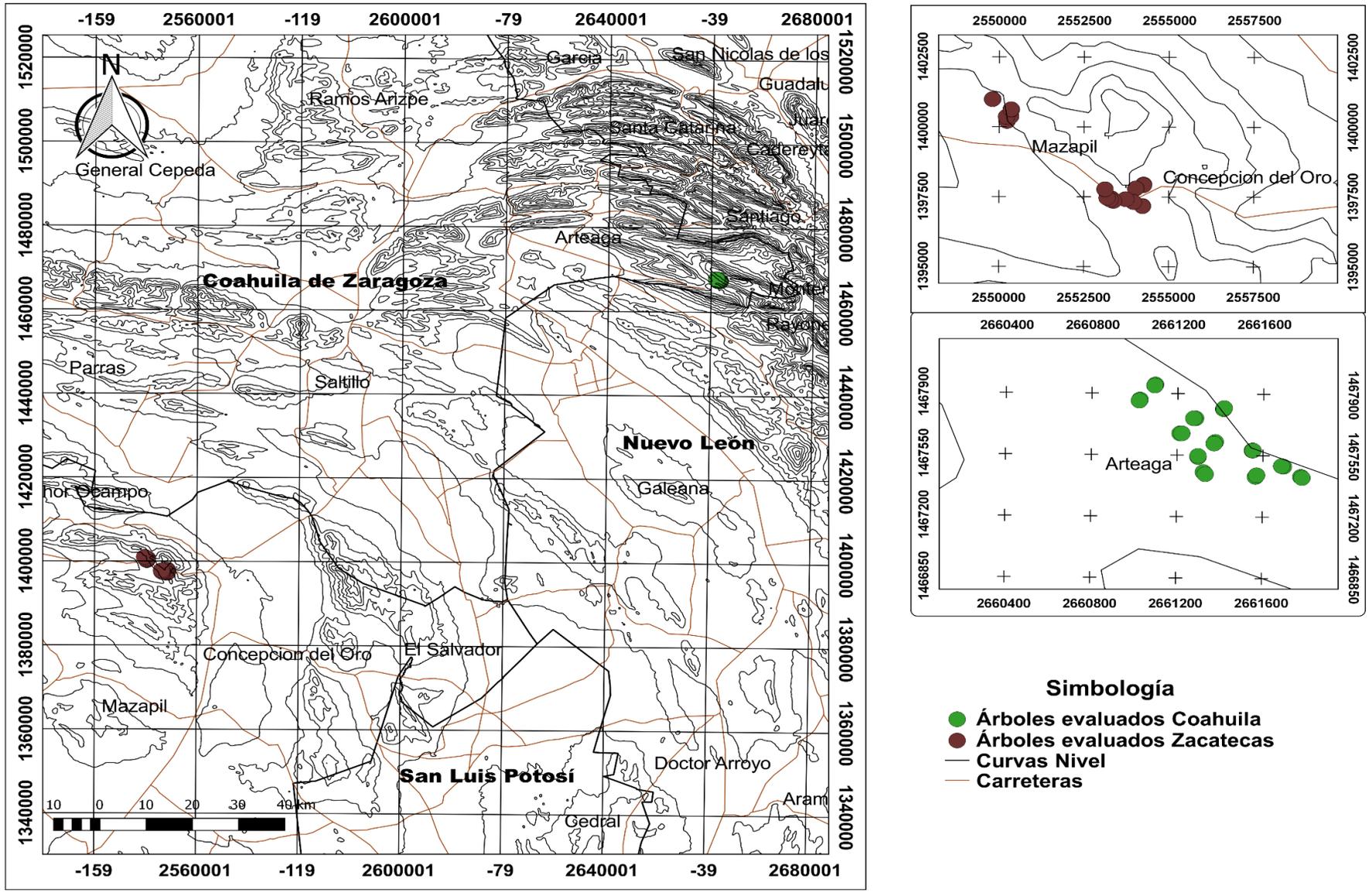


Figura 1. Localización de los árboles evaluados en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila de Zaragoza y Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

### 3.1.3 Hidrología

Considerando la información de INEGI (2010), la red hidrográfica señala que el área de Coahuila se encuentra entre las regiones hidrológicas El Salado, Bravo-Conchos, entre las cuencas San Pablo, Rio Bravo Sanjuán y entre las micro cuencas Puerto de Flores y Domingo Flores Espinoza y la de Zacatecas se encuentra entre las regiones hidrológicas El Salado y Nazas-Aguanaval, las cuencas Sierra de Rodríguez, Lago de Mayrin y entre las micro cuencas Estae de Bonanza y Laguna de Viesca.

### 3.1.4 Clima

Los pinos piñoneros son de áreas donde la precipitación es escasa *P. johannis* es una especie piñonera que hasta la actualidad solo se han descubierto poblaciones en Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila. Considerando la clasificación de Köppen modificado por García (1988) los climas que predominan en Salaverna, Mazapil, Zacatecas son BS 1k" w semiárido templado con temperatura media anual que va de los 12 a los 18 °C, la temperatura del mes más frío varía de los -3 a los 18 °C, la del mes más caliente es menor a los 2 °C con lluvias en verano y (BSokw) árido, templado, con temperaturas medias anuales que van de los 12 a los 18 °C. En Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila también predomina (BS 1k" w) semiárido templado con temperatura media anual que va de los 12 a los 18 °C, la temperatura del mes más frío varía de los -3 a los 18 °C y la del mes más caliente es menor a los 2 °C con lluvias en verano, pero además de este predominan (cb'(w1)x' semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, con temperatura media anual entre 5 a los 12 °C, la precipitación en el mes más seco es menor de 40 mm, lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2 % del total anual, y C(w1) templado, subhúmedo con una temperatura media anual que va de los 12 a los 18 °C, la temperatura del mes más caliente baja hasta los 22 °C, la precipitación del mes más seco es menor a los 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5 % al 10.2 % del total anual.

### 3.1.5 Vegetación

Los pinos piñoneros son especies que se encuentran dentro del grupo de bosque de coníferas, se adaptan a precipitaciones promedio de 350 mm anuales (Rzedowski, 1978), considerando lo anterior la vegetación existente en las áreas donde se encuentra *P. johannis* resiste sequías, varía en las áreas de estudio, en Mazapil y Concepción del Oro la vegetación es bosque de pino con *Pinus cembroides* Zucc, *Juniperus* spp, entre otros, matorral desértico rosetófilo en el que se encuentran gran cantidad de cactáceas, vegetación secundaria de matorral desértico rosetófilo y una gran cantidad de pastos de diferentes especies. En Mesa de las Tablas la vegetación predominante es vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, donde se puede encontrar *Pseudotsuga menziesii* Mirb Franco, *Pinus cembroides* Zucc, *Quercus* spp, *Agave lechuguilla* Torrey, *Dasyllirion longissimum* Lem, *Arbutus xalapensis* Kunt, *Arctostaphylos pungens* HBK, principalmente, entre otras especies (INEGI, 2016).

### 3.2 Levantamiento de datos

#### 3.2.1 Selección de árboles

Para el estudio fenológico se seleccionaron dos áreas para las cuales se utilizó un diseño de muestreo selectivo, considerando la complejidad de la vegetación espinosa para realizar otro tipo de muestreo, el cual consistió en seleccionar un par de árboles (macho y hembra) lo más cerca posible un árbol del otro a diferentes altitudes y en diferentes exposiciones de las dos áreas de estudio a por lo menos 200 metros de distancia un par del otro.

Se consideró una serie de características para seleccionar los árboles hembra aptos para evaluar que se mencionan a continuación:

Que tuvieran conos fertilizados en latencia.

Con yemas vegetativas en todas las exposiciones.

Para el árbol macho también se consideraron las siguientes características:

Que estuvieran lo más cerca posible del árbol hembra.

Que tuvieran yemas en todas las exposiciones del árbol de las cuales se monitorearon los brotes de los estróbilos masculinos y su elongación.

Se consideró una distancia aproximada de 200 metros para evaluar cada par de árboles de los cuales se obtuvieron datos generales en la primera evaluación, se midió altura con una pistola Haga; diámetro normal y diámetro de copa se midieron con una cinta diamétrica, la exposición del terreno y su pendiente se determinaron con GPS, y el grosor de corteza se midió con un medidor de corteza, cada par de árboles se marcó con números del 1 al 13 en la parte del tronco con pintura blanca en las dos poblaciones, esto con la finalidad de encontrar fácilmente cada par en cada periodo en el que se evaluó.

### 3.2.2 Selección de ramas

Considerando las características que se tomaron en cuenta para la selección de árboles se seleccionaron cuatro ramas de cada árbol. En el caso de los árboles hembra se marcaron cuatro ramas con yemas vegetativas con un listón de color amarillo y cuatro ramas con conos fertilizados con un listón de color rosa. En los árboles macho se marcaron ocho ramas con yemas de posible brote de flores masculinas con listones de color amarillo y azul para diferenciar del árbol femenino, los listones se marcaron con una clave que contenía las iniciales del nombre del lugar donde se evaluó, el número de árbol y por último las iniciales de los puntos cardinales correspondientes a la posición de las cuatro ramas seleccionadas en cada árbol.

La selección de ramas se hizo en el árbol con la finalidad de identificar los cambios morfológicos en el desarrollo de yemas y conos marcados de *P. johannis*, los pinos al igual que otras especies forestales tienen un ciclo de reproducción sexual con las siguientes etapas: brotes de yemas, floración, polinización, fertilización, maduración del cono y las semillas, se considera que su fenología de este género es atípica en las coníferas ya que de acuerdo a estudios realizados su ciclo reproductivo es de casi dos años o más en casos poco comunes es de un año tal es el caso de la especie que se evaluó (Niembro, 1986).

### 3.2.3 Observaciones fenológicas

Las observaciones se realizaron cada mes durante un año comenzando en enero del 2018 y terminando en enero del 2019, consistiendo en medir el ancho y la longitud de yemas y conos fertilizados marcados para conocer su desarrollo y el mes de brote del estróbilo masculino, polinización, brote de estróbilos femeninos, elongación del cono fertilizado y desprendimiento de semilla del mismo para ese año en que se evaluó, las observaciones se hicieron directamente con la ayuda de una cámara fotográfica, las cuales consistieron en tomar la fotografía sobre un papel milimétrico el cual ayudo a realizar las mediciones correspondientes en cada evaluación en ambas poblaciones de *P. johannis*, la de Mesa de Las Tablas, Arteaga, Coahuila y la de Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

Considerando el objetivo de este estudio se puede decir que es importante porque se identificaron los cambios morfológicos de *P. johannis*, como fueron brotes de los estróbilos masculinos y femeninos, identificando en ellos la polinización de la especie, además de que también se identificó la época de producción de semilla lo que ayuda tener conocimiento de la fecha casi exacta para colectarla, así como también se identificó la influencia de la precipitación y temperatura en el desarrollo de los ciclos de vida de esta especie antes mencionados.

### 3.3 Caracterización Fenológica

Después de las observaciones en campo, empezó el trabajo de gabinete donde se caracterizaron las fases fenológicas y subfase de acuerdo a las fechas en las que se evaluó y los cambios observados. Al igual que nosotros los pinos tienen órganos sexuales masculinos y femeninos, los conos de los pinos tienen escamas unidas que sostienen bolsas de polen llamadas microsporofilas siendo estas las encargadas de dispersarlo, éste actúa como esperma que se transporta a través del aire, los conos femeninos tienen escamas más sueltas y se encuentran más abajo en un árbol monoico para facilitar la polinización, para el caso de los árboles dioicos como *P. johannis*, los conos femeninos

se encuentran en otro árbol que posee características diferentes al árbol masculino como son el tamaño de las acículas, la forma de los brazuelos entre otras (Owens, 2006).

Uno de los objetivos de este trabajo fue identificar los ciclos reproductivos de *P. johannis*, por lo que se identificaron y describieron las fases fenológicas y subfase que abarcan el desarrollo de la yema vegetativa estróbilos masculinos, femeninos y cono fertilizado (Hechavarría *et al.*, 2004).

Las descripciones fenológicas se realizaron de acuerdo a modelos de diferentes autores, en el caso de los estróbilos femeninos, se consideraron los modelos de Ruiz *et al.* (2015) y Codesido y Merlo (2001), para los estróbilos masculinos se consideraron los trabajos de los autores antes mencionados, pero también se consideró la clasificación de (Tighe, 2004).

De igual manera en las evaluaciones realizadas se estuvo observando el desarrollo de las yemas vegetativas las cuales se definieron de acuerdo a las fases fenológicas de pino piñonero descritas por Adams *et al.* (2015).

Para los conos fertilizados se consideró la clasificación de Anselmini y Zanette, (2008), ya que ellos también describieron el desarrollo y crecimiento de los conos durante y después de la polinización de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

### 3.4 Periodos de fases fenológicas

Con las observaciones fenológicas realizadas se elaboró un calendario fenológico para los estróbilos femeninos y masculinos comparando el tiempo en el que ocurrió cada fase en las dos poblaciones evaluadas, se identifica la receptividad de los estróbilos femeninos y el desprendimiento de polen de los estróbilos masculinos en ambas poblaciones, considerando que las observaciones se realizaron cada mes (Cuadro 2).

Cabe mencionar que se observa en los meses de junio y julio como ocurren cuatro fases fenológicas para el caso de los estróbilos masculinos, esto debido a que se encontraban diversas en todos los árboles marcados, por cuestiones de tiempo y económicas no se pudo evaluar cada semana como hubiese sido una manera para identificar todas las fases fenológicas del estróbilo masculino y femenino.

También se elaboró un calendario fenológico para analizar el desarrollo de la yema vegetativa con la finalidad de analizar el periodo en latencia, su elongación y su brote de acículas, así como también su crecimiento (Cuadro 3).

De igual manera se formuló un calendario fenológico para el cono fertilizado en el cual se identificó el periodo en latencia, su elongación, cambio de color y desprendimiento de semilla (Cuadro 4).

### 3.5 Ecuaciones de ajuste del crecimiento del brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado

En cada una de las evaluaciones realizadas se midió el ancho y la longitud de los brotes vegetativo, masculino y cono fertilizado, los datos obtenidos fueron procesados en software SAS 9.0 donde se manipularon mediante cuatro ecuaciones (Cuadro 1). De las cuales se compararon los estadísticos de  $R^2$  y  $R^2$  ajustada y la convergencia en cada uno de los modelos utilizados para de esa manera saber qué ecuación viable para comparar los crecimientos en las dos poblaciones Mesa de las Tablas Arteaga, Coahuila de Zaragoza y Salaverna, Mazapil Zacatecas. De las cuales se compararon los estadísticos de  $R^2$  y  $R^2$  ajustada y la convergencia en cada uno de los modelos utilizados para de esa manera saber qué ecuación viable para comparar los crecimientos en las dos poblaciones Mesa de las Tablas Arteaga, Coahuila de Zaragoza y Salaverna, Mazapil Zacatecas.

### 3.6 Comparación de crecimiento de brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado en las dos poblaciones evaluadas

Cuando ya se obtuvo la ecuación con los estadísticos más viables en el programa estadístico SAS 9.0, se realizaron curvas de crecimiento en el programa estadístico Sigmaplot 12, considerando que en este programa se encontraba dicha ecuación lo que facilitó obtener las curvas de crecimiento de ancho y longitud del cono fertilizados, yemas vegetativas y yemas masculinas de las dos poblaciones, con la finalidad de comparar el desarrollo y así saber en qué área fue mayor o menor.

Cuadro 1. Ecuaciones para curvas de crecimiento

| Ecuaciones  | Donde:  |
|---|---|
| $Y = \beta_0(1 - \exp(-\beta_1 X^5))$   | <p>Y = Longitud y Ancho alcanzado de cono fertilizado, yema Vegetativa y yemas masculinas</p> <p><math>\beta_0, \beta_1</math> = Coeficientes de regresión estandarizados</p> <p>X = Ancho y longitud</p>                   |
| $Y = \beta_0 + \beta_1 / (1 + \exp(-\frac{x - \beta_2}{\beta_3}))$                | <p>Y = Crecimiento total de cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas</p> <p><math>\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3</math> = Coeficientes de regresión estandarizados</p> <p>X = Ancho y longitud</p>          |
| $Y = \beta_0 + \beta_1 / (1 + \exp(-\frac{X - \beta_2}{\beta_3})) \wedge \beta_4$ | <p>Y = Crecimiento total de cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas</p> <p><math>\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4</math> = coeficientes de regresión estandarizados</p> <p>X = Ancho y longitud</p> |
| $Y = \beta_0 X^2 + \beta_1 X + \beta_2$   | <p>Y = Incremento total de cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas.</p> <p>A= <math>\beta_0, \beta_1, \beta_2</math> = Coeficientes de regresión estandarizados</p> <p>X = Ancho y longitud</p>                |

### 3.7 Comparación de medias a través de pruebas de T Student

Para comprobar la hipótesis planteada se hizo una comparación de medias, se determinaron periodos de crecimiento en los que el desarrollo fue mayor, para cono fertilizado siete meses (enero-septiembre), para yema vegetativa y yemas masculinas ocho meses (enero-octubre), con los datos de dichos periodos se realizó la prueba de hipótesis para comprobar si el crecimiento de las dos poblaciones evaluadas fue similar o diferente (hipótesis de dos colas) realizando la comparación de medias con pruebas T

Student en el software SAS 9.0 con la finalidad de determinar los valores de significancia para comprobar la hipótesis. Los valores de significancia se compararon con dos métodos Satterthwaite con varianzas desiguales y agrupados con varianzas iguales a un error de 0.05, si el valor de p (que se muestra en "Pr> T") es menor a 0.05 se considera el valor del método de Satterthwaite y si es mayor se utiliza el de agrupados (Rodríguez, 2003).

### 3.8 Comparación de crecimiento de brote vegetativo, brote masculino y cono fertilizado en las dos poblaciones con temperatura y precipitación

Con los datos obtenidos de conos fertilizados, yemas vegetativas y yemas masculinas en las evaluaciones que se realizaron se obtuvieron promedios mensuales los cuales se compararon con promedios mensuales de temperatura y precipitación de las normales meteorológicas de 1951 al 2010 de las dos estaciones más cercanas a las áreas evaluadas, con la finalidad de comparar que tanto influyó la precipitación y la temperatura en su desarrollo y si fue igual en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila que en Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Descripción de fases fenológicas

En las dos poblaciones de *P. johannis* evaluadas las fases fenológicas coincidieron en su mayoría de los árboles evaluados, considerando que esta especie es dioica se evaluaron un árbol femenino y uno masculino (Whitham y Mopper, 1985), en el árbol macho se determinaron los estróbilos masculinos los cuales presentaron las siguientes etapas: (1) la yema se observó hinchada en reposo; (2 a 3 etapas) empezó con su desarrollo rompiendo la cubierta de catafilos; (4 a 8 etapas) se observan cinco fases fenológicas desde el crecimiento de los estróbilos hasta la dispersión del polen dispersas en diferentes árboles de los evaluados lo que dio lugar a identificarlas en una sola evaluación; (9) se observó el secado de estróbilos; (10) se observó la aparición de acículas en la yema (Figura 2).

Considerando el trabajo en campo lo antes descrito fue lo observado, de acuerdo a Tighe (2004), faltaron fases como la etapa de crecimiento de los estróbilos donde éstos expulsan un fluido transparente cuando son apretados entre los dedos y subfases de la dispersión del polen en proporciones y el color de la expulsión del fluido transparente, las cuales no fueron identificadas por cuestiones de tiempo.

En el árbol hembra se observaron fases fenológicas para la yema vegetativa, estróbilo femenino y cono fertilizado, en el caso del desarrollo del estróbilo femenino se observaron las siguientes etapas: (1 a 2) la yema se encontró en reposo; (3 a 5) inicio de elongación de estróbilos y desarrollo de escamas ovulíferas para la receptividad del polen; (6) se propició el crecimiento y enanchamiento de las escamas ovulíferas; (7) se mantuvo el cono fertilizado en latencia (Figura 3).

De acuerdo a López *et al.* (2016) de las fases antes mencionadas falta la fase fenológica donde los estróbilos femeninos están no son receptivos, donde los granos de polen pueden quedarse entre las escamas y sobrevivir hasta la siguiente etapa donde se separan hasta formar un ángulo recto y de esa manera los granos de polen puedan penetrar fácilmente entre las escamas y llegar a los óvulos, fase que se observó en el estudio porque las evaluaciones fueron cada 5 días durante 10 semanas.

El desarrollo de la yema vegetativa se caracterizó con las siguientes etapas: (1) yema en reposo; (2) yema en elongación; (3) desarrollo de acículas; (4 a 5) desarrollo de acículas hasta terminar su crecimiento en invierno (Figura 4).

En el caso del cono fertilizado se desarrolló de la siguiente manera; (1) cono fertilizado en latencia; (2 a 3) cono fertilizado en elongación; (4) cambia de color verde a café; (5) abre sus escamas y empieza el desprendimiento de semilla; (6) desprendió totalmente la semilla (Figura 5).

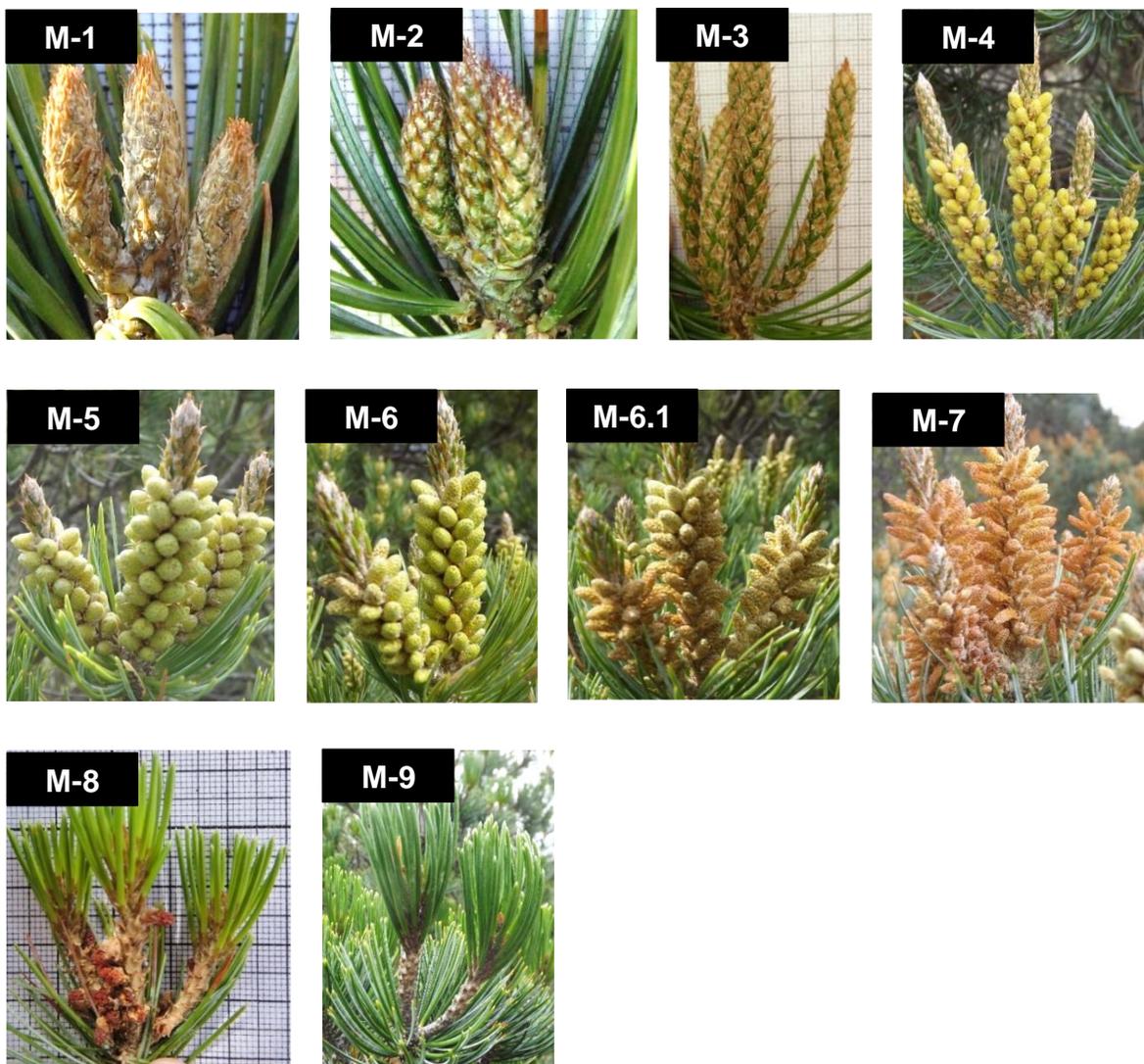


Figura 2. Desarrollo de estróbilos masculinos (M) de *Pinus johannis* donde se describen las fases fenológicas y subfase identificándose cada uno de los cambios morfológicos del árbol macho.

La fenología masculina fue descrita mediante nueve fases fenológicas principales y una subfase considerando los modelos de los autores antes mencionados (Figura 2):

M-1 = Formación y desarrollo inicial, se observa la yema hinchada.

M-2 = Los estróbilos están cubiertos por catafilos y yema en elongación.

M-3 = Los estróbilos están cubiertos por catafilos y yema cesando elongación.

M-4 = Los estróbilos rompen la cubierta de catafilos y están en elongación.

M-5 = Las microsporofilas individuales se desarrollan mientras los estróbilos crecen.

M-6 = Las microsporofilas comienzan a dispersar el polen, el polen dispersado del racimo es menos del 10% del total.

M-6.1 = Máxima dispersión de polen del racimo de estróbilos individuales, el porcentaje de dispersión se contempla visualmente.

M-7 = La dispersión del polen está completa, todas las microsporofilas han abierto y dispersado su polen, los estróbilos masculinos están de color marrón.

M-8 = Secado de estróbilos, desprendimiento y brote acículas.

M-9 = Crecimiento de acículas.

Como ya se mencionó las fases fenológicas y subfases de *P. johannis* fueron descritas de acuerdo a modelos de diferentes autores, para el caso de brotes masculinos se consideraron las fases fenológicas desde el brote de la yema hasta que cesó su crecimiento y se desarrollaron las acículas en un periodo de un año, el caso de *Pinus greggii* var. *australis*, el periodo de evaluación fue de casi dos años y se identificó desde el brote de la yema hasta el desprendimiento del polen (Ruiz, 2015), por lo que se puede considerar una diferencia de tiempo que tardan sus ciclos reproductivos considerable esto debido a que son diferentes especies y evaluadas en diferentes áreas, además de que para *P. johannis* se identificaron más fases fenológicas considerando que se evaluó hasta el desarrollo de acículas.

También es importante considerar que varían las épocas de desarrollo de estróbilos masculinos, por ejemplo, para *P. johannis* este proceso se observó en el mes de junio y para *Pinus patula* Schl. et Cham este proceso se ve reflejado en septiembre (López et al., 2016)

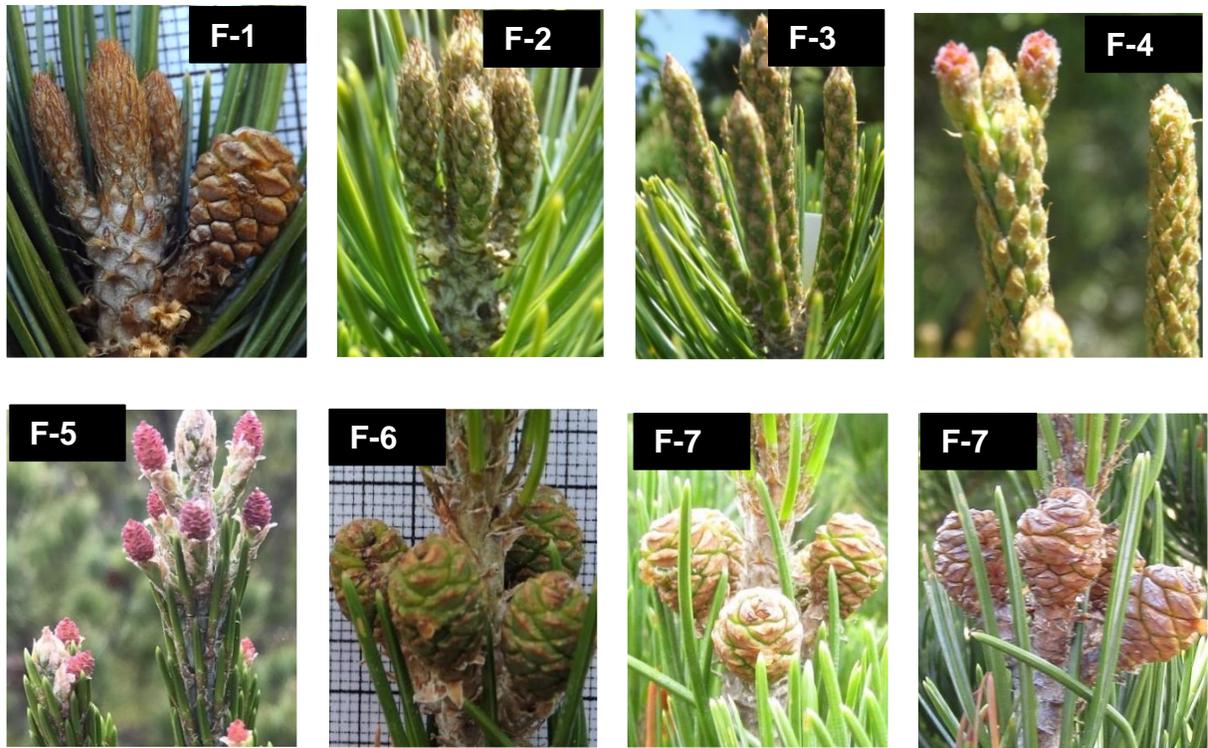


Figura 3. Desarrollo de estróbilos femeninos (F) de *Pinus johannis* donde se describen las fases fenológicas y se identifican los cambios morfológicos del árbol hembra.

La fenología femenina fue descrita mediante siete fases fenológicas principales del considerando los modelos de los autores antes mencionados (Figura 3):

F-1 = Yema en reposo.

F-2 = La yema aumenta de tamaño longitudinalmente y el conillo se encuentra totalmente cubierto por los catafilos de la yema.

F-3 = El ápice de la yema en forma cilíndrica empieza a abrirse apareciendo las primeras escamas ovulíferas que se encuentran en elongación.

F-4 = El ápice de la yema cilíndrica se abre y aparecen las primeras escamas ovulíferas que continúan en desarrollo.

F-5 = Estróbilo desarrollado, las escamas forman un ángulo casi recto respecto al eje del conillo estando receptivas durante la polinización.

F-6 = Término de receptividad de polen, las escamas ovulíferas aumentan de tamaño y grosor.

F-7 = Desarrollo del cono fertilizado.

F-8 = Cono en latencia.

En los estróbilos femeninos se identificaron las fases fenológicas desde el brote de yema hasta el desarrollo de estróbilos femeninos y cono fertilizado en latencia en un periodo de un año, este mismo proceso se realizó, pero para *Pinus greggii* var. *australis* (Ruiz et al., 2015) y para *Pinus pinea* L. (Valdivieso et al., 2017), pero en un periodo de casi dos años, esto debido a las adaptaciones naturales de las especies y a que su ciclo reproductivo es más largo (Tighe, 2004).



Figura 4. Desarrollo de yema vegetativa (Y) descrita en cinco fases fenológicas.

La fenología de la yema vegetativa fue descrita mediante cinco fases fenológicas principales considerando la clasificación del pino piñonero del autor antes mencionado (Figura 4):

Y-1 = Yema vegetativa en reposo.

Y-2 = yema vegetativa en elongación.

Y-3 = Yema terminando elongación y desarrollo de acículas.

Y-4 = Elongación de yema finalizada y desarrollo de acículas.

Y-5 = Cesando elongación de acículas.

La yema vegetativa se describió desde su brote hasta que las acículas cesaron su crecimiento, en un año, de acuerdo a la clasificación de Adams et al. (2015), que se realizó para un pino piñonero coincidiendo en su mayoría su desarrollo.



Figura 5. Conos fertilizados durante la evaluación realizada en el periodo de enero 2018 a enero del 2019, descritos en siete fases fenológicas.

La fenología del cono fertilizado fue descrita mediante siete fases fenológicas principales y se identifican los cambios morfológicos del árbol femenino (Figura 5):

CF-1 = Cono fertilizado en latencia.

CF-2 = Cono en elongación, las escamas ovulíferas aumentan de tamaño y grosor.

CF-3, CF-4 = Elongación de cono finalizada y cambio de color de verde a café.

CF-5 = Cono maduro, abertura de escamas desprendimiento y maduración de semilla.  
CF-6, CF-7 = Desprendimiento total de semilla.

El cono fertilizado se evaluó desde su estado en latencia hasta el desprendimiento de semilla en un periodo de un año, del cual se obtuvieron las fases fenológicas de la clasificación de *Araucaria angustifolia*, considerando que también es una especie piñonera y dioica, a diferencia de que en ese estudio el periodo de evaluación fue de casi de dos años (Anselmini y Zanette, 2008).

Con lo anterior se puede decir que la duración del ciclo reproductivo desde el brote de yemas de los pinos varía dependiendo de la especie puede durar de 9 meses hasta 4 años, en este caso *P. johannis* tiene un ciclo reproductivo de un año, en el caso de las especies de las que se apoyó para obtener sus fases fenológicas en su mayoría sus ciclos reproductivos son de dos años aproximadamente, pero existen casos contrarios donde el ciclo reproductivo tarda cuatro años para completarse tal es el caso de *Pinus maximartinezii* Rzedowski y otros casos donde tardan tres periodos en completar su ciclo reproductivo después de la polinización como son *Pinus chihuahuana* y *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. (Niembro, 1986; Donahue y Mar-López, 1995,). La producción de conos y semillas de *P. maximartinezii* ocurre en los meses de septiembre a noviembre durante los años semilleros, en los años no semilleros la producción de conos y semillas es baja, las semillas de esta especie son consideradas unas de las semillas de pino piñonero más grandes del mundo (López, 1998).

La fenología de especies de pinos en áreas con clima templado generalmente se interrumpe en invierno por las bajas temperaturas, algo que no pasa en regiones tropicales donde los conos y semillas terminan su desarrollo en periodos de un año o un poco mas (Andresen, 1966).

#### 4.2 Sincronización de fases fenológicas en las dos poblaciones evaluadas.

La sincronización es el proceso que se da cuando ocurre la máxima dispersión del polen y la receptividad del estróbilo femenino son simultaneas, aunque las fechas para que se de este proceso puede diferenciar cada año por las temperaturas ya que estas pueden variar y retardar el desarrollo del polen, la sincronización entre especies y el afán

de reintentar polinizaciones no son exitosos por lo que surge la necesidad de almacenamiento de polen, este puede ser guardado por meses o incluso por años dependiendo de las metas de mejoramiento genético que se tengan. Para la recolección del polen es necesario el conocimiento de fisiología y fenología de la especie, adaptaciones naturales y diferencias climáticas, de acuerdo a investigaciones la época de mayor dispersión del polen y mayor receptividad de las flores ocurre simultáneamente en pinos naturales (Tighe, 2004).

El trabajo realizado con *P. johannis* también se hizo con la finalidad de identificar el proceso de sincronización, observando el comportamiento de los estróbilos masculinos y femeninos Cuadro 2 se identifica que en las primeras evaluaciones no hubo desfase, este fenómeno se presentó hasta la evaluación de mayo donde se observaron dos pares de árboles con estróbilos masculinos, además de que brotaron las primeras escamas ovulíferas en Salaverna, Mazapil, Zacatecas algo que no sucedió en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila, la dispersión del polen y las escamas ovulíferas fueron sincrónicamente receptivas en los meses de junio y julio periodo diferente a muchas especies de pinos, por ejemplo de acuerdo a estudios la polinización de *Pinus greggii* Englem se da en los meses de abril-mayo, de *Pinus oocarpa* Shiede en noviembre-diciembre y de *P. patula* enero-abril de los cuales ninguno coincide con la época de *P. johannis* considerando que el ciclo reproductivo de *P. johannis* es de un año y el de otras especies varía de un año hasta dos años (Tighe, 2004).

El secado de estróbilos masculinos y término de receptividad de estróbilos femeninos sucedido en agosto lo que dio lugar al desarrollo del conillo fertilizado que se mantuvo en latencia los últimos tres meses de evaluación.

Considerando las observaciones de junio y julio se puede decir que hubo sincronía floral considerando que en los meses mencionados los estróbilos masculinos estaban desprendiendo el polen aproximadamente a un 80% y los estróbilos femeninos estaban sincrónicamente receptivos por lo que se espera un porcentaje de óvulos abortivos y semillas vacías bajo, comparado con otras coníferas los meses de sincronización son diferentes además de que hay factores climáticos que afectan esta parte del su ciclo reproductivo, de acuerdo a López *et al.* (2016) en un huerto semillero de *P. patula* también hubo sincronización en dos años 2012 y 2013 en los meses febrero y marzo a excepción de los últimos días de marzo del 2012 donde las heladas afectaron a los estróbilos

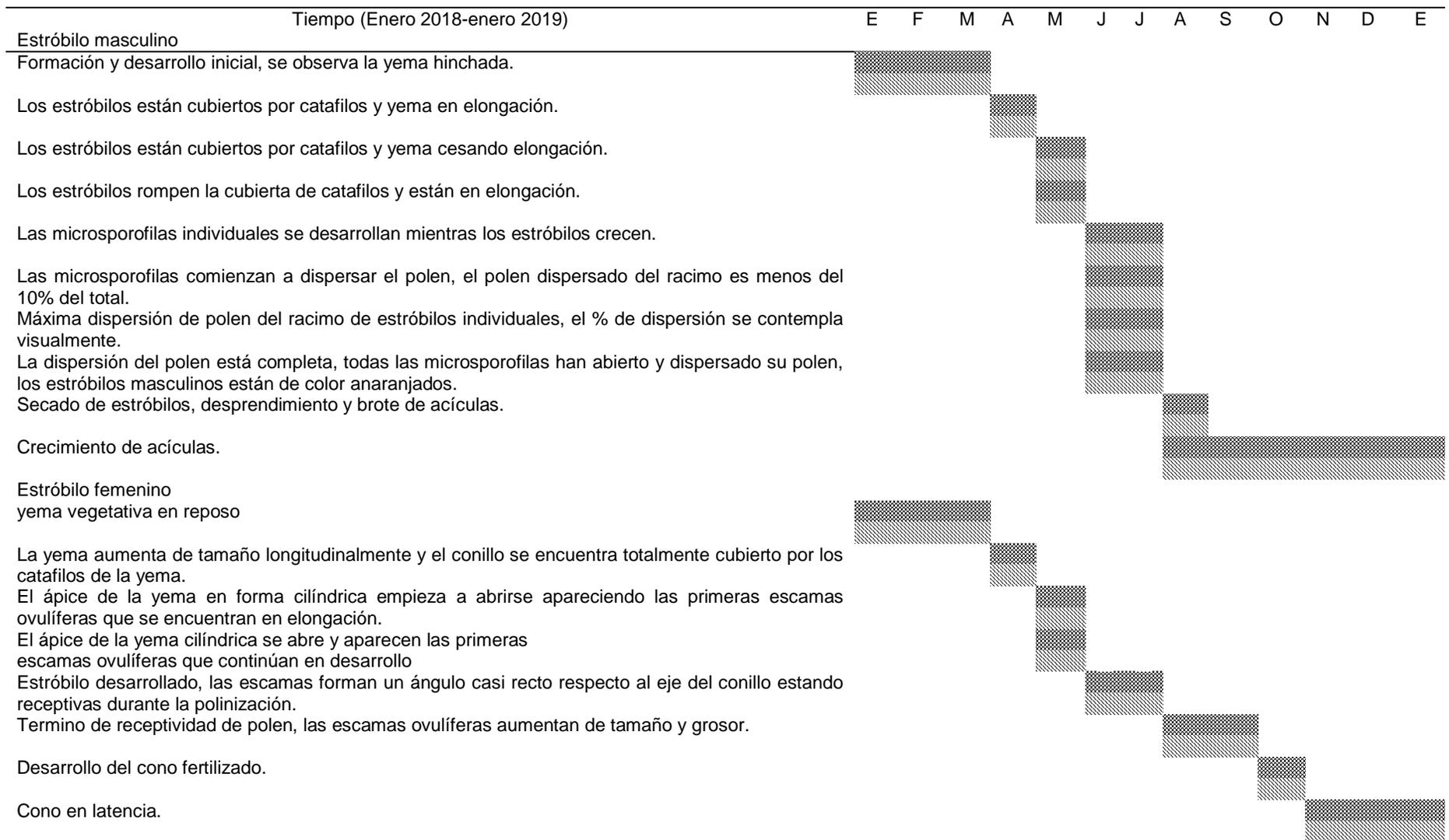
femeninos, cuando la sincronización es aceptable se obtiene semilla de calidad genética para que se siga reproduciendo la especie pero cuando no es así se buscan soluciones alternativas como aplicar hormonas para estimular la producción de primordios florales o se realizan cruces controladas esto con la finalidad de obtener diversidad genética.

Otro factor que afecta la sincronización son las altitudes, si se quiere realizar un huerto semillero se tiene que considerar las condiciones climáticas adecuadas y altitud para que exista una máxima dispersión de polen y una receptividad de estróbilos femeninos simultáneas y de esa manera se de una sincronía adecuada de manera que el porcentaje de semillas vanas sea bajo, de acuerdo a estudios para establecer un huerto semillero de *P. patula* en Colombia la altitud recomendable va de los 2500 a los 3000 msnm ya que en este país la producción de semilla de esta especie es baja por la falta de sincronización comparado con México (Ospina *et al.*, 2011).

Existe una gran variación en la sincronización de las especies de acuerdo a la afectación por diferentes factores principalmente la temperatura, anteriormente se mencionó un caso donde las heladas fueron mínimas que se dio en los últimos días de receptividad, pero existen casos donde la afectación por heladas es mayor con es el caso de *P. greggii* var. *australis*, en el que se evaluó en los mismos años que *P. patula*, donde el máximo de receptividad se registró aproximadamente 13 días después del máximo de dispersión, cuando ocurren estos desfases disminuye diversidad genética y aumenta el porcentaje de óvulos abortivos y semillas vacías (Ruiz *et al.*, 2015).

El porcentaje de semillas vanas aumenta por endogamia problema que afecta a las poblaciones pequeñas disminuyendo su capacidad reproductiva por autopolinización, de acuerdo a estudios, *P. johannis* es considerando como una población con coeficientes de endogamia altos ya que en las áreas que ha sido descubierto existen poblaciones pequeñas, por eso la importancia de estudios fenológicos de esta especie y de todas en las que existen poblaciones pequeñas para identificar las épocas de colectas de semilla y de esa manera reproducir la especie y especies (Villa, 2010). También existen otros factores causantes de baja capacidad reproductiva en pinos como son fluctuaciones climáticas bruscas, deficiencia de nutrientes en el suelo, así como la depredación de conos y semillas por insectos y otros animales (Zavala y Méndez ,1996).

Cuadro 2. Calendario fenológico de los estróbilos femeninos y masculinos.

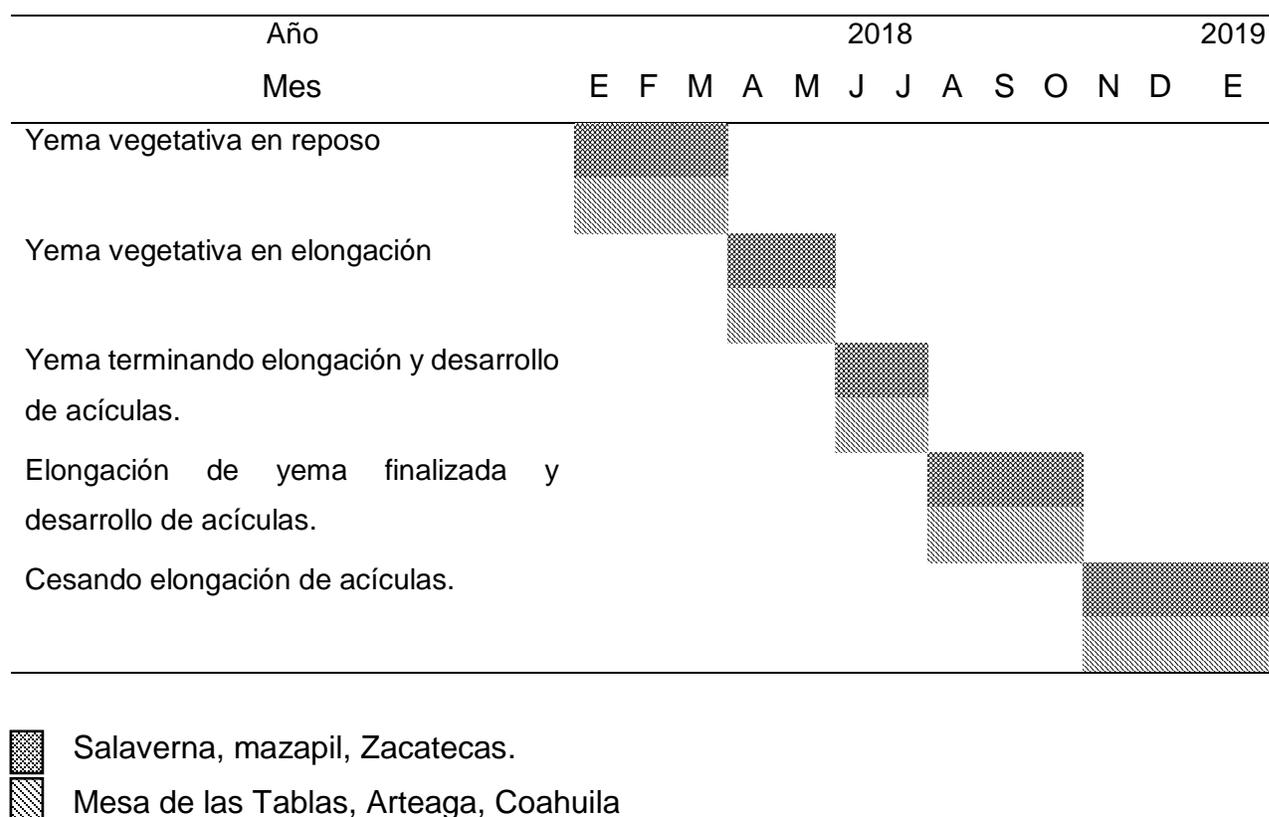


■ Salaverna, Mazapil, Zacatecas. ■ Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

También se elaboró un calendario para identificar el desarrollo de la yema vegetativa (Cuadro 3), en enero, febrero, marzo la yema se encuentra en reposo, comienza su elongación en abril terminando en junio mes en el que inicia su desarrollo de acículas las cuales cesa su crecimiento en noviembre, considerando lo anterior el crecimiento de la yema vegetativa se ve reflejado en primavera y verano.

Analizando el Cuadro 3, el desarrollo de la yema vegetativa fue en su mayoría igual en las dos poblaciones evaluadas, por lo que se puede decir que no hubo desfase, según Lanner (1976) el desarrollo de la yema vegetativa es diferente en los diferentes climas; en áreas con climas tropicales los brotes crecen todo el año, en climas templados el brote se forma en invierno, desarrollándose en primavera y verano, por lo anterior el desarrollo de la yema vegetativa en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila, y Salaverna, Mazapil, Zacatecas es de zonas con climas templados con una elongación de abril a agosto.

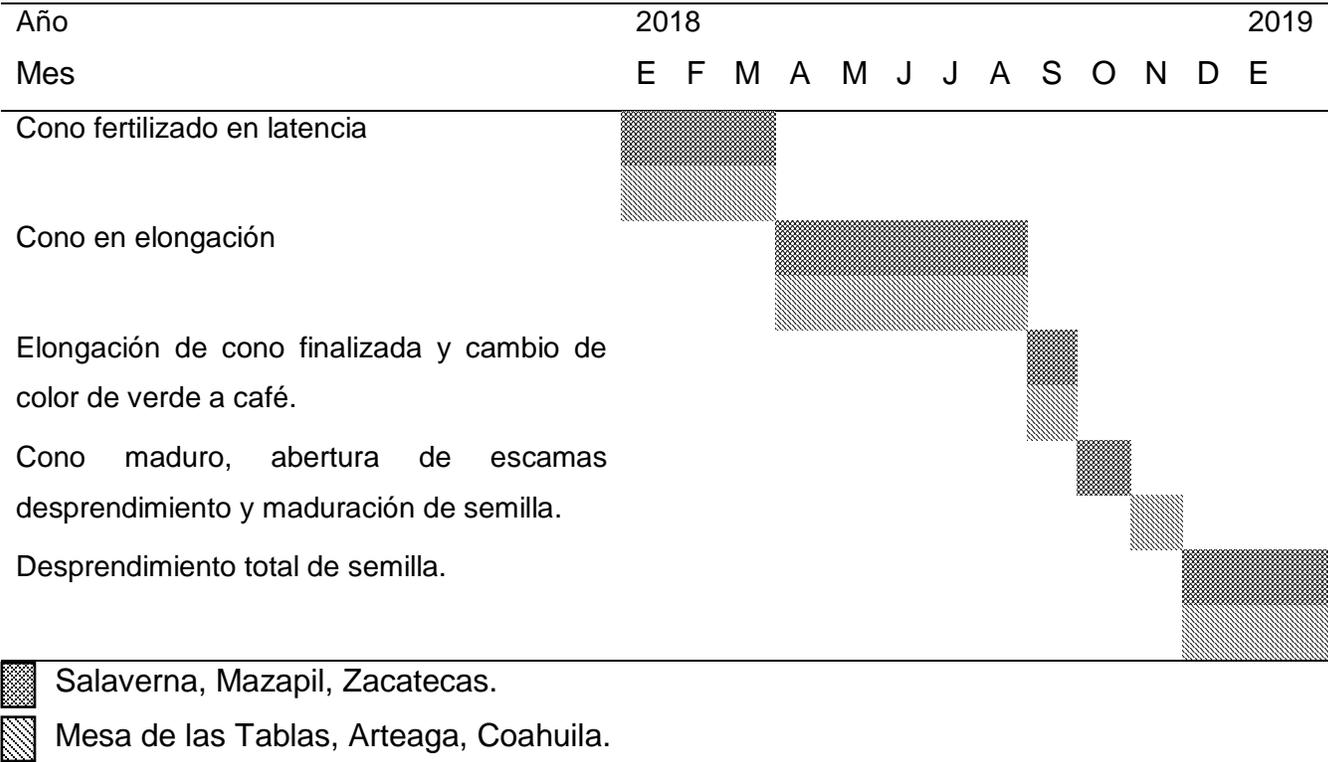
Cuadro 3. Calendario fenológico de la yema vegetativa.



En las evaluaciones se observó el desarrollo del cono fertilizado para el que también se elaboró un calendario fenológico con la finalidad de registrar los cambios morfológicos, en los primeros tres meses de evaluación este se encuentra en latencia empezado su elongación en abril terminando en septiembre, mes en el cual este empieza a cambiar de color como se observa (Cuadro 3), en octubre en Mazapil Zacatecas desprende la semilla, en Arteaga, Coahuila esto se ve reflejado hasta noviembre.

En el desarrollo del cono no hubo ningún desfase en las primeras evaluaciones, esto sucede hasta la maduración donde la abertura de escamas y maduración de semilla se observa en octubre en Mazapil, Zacatecas, reflejado hasta noviembre en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila (Cuadro 3), considerando lo anterior la maduración del cono sucede en los meses de octubre y noviembre en las dos poblaciones mismos meses en los que se identificó la maduración de *P. pinea* que es una especie de pino piñonero Europeo a diferencia del tiempo que se tarda en desarrollarse que es de más de dos años (Valdivieso *et al.*, 2017).

Cuadro 4. Calendario fenológico del cono fertilizado.



Como ya se mencionó anteriormente la sincronización es afectada por diversos factores lo que propicia una baja productividad de las especies, en campos naturales es

más probable una sincronización sin desfases por la adaptación de las especies y por lo tanto una productividad alta pero en plantaciones es necesario considerar una serie de técnicas para que haya sincronía, desde el traslado de las especies donde consideran cuidados como que se trasladen en mañana para evitar temperaturas altas; que no les pegue en aire; evitar movimientos bruscos; y regarlas; preparación del terreno, época de la plantación, clima, suelo, vegetación, topografía sin olvidar jamás la procedencia ya que de esto depende la calidad de la semilla entre otras, hasta el periodo donde comienzan con su ciclo reproductivo en el cual se tiene que cuidar la endogamia que es uno de los principales problemas por los que baja la productividad por problemas de autopolinización, en donde se tienen que hacer estudios fenológicos para conocer la sincronía floral y así determinar la productividad y la calidad genética de la semilla producida (Vial, 2013; López et al., 2016).

También es necesario considerar otros aspectos en las plantaciones principalmente cuando son de especies exóticas, estas son benéficas porque de algunas se obtiene madera rápida, pero tienen desventajas por el posible fracaso a corto y largo plazo de la plantación por la falta de conocimiento de adaptación de la especie, falta de interés, no se cuenta con la mejor fuente de semilla porque la plantación se desea rápido etc., lo anterior son factores a corto plazo que afectan la supervivencia de la plantación como también a largo plazo afectan a la fenología incluyendo la sincronización por consiguiente la reproducción, por eso es importante trasladar especies a lugares con condiciones similares a las del lugar de donde son nativas realizando las pruebas que sean factibles para el área de plantación como por ejemplo experimentos en procedencias potenciales para conocer sus patrones de crecimiento, utilizar semillas de mejores procedencias etc. (Zobel y Talbert, 1992).

#### 4.3 Crecimiento de los brotes vegetativos, masculinos y cono fertilizado

Los datos obtenidos se procesaron en el programa estadístico SAS 9.0, manipulándose mediante cuatro ecuaciones en las cuales se compraron considerando algunos criterios para saber cuál era la correcta entre ellos estuvieron los cuadrados medios residuales MSE; el coeficiente de determinación ( $R^2$ ); y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  aj) (Poulin-Costello, 1994).

Cuadro 5. Parámetros de ecuación cuadrática ( $Y = \beta_0 X^2 + \beta_1 X + \beta_2$ ) por localidad, parte vegetativa y variable en *Pinus johannis*.

| Localidad | Cono/Yema       | Variable | n    | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> aj | Error   | a        | b        | c        |
|-----------|-----------------|----------|------|----------------|-------------------|---------|----------|----------|----------|
| Arteaga   | Cono            | Ancho    | 523  | 0.7053         | 0.7042            | 4.0624  | 0.000019 | 0.05471  | 5.298655 |
| Arteaga   | Cono            | Longitud | 523  | 0.5687         | 0.567             | 4.5537  | -0.00013 | 0.096589 | 7.344564 |
| Arteaga   | Yema Vegetativa | Ancho    | 990  | 0.8266         | 0.8263            | 7.3265  | 0.000261 | 0.030001 | -1.06482 |
| Arteaga   | Yema Vegetativa | Longitud | 990  | 0.7575         | 0.757             | 13.9685 | -0.00033 | 0.34434  | -8.40209 |
| Arteaga   | Yema uno        | Ancho    | 1310 | 0.7891         | 0.7887            | 7.4486  | 0.000186 | 0.047279 | -0.96398 |
| Arteaga   | Yema uno        | Longitud | 1310 | 0.6429         | 0.6424            | 20.539  | -0.00051 | 0.441673 | -10.3076 |
| Arteaga   | Yema dos        | Ancho    | 1333 | 0.7683         | 0.7679            | 7.7223  | 0.000195 | 0.039892 | -0.50906 |
| Arteaga   | Yema dos        | Longitud | 1333 | 0.6608         | 0.6602            | 19.5476 | -0.00044 | 0.410344 | -8.86916 |
| Mazapil   | Cono            | Ancho    | 761  | 0.6383         | 0.6373            | 6.5829  | 0.000019 | 0.069946 | 7.383841 |
| Mazapil   | Cono            | Longitud | 761  | 0.604          | 0.6029            | 6.0776  | -0.00021 | 0.143246 | 7.069586 |
| Mazapil   | Yema Vegetativa | Ancho    | 1036 | 0.7393         | 0.7388            | 9.0315  | 0.000223 | 0.036443 | 0.10926  |
| Mazapil   | Yema Vegetativa | Longitud | 1036 | 0.6834         | 0.6828            | 14.1788 | -0.00029 | 0.295513 | -2.99075 |
| Mazapil   | Yema uno        | Ancho    | 1334 | 0.8477         | 0.8474            | 6.4494  | 0.000178 | 0.055829 | -0.46193 |
| Mazapil   | Yema uno        | Longitud | 1334 | 0.6945         | 0.694             | 16.9427 | -0.00039 | 0.371232 | -5.08084 |
| Mazapil   | Yema dos        | Ancho    | 1368 | 0.8236         | 0.8233            | 6.9957  | 0.000177 | 0.055496 | -0.40387 |
| Mazapil   | Yema dos        | Longitud | 1368 | 0.7149         | 0.7145            | 16.1223 | -0.00037 | 0.367629 | -4.74612 |

De acuerdo a lo anterior el modelo que se consideró para describir la dinámica de crecimiento fue  $Y = \beta_0 X^2 + \beta_1 X + \beta_2$  de Sun y Frelich (2011) donde Los resultados fueron generalmente consistentes con los análisis de regresión con los datos de número de individuos con flores en una área de pastizal, y fue el que cumplió con los criterios establecidos para el ciclo reproductivo de *P. johannis* del que se obtuvo valor mínimo de  $R^2 = 0.5687$  y un máximo de  $R^2 = 0.8477$  valores aceptables (Cuadro 5), en un estudio de fenología de algodón donde también se aplicó una ecuación cuadrática se obtuvieron valores más factibles con coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.94 a 0.99 (Reddy et al., 1993).

Se compararon los resultados con ecuaciones sigmoidales de Castells *et al.* (2001) las cuales no cumplieron con los criterios antes descritos los valores obtenidos en campo, no convergieron por lo que se consideraron valores erróneos para este estudio, en cambio para evaluar fenología y crecimiento de *Pinus uncinata* Ram y *Pinus sylvestris* L. en los Pirineos Centrales en el Periodo 1997-2000 fueron ecuaciones factibles con estadísticos como el coeficiente de determinación ( $R^2$ ); y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ) en un rango de 0.90 a 0.99.

El modelo cuadrático de McConville et al. (2002), también se utilizó para comparar con las ecuaciones antes mencionadas el cual tampoco cumplió los criterios establecidos para comparar el desarrollo de los diferentes brotes evaluados en *P. johannis*.

#### 4.4 Comparación de curvas de crecimiento de cono fertilizado, yemas vegetativas y yemas masculinas en las dos poblaciones evaluadas.

##### 4.4.1 Cono Fertilizado

El desarrollo del cono fertilizado de *P. johannis* es similar en las dos poblaciones evaluadas comenzando en marzo cesando su dimensión en agosto, el ancho se observa con un desarrollo constante considerando que de marzo; agosto aumenta su dimensión y de septiembre a diciembre abre sus escamas desprendiendo la semilla además cabe mencionar que en Zacatecas la elongación de los conos fue mayor (Figura 6).

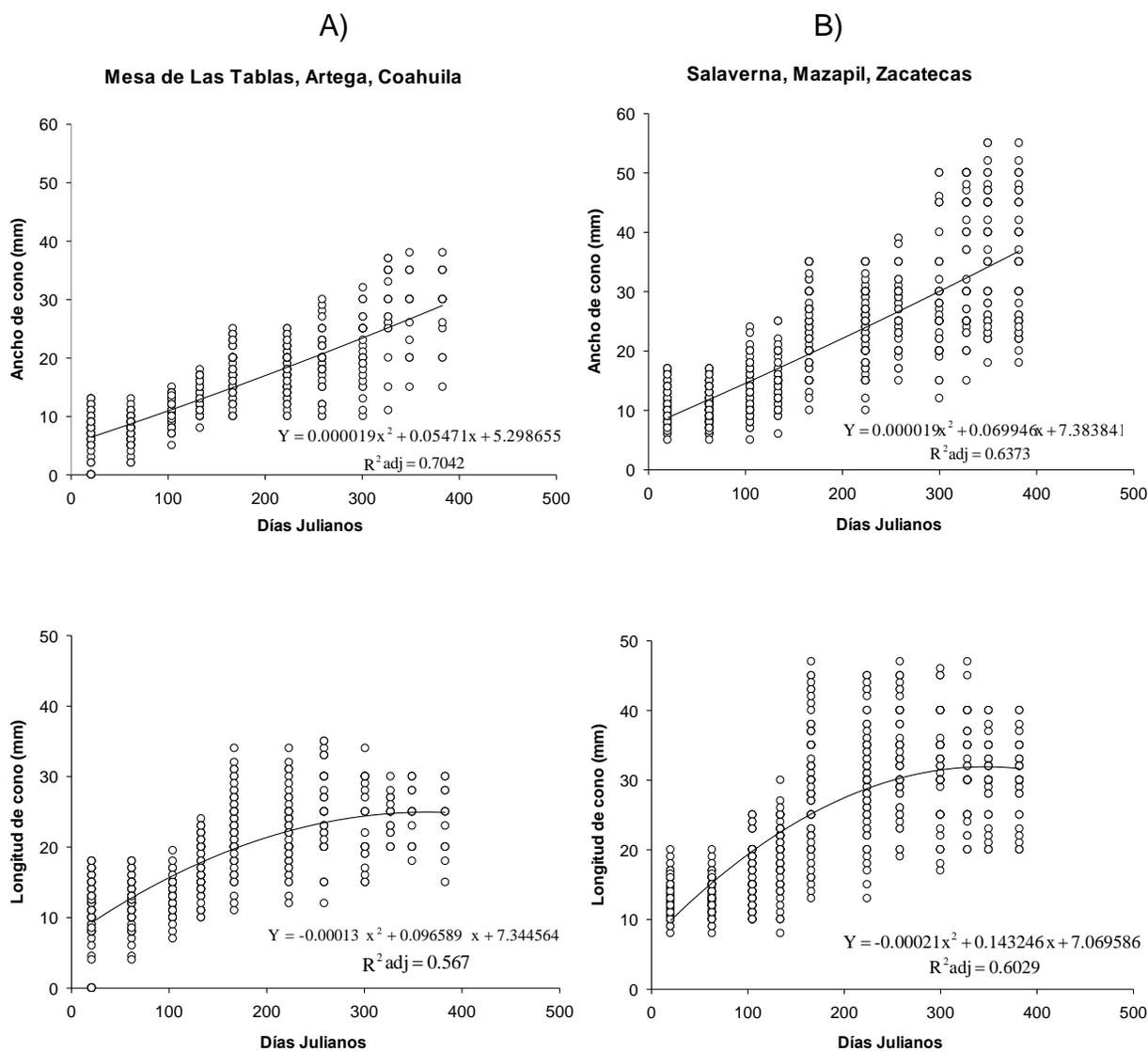


Figura 6. Comparación de curvas de crecimiento del cono fertilizado de *Pinus johannis* en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales obtenidos de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático.

En otras especies los lapsos de desarrollo son menores tal es el caso de *P. sylvestris*, y *P. uncinata* su elongación empieza en mayo cesando en julio, en este caso los periodos de crecimiento son más cortos y los periodos de latencia más largos Castells *et al.* (2001), así como también existen casos donde los periodos de crecimiento son más largos considerando que el ciclo reproductivo de algunas especies de pinos es de dos años aproximadamente tal es el caso de pino de *Araucaria angustifolia*, pino de Brasil el

cual su proceso de polinización y maduración de las piñas es de 20 meses aproximadamente (Anselmini y Zanette, 2008).

#### 4.4.2 Yema Vegetativa

El desarrollo de la yema vegetativa es similar en la población a y b su alargamiento comenzó en el mes de marzo y cesó en el mes de octubre, se diferencia en que las yemas vegetativas de Mesa de las Tablas son más grandes longitudinalmente que en Salaverna, Mazapil, en el ancho se observa una diferencia siendo más anchas en Salaverna, Mazapil, que en Mesa de las Tablas, Arteaga, de agosto a diciembre se muestra un crecimiento significativo en el ancho por el brote y desarrollo de acículas (Figura 7).

El desarrollo de las hojas y brotes varía de acuerdo a la especie y el tipo de clima que predomine en el área de estudio por ejemplo en un estudio que se realizó en Georgia, EE. UU, el desarrollo de brote de la yema y acículas de *Pinus palustris* Miller, se dio en febrero cesando en abril en los dos primeros años de evaluación en el último no sucede lo mismo el alargamiento de los brotes fue indeterminado considerando que cesó su crecimiento a finales de febrero reanudándolo en octubre, para este estudio los valores en las curvas se ajustaron con una ecuación sigmoideal de Weibull, en las cuales se observa un alargamiento de brote brusco en el mes de febrero ya que la evaluación fue en áreas húmedas algo que no sucede con el alargamiento de brote de *P. johannis* que se comporta más estable (McConville *et al.*, 2002).

Otro caso de alargamiento brusco en yemas con el mismo periodo de evaluación que para *P. johannis* fue para *P. uncinata*, en España en 1993 en el cual el desarrollo de los brotes de yemas se observa en el mes de mayo y cesa en el mes de junio creciendo 8 cm aproximadamente en dos meses (Guerrero *et al.*, 1998).

#### 4.4.3 Yema Masculina uno

El desarrollo de las yemas masculinas comienza en marzo coincide con el alargamiento de yema vegetativa y cono fertilizado, cesando su elongación en octubre, siendo mayor Mesa de las Tablas que en Salaverna. En mayo comienza el brote de los

estróbilos masculinos, en agosto el brote de acículas por lo que el ancho aumenta (Figura 8).

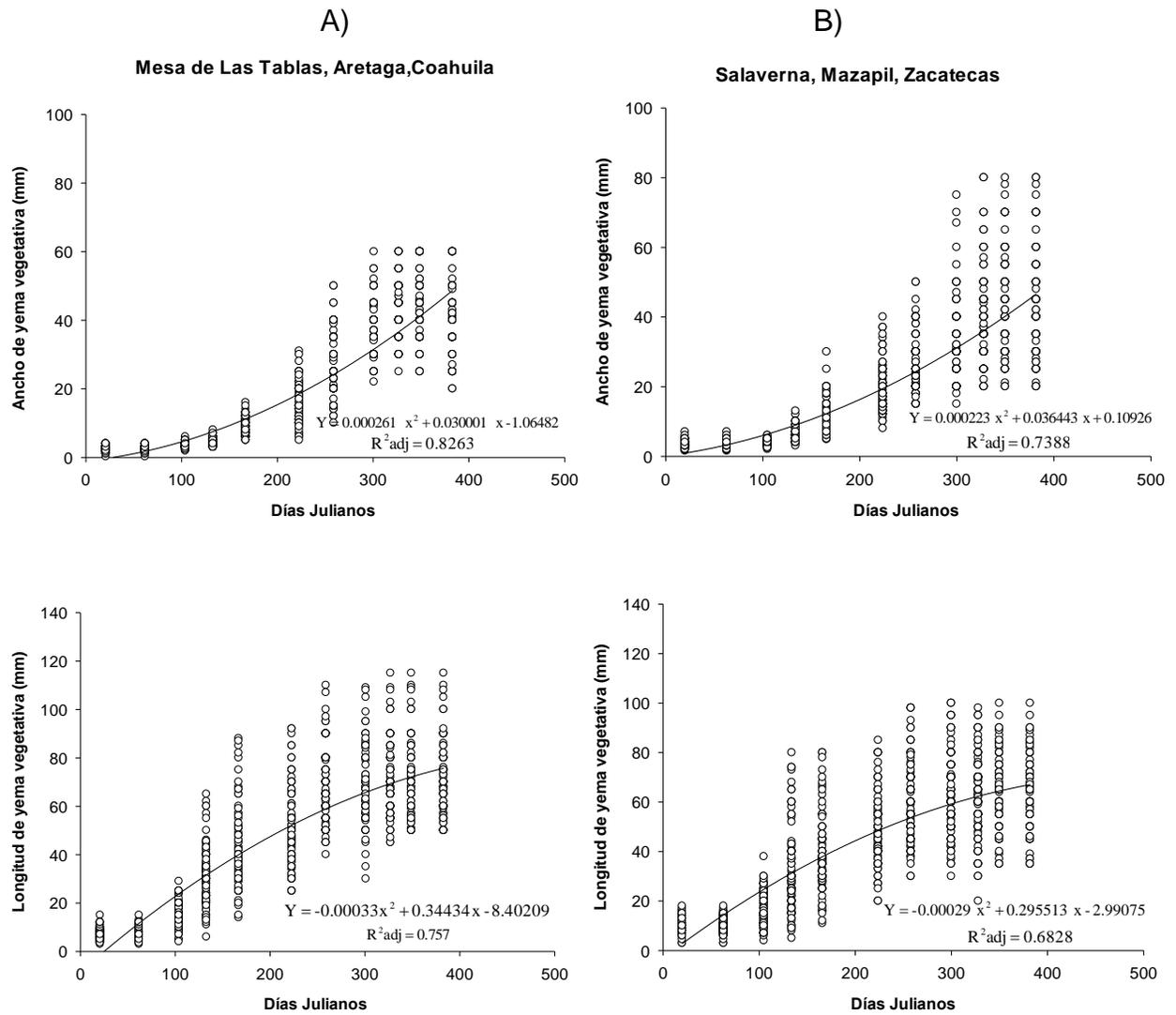


Figura 7. Comparación de curvas de crecimiento de la yema vegetativa de *Pinus johannis* en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático.

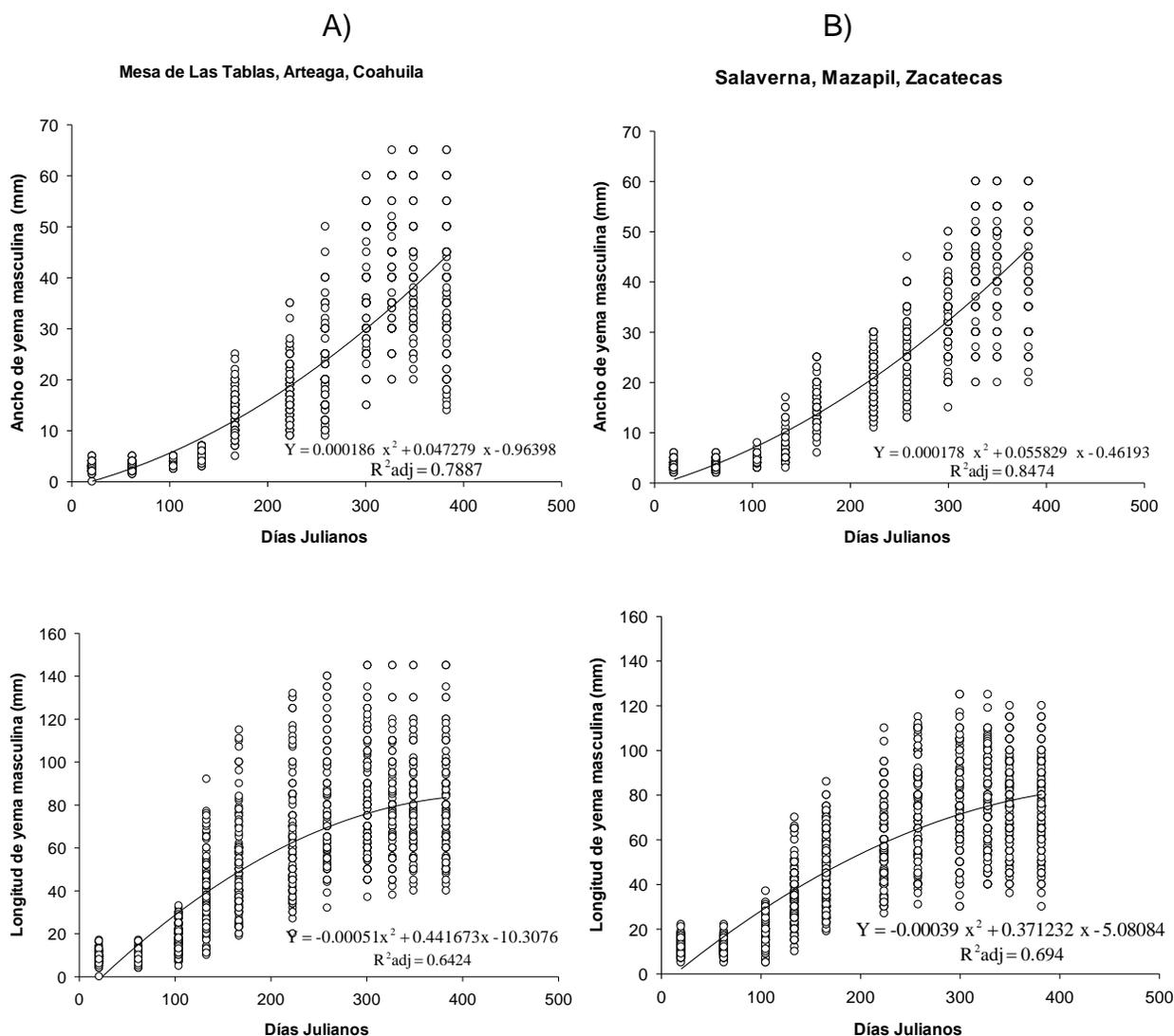


Figura 8. Comparación de curvas de crecimiento de la yema masculina uno de *Pinus johannis* en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático.

#### 4.4.4 Yema masculina dos

El desarrollo de la yema masculina dos sigue el mismo patrón que la uno la diferencia es que se monitoreó en ramas diferentes para comparar los brotes de estróbilos masculinos y que en la longitud no se observa una diferencia significativa de tamaño en el periodo de mayor desarrollo (Figura 9).

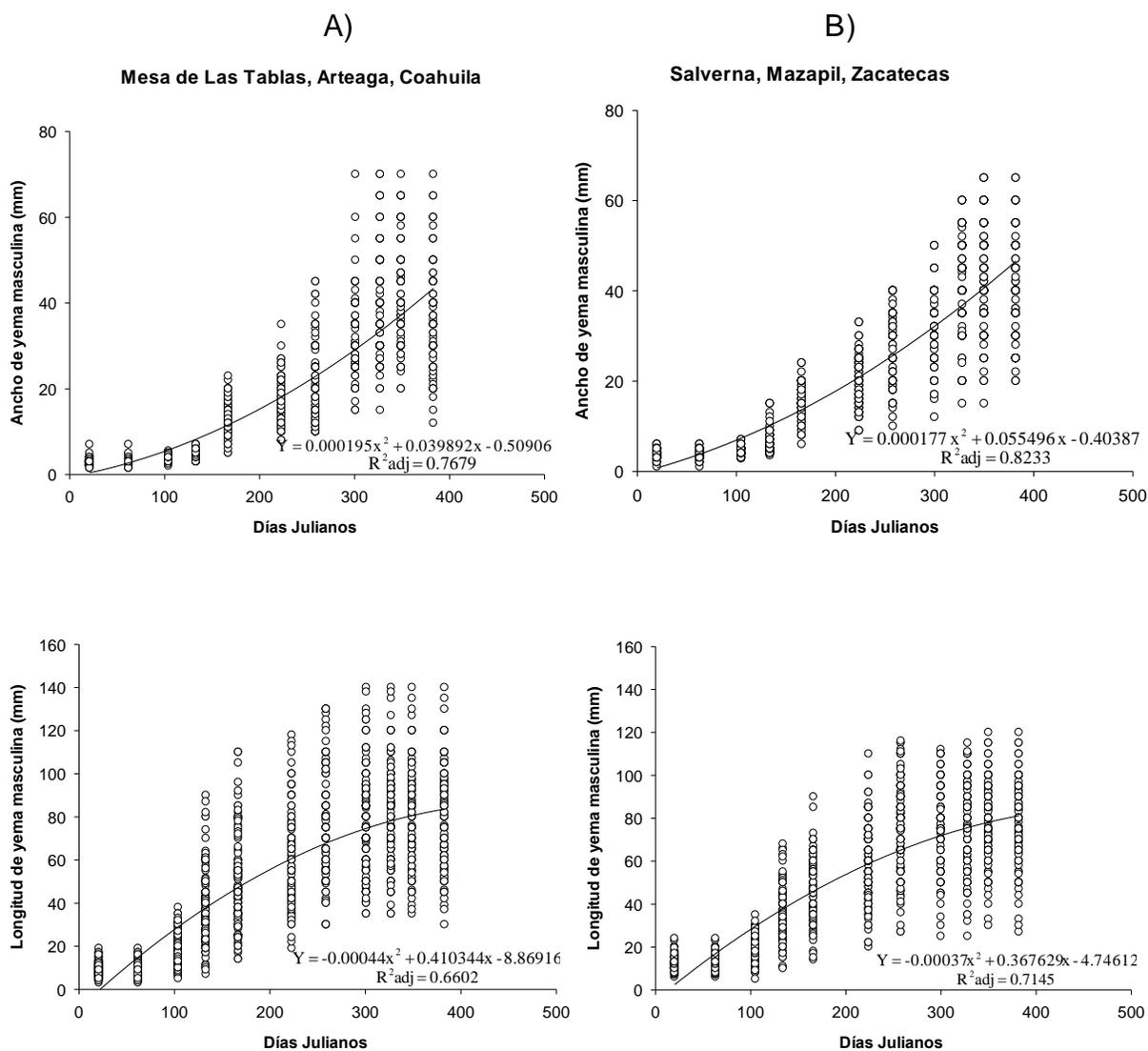


Figura 9. Comparación de curvas de crecimiento de la yema masculina dos de *Pinus johannis* en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas, donde los símbolos representan los valores mensuales de ancho y longitud, las curvas representan los valores de ancho y longitud calculados usando un modelo cuadrático.

#### 4.6 Comparación de medias del desarrollo del cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas

Con los datos de los periodos significativos de desarrollo para cono fertilizado, yemas vegetativas y yemas masculinas se realizaron comparaciones de medias con pruebas T Student en el programa estadístico SAS 9.0 para determinar el valor de

significancia para  $H_0$  a un error de 0.05, y de esa manera saber si el crecimiento de las dos poblaciones fue similar o diferente (hipótesis de dos colas).

Una de las estrategias para validar una hipótesis es la comparación de grupos de datos utilizando la prueba T de Student para comparar medias en casos donde se desea probar la validez bajo la estrategia diferencial (Merino y Willson 2013).

El periodo que se utilizó para comparar las medias del cono fertilizado fue de enero a septiembre, meses en los que el desarrollo fue notable en las curvas de crecimiento de la población a y b, obteniendo valores de significancia de 0.0001 tanto para el ancho como para longitud valores menores a 0.05, entonces se rechaza la hipótesis nula, se comprueba que el desarrollo del cono fertilizado fue diferente entre dos poblaciones y se utiliza el valor p (que se muestra en "Pr > F") de Satterthwaite.

Considerando el valor de significancia en las pruebas T se utilizaron los métodos de agrupados con variaciones iguales y Satterthwaite con variaciones desiguales ya que las pruebas T soportan desigualdad de variaciones, considerando que los tamaños de muestras son iguales o casi iguales, comúnmente cuando se prueban hipótesis de dos colas, tal es el caso de los datos de las poblaciones evaluadas (a y b) donde los tamaños de muestra son casi iguales además de que las variables que se compararon en las dos poblaciones son las mismas y se comprobó una hipótesis de dos colas (Jerrold, 2010)

Cuadro 6. Valores de significancia para el cono fertilizado.

|          |               | Pruebas T   |      |         |          |
|----------|---------------|-------------|------|---------|----------|
| Variable | Método        | Variaciones | DF   | Valor t | Pr >   t |
| Ancho    | Agrupados     | Igual       | 1024 | -9.85   | <.0001   |
| Ancho    | Satterthwaite | Desigual    | 1010 | -10.42  | <.0001   |
| Longitud | Agrupados     | Igual       | 1024 | -8.25   | <.0001   |
| Longitud | Satterthwaite | Desigual    | 1001 | -8.77   | <.0001   |

Para la yema vegetativa y yemas masculinas se consideró el periodo de ocho meses (enero-octubre) para comparar las medias, periodo en el que su desarrollo fue notable en las dos poblaciones, se obtuvieron valores de significancia de 0.0216 para el ancho menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula aceptándose la alterna comprobando que el desarrollo del ancho de la yema vegetativa fue diferente en las dos

poblaciones y de 0.3734 del método de agrupados para la longitud mayor a 0.05 comprobando que el alargamiento de la longitud de la yema vegetativa fue similar en la población a y b.

Cuadro 7. Valores de significancia para la yema vegetativa.

|          |               | Pruebas T   |      |         |          |
|----------|---------------|-------------|------|---------|----------|
| Variable | Método        | Variaciones | DF   | Valor t | Pr >   t |
| Ancho    | Agrupados     | Igual       | 1511 | -2.30   | 0.0217   |
| Ancho    | Satterthwaite | Desigual    | 1510 | -2.30   | 0.0216   |
| Longitud | Agrupados     | Igual       | 1511 | -0.89   | 0.3734   |
| Longitud | Satterthwaite | Desigual    | 1485 | -0.89   | 0.3738   |

En la yema masculina uno se obtuvo un valor de significancia para el ancho de 0.0084 menor a 0.05 por lo que se rechaza hipótesis nula y se comprueba que su desarrollo es diferente, para la longitud de 0.1164 mayor a 0.05 comprobando que su alargamiento fue similar en las dos poblaciones.

Cuadro 8. Valores de significancia para la yema masculina uno.

|          |               | Pruebas T   |      |         |          |
|----------|---------------|-------------|------|---------|----------|
| Variable | Método        | Variaciones | DF   | Valor t | Pr >   t |
| Ancho    | Agrupados     | Igual       | 1954 | -2.64   | 0.0084   |
| Ancho    | Satterthwaite | Desigual    | 1954 | -2.64   | 0.0084   |
| Longitud | Agrupados     | Igual       | 1954 | 1.57    | 0.1164   |
| Longitud | Satterthwaite | Desigual    | 1920 | 1.57    | 0.1165   |

Los resultados de la yema masculina uno, fueron similares a los de la yema masculina dos con un valor de significancia para el ancho de 0.0001 menor a 0.05 y para la longitud de 0.8572 mayor a 0.05 por lo que se acepta hipótesis nula comprobando que el alargamiento de la yema masculina dos fue similar en las dos poblaciones.

Cuadro 9. Valores de significancia para la yema masculina dos.

|          |               | Pruebas T   |      |         |          |
|----------|---------------|-------------|------|---------|----------|
| Variable | Método        | Variaciones | DF   | Valor t | Pr >   t |
| Ancho    | Agrupados     | Igual       | 1993 | -4.11   | <.0001   |
| Ancho    | Satterthwaite | Desigual    | 1991 | -4.11   | <.0001   |
| Longitud | Agrupados     | Igual       | 1993 | -0.18   | 0.8572   |
| Longitud | Satterthwaite | Desigual    | 1995 | -0.18   | 0.8573   |

De acuerdo a los resultados el desarrollo del cono fertilizado fue diferente en las poblaciones (a y b) y el desarrollo de las yemas vegetativas y masculinas fue diferente respecto al ancho y similar en su alargamiento.

#### 4.7 Comparación de crecimiento del cono fertilizado, yema vegetativa, y yemas masculinas en las dos poblaciones, con temperatura y precipitación

En la primera población el desarrollo del cono fertilizado se ve reflejado en los meses de abril a septiembre mismos meses en los que la precipitación y la temperatura aumentan, se presenta un periodo de reposo de septiembre a diciembre cuando las temperaturas bajan y la precipitación disminuye esto de acuerdo a la longitud del cono, considerando el ancho este hace un cambio brusco de octubre a noviembre por la abertura de escamas y desprendimiento de semilla (Figura 10).

En la segunda población el desarrollo del cono fertilizado se ve reflejado similar a la primera diferenciándolo en que la precipitación fue superior en el área donde se encontraba la segunda población y la dimensión del cono fue mayor, además de que en esta área las temperaturas fueron más altas empezando a disminuir en el mes de junio (Figura 11).

Analizando el periodo de evaluación desde el inicio hasta el final el desarrollo del cono se comporta constante en dos periodos en las dos poblaciones de enero abril y de octubre a diciembre, épocas donde la precipitación estuvo entre 10 y 25 mm y la

temperatura estuvo entre los 15 °C en promedio aproximadamente, meses secos de acuerdo a las figuras 10 y 11.

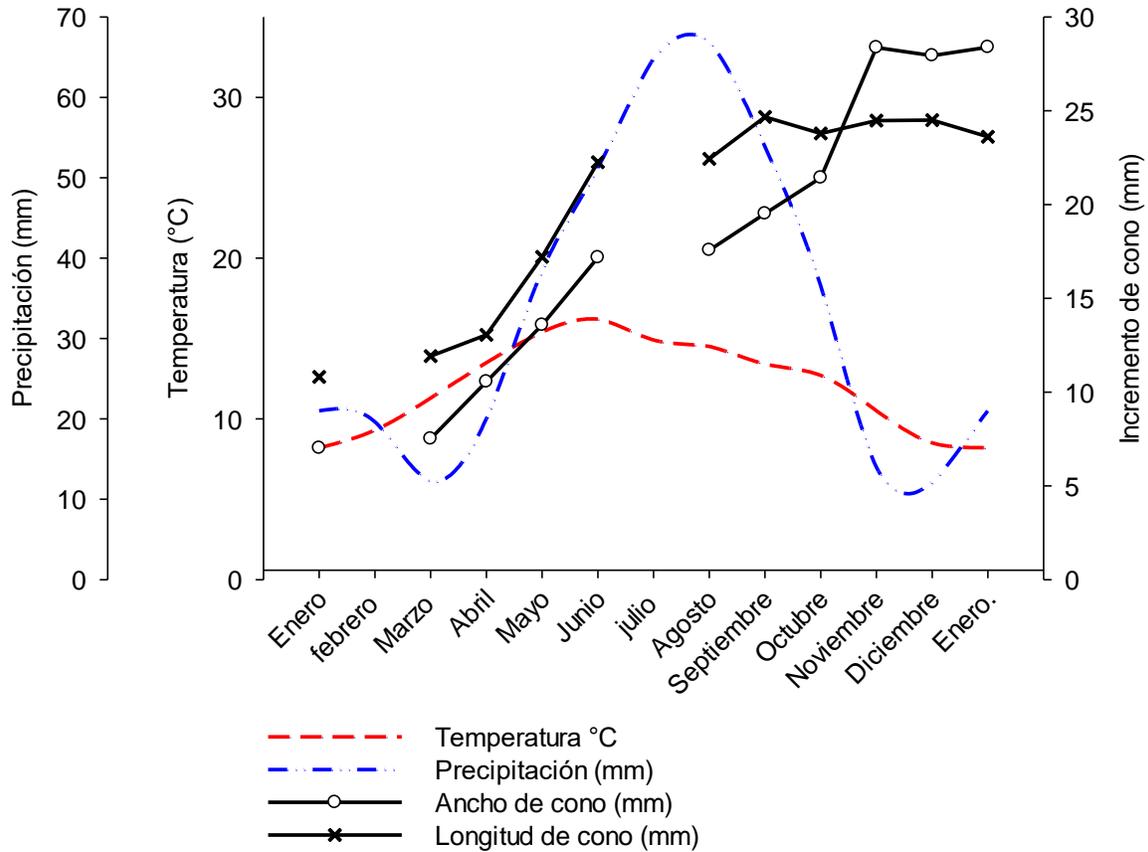


Figura 10. Comparación de crecimiento de cono fertilizado de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

También se comparó el crecimiento de la yema vegetativa en las áreas de evaluación, su comportamiento es similar al del cono fertilizado, empieza su desarrollo en el mes de marzo cuando empiezan las lluvias y aumenta la temperatura, empieza a cesar su crecimiento en septiembre cuando la precipitación disminuye y las temperaturas bajan en las dos poblaciones (Figura 12 y 13).

En Cuautitlán Izcalli, Estado de México se realizó un estudio donde se monitoreo la yema apical de la misma especie a mayor precipitación en un área urbana donde su desarrollo se comportó semejante al de la yema vegetativa evaluada en Mazapil

Zacatecas y Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila, con crecimiento lento de enero a abril cuando la temperatura aumenta, y un crecimiento notable a mayor precipitación de abril a octubre, por lo que no hay un cambio notable de desarrollo ante la variación de precipitación y temperatura (Martínez, 2006).

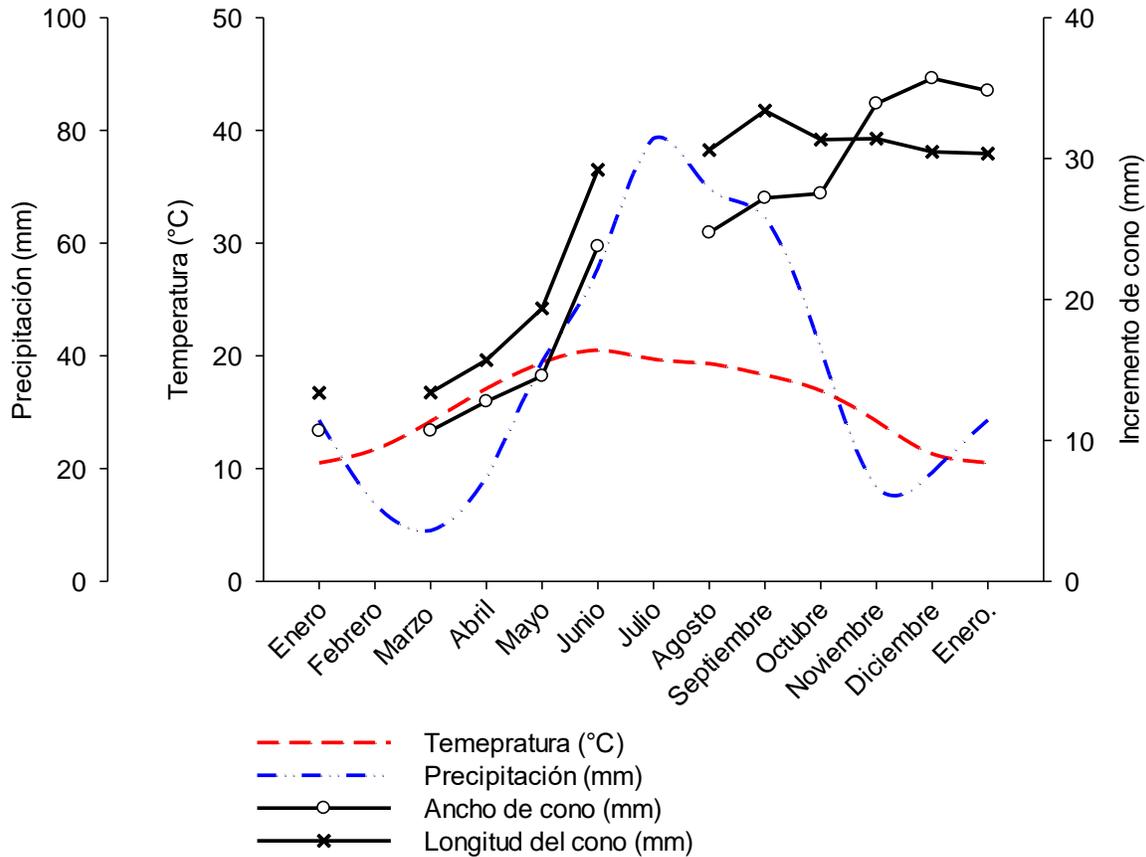


Figura 11. Comparación de crecimiento de cono fertilizado de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

Al igual que en la primera población el ancho se dispara en mayo a noviembre, meses en los que se desarrollan las acículas en esta área y en los que los registros de lluvias fueron de los más altos en ese año, cabe mencionar que, aunque los registros de precipitación fueron mayores en Mazapil el crecimiento de la yema vegetativa fue menor que en la población de Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila (Figura 13).

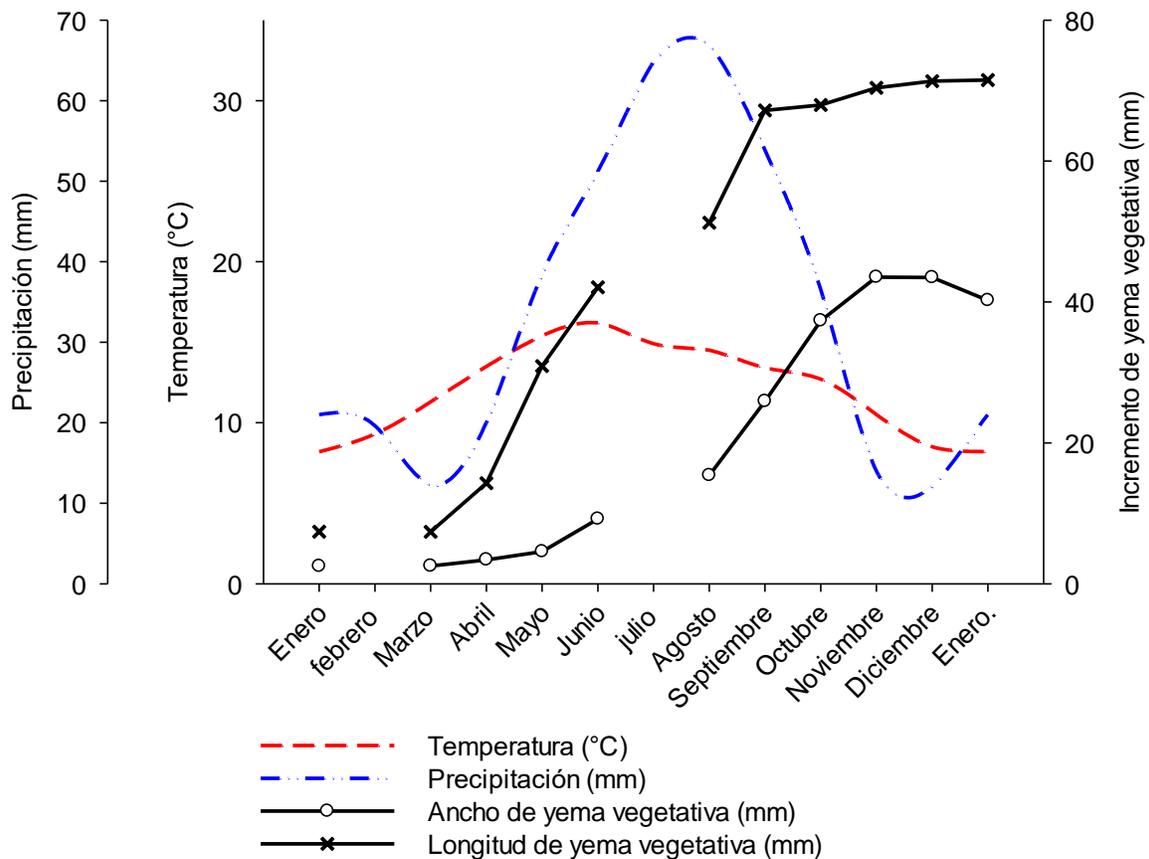


Figura 12. Comparación de crecimiento de la yema vegetativa de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

Como ya se mencionó anteriormente se monitoreó en cada sitio un árbol femenino y un árbol masculino del cual se marcaron dos yemas con la finalidad de identificar los brotes de estróbilos masculinos y su desarrollo que se comparó con temperatura y precipitación en las dos poblaciones, el incremento de la yema uno se manifestó de igual manera en las dos poblaciones evaluadas su elongación comienza en marzo cesando en el mes de septiembre cuando la precipitación disminuye y la temperatura baja, el ancho de la yema se dispara de mayo a junio meses en los que aparecen los estróbilos masculinos y se da el proceso de la polinización, de agosto a noviembre también tiene un aumento significativo por el desarrollo las acículas meses de lluvias considerables (Figura 14 y 15).

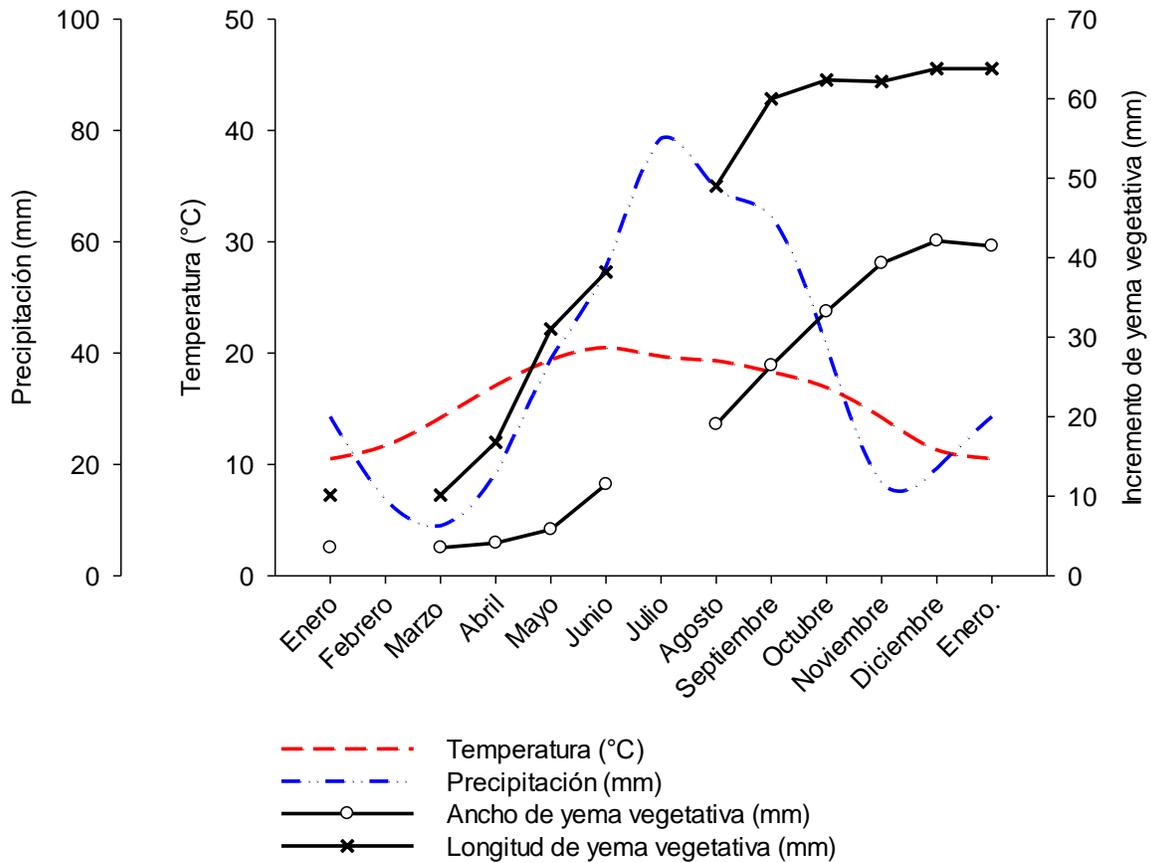


Figura 13. Comparación de crecimiento de la yema vegetativa de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

De acuerdo a lo anterior el desarrollo de la yema uno es similar en las dos poblaciones evaluadas, así como también su periodo de latencia y cese de crecimiento en los periodos secos cuando la precipitación es mínima (Figura 13 y 14).

La yema dos se comportó similar a la yema uno, su incremento fue en los mismos meses con los mismos periodos de crecimiento en las dos poblaciones a diferencia poco significativa en el desarrollo del ancho, así como también fue similar el comportamiento en los periodos secos (Figuras 16 y 17), periodos que se determinan en la época en la que llovió menos y la curva de temperatura estuvo por encima de la de precipitación (Muñoz, 2006).

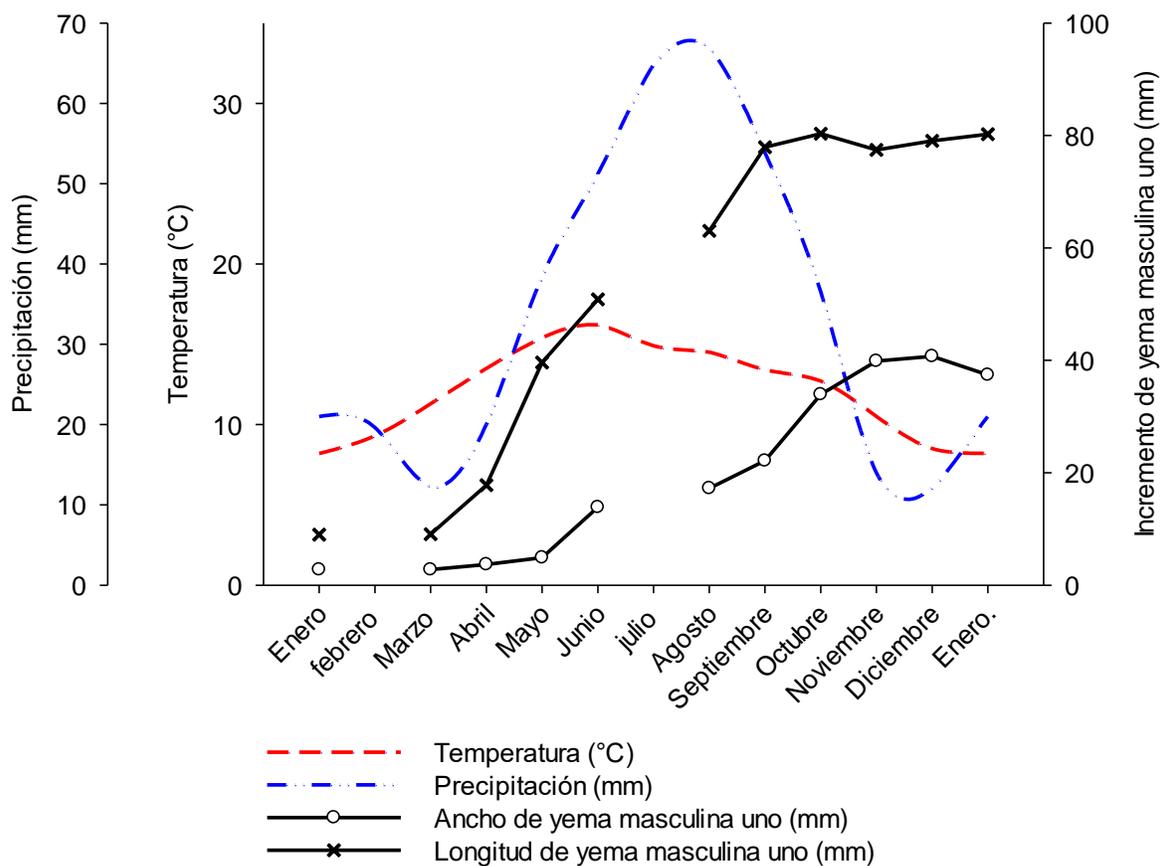


Figura 14. Comparación de crecimiento de la yema masculina uno de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

El comportamiento de las yemas masculinas de *P. johannis* en las dos poblaciones evaluadas fue similar, así como el comportamiento del brote apical de esta misma especie en Cuautitlán Izcalli, Estado de México se manifestó semejante, por lo que la variación de temperatura y precipitación no influyó en estas dos áreas donde se evaluó la especie. En otros piñoneros como *P. pincena*, *Pinus discolor* Bailey et Hawksworth, *P. culminicola*, *Pinus cembroides* subsp *orizabensis* D.K. Bailey, *Pinus maximartinezii*, si varia su desarrollo de acuerdo a precipitación, temperatura y a la duración de su ciclo reproductivo, por ejemplo *P. discolor* presenta un crecimiento rápido en abril a julio cuando la precipitación se registra alta en esa área, con un letargo de junio a octubre e interrupción de octubre de ese año de evaluación a abril del otro año, otro ejemplo seria

*P. culminicola* que presenta una longitud de brote apical constante de enero de 1995 a abril de 1996 que fueron los años de evaluación, en general su mayor incremento se presenta entre abril y julio meses en los que la precipitación de esta área asciende cosa que no sucede con *P. johannis* el cual su mayor incremento se registra en los meses de marzo a septiembre desde que empiezan las primeras lluvias y aumenta la temperatura hasta que disminuye la precipitación y se registran temperaturas bajas en el área de evaluación (Martínez, 2006).

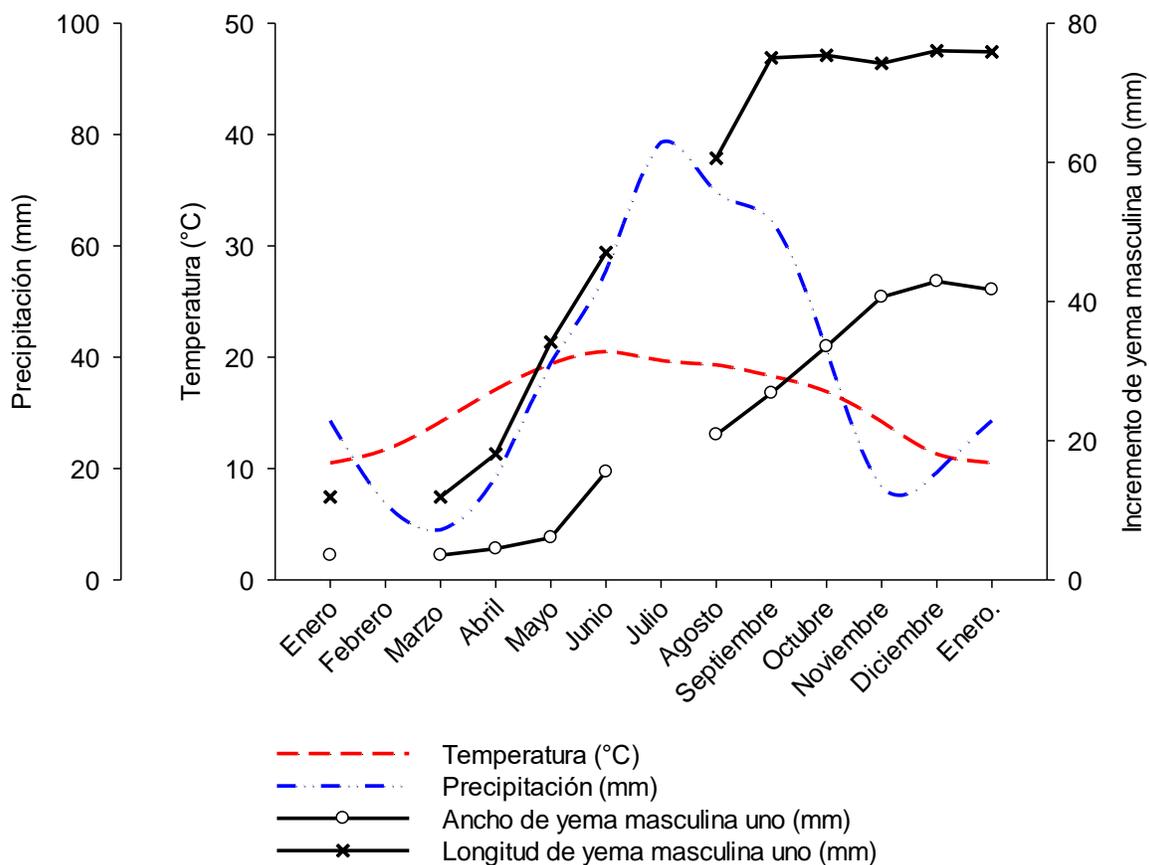


Figura 15. Comparación de crecimiento de yema masculina uno de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

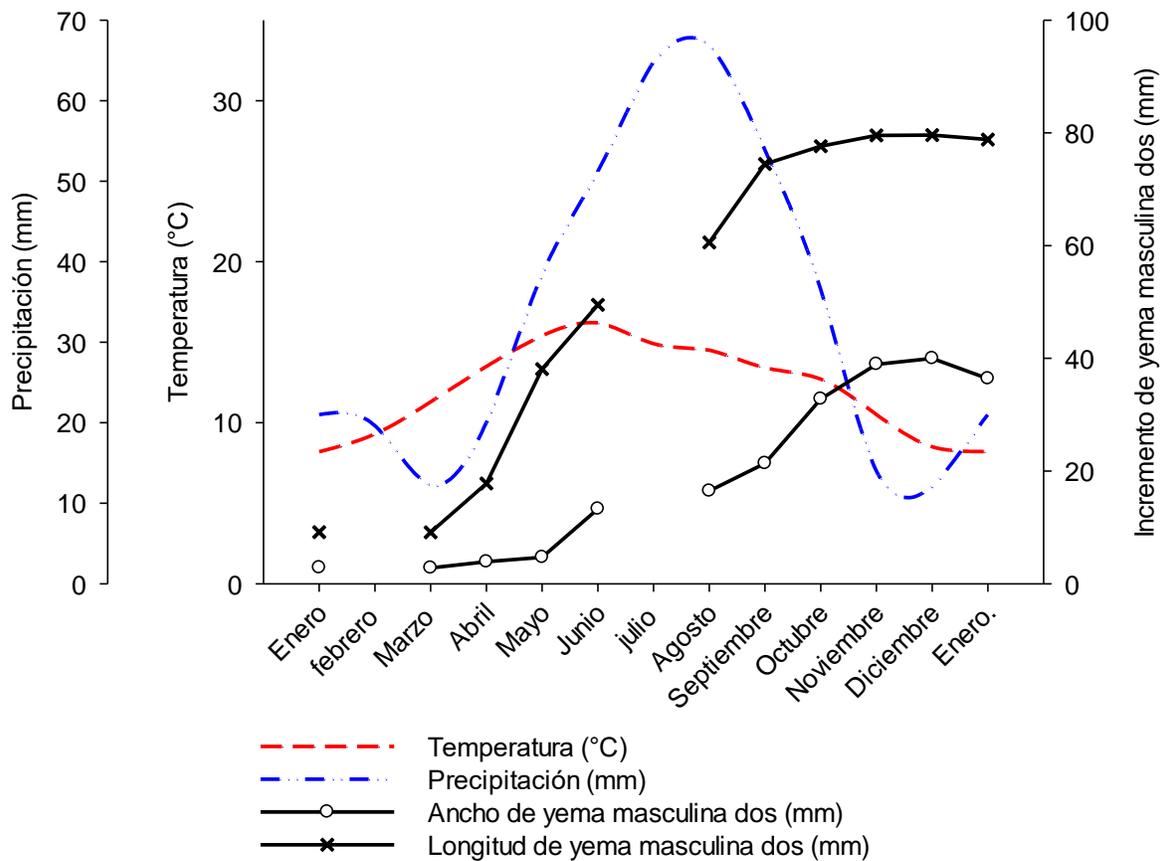


Figura 16. Comparación de crecimiento de yema masculina dos de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación de Mesa de las Tablas, Arteaga, Coahuila.

De acuerdo a las gráficas el aumento de precipitación y temperatura fue constante con el desarrollo de cono fertilizado, yemas vegetativas y yemas masculinas, no se registró ningún periodo de sequía o heladas intensas que influyeran drásticamente en su desarrollo, si se hubiese dado un exceso de humedad hubiera provocado que el polen se compactara en el estróbilo, o una sequía provocando que se acelerara la emisión del polen lo que pudo traer como consecuencia retrasar o adelantar el periodo de sincronización o que no se diera este proceso además de que también pudo haber deteniendo el desarrollo tanto de estróbilos femeninos como masculinos (Ruiz *et al.*, 2015).

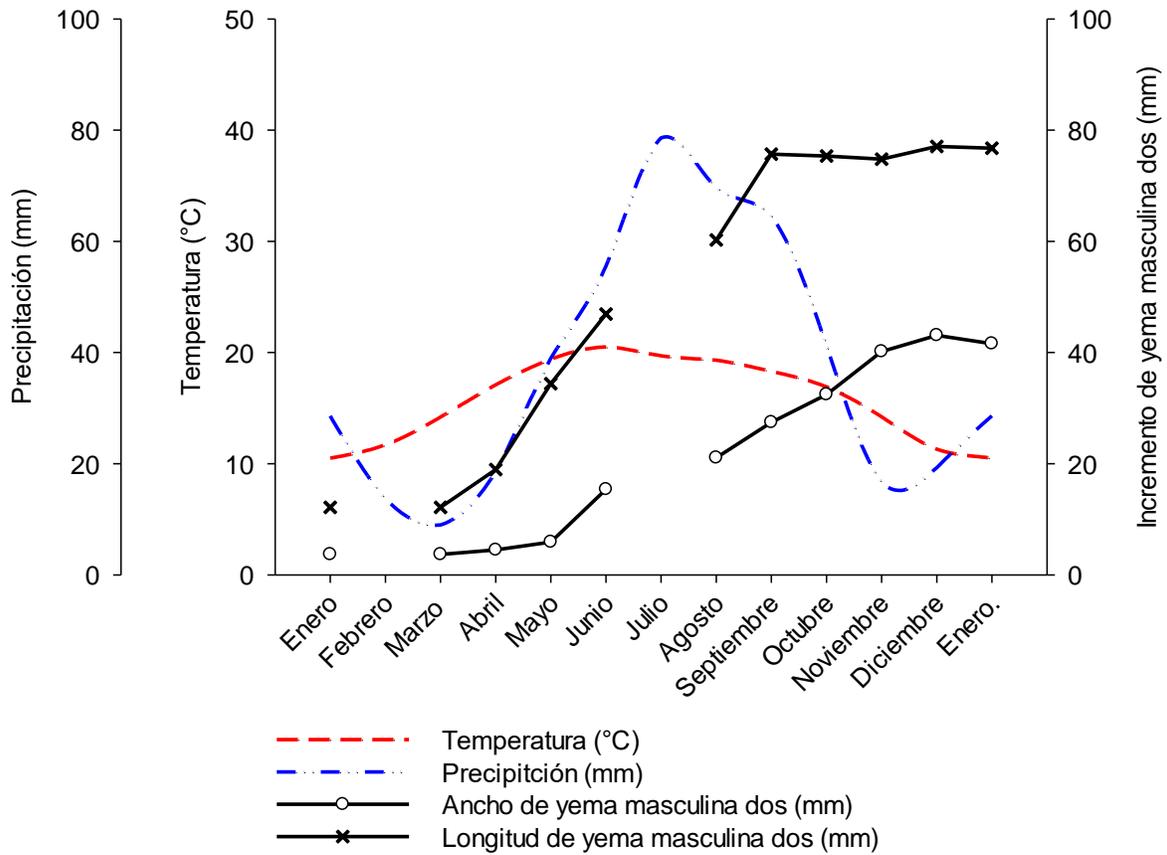


Figura 17. Comparación de crecimiento de yema masculina dos de *Pinus johannis* con temperatura y precipitación en Salaverna, Mazapil, Zacatecas.

Considerando que en la actualidad las relaciones entre clima, distribución de especies y su fenología es un tema de interés poblacional por la pérdida de biodiversidad, se han creado estrategias para conocer dicha relación con diagramas ombrotérmicos, tal es el ejemplo de un estudio que se hizo en la península de Yucatán donde se analizó el déficit hídrico, sequía relativa, condición húmeda cantidad de lluvia relacionados con distribución de la vegetación en algunos casos con especies endémicas del lugar donde se obtuvo la distribución de sequías, las áreas con mayor humedad y la relación con algunas especies del lugar ya que tienen diferentes respuestas a las condiciones ambientales (Orellana *et al.*, 2002).

## 5 CONCLUSIONES

La caracterización fenológica se hizo considerando la clasificación de diferentes autores y diferentes especies de pinos, en el árbol hembra se describieron siete fases fenológicas para las flores femeninas, cinco para la yema vegetativa y siete para el cono fertilizado y en el árbol macho se describieron nueve fases fenológicas principales y una subfase para las flores masculinas.

Las fases fenológicas determinadas son similares a las especies de pinos piñoneros, así como a otros pinos como lo es *P. greggi*, *P. patula* entre otros, la diferencia es el tiempo en el que ocurren y que no se observan en el mismo árbol considerando que *P. johannis* es una especie dioica.

El periodo de crecimiento notorio para el cono fertilizado, yema vegetativa y yemas masculinas fue similar en las dos poblaciones comenzando su elongación en marzo cesando en septiembre.

De acuerdo a los valores de significancia obtenidos en la comparación de medias con las pruebas T Student a un error de 0.05 el desarrollo del cono fertilizado fue diferente en las dos poblaciones con valores de significancia menores a 0.05 por lo que se rechazó la hipótesis nula, para el desarrollo de las yemas vegetativas y masculinas se comprobó que el desarrollo del ancho fue diferente en las dos poblaciones obtenido valores de significancia menores a 0.05 y el alargamiento de la longitud fue similar considerando que se obtuvieron valores de significancia mayores a 0.05 por lo que se aceptó la hipótesis H0.

Considerando los registros de precipitación y temperatura de las normales meteorológicas de 1951-2010 y las evaluaciones registradas, el desarrollo del cono fertilizado, yema vegetativa, y yemas masculinas comenzó en marzo cuando inició a llover y aumentó la temperatura, cesando en septiembre cuando disminuyó la precipitación y descendieron las temperaturas.

## 6 RECOMENDACIONES

Dar seguimiento al monitoreo de los árboles marcados de *P. johannis* en Mesa de Las Tablas, Arteaga, Coahuila y Salaverna, Mazapil, Zacatecas para identificar las fases fenológicas que no se identificaron, en el caso de los estróbilos masculinos faltó la etapa donde desprenden un líquido transparente al ser apretados con los dedos y sus subetapas, además también faltaron las subetapas del desprendimiento de polen, en los estróbilos femeninos faltó la etapa donde los estróbilos femeninos están no receptivos. Etapas y subetapas que no se identificaron por que las evaluaciones fueron cada mes, estas se pueden identificar en los meses de junio y julio meses que se da el procesos de polinización en la especie, pero con observaciones semanales o quincenales en esos dos meses.

La metodología utilizada es apropiada, ya que fue práctico tomar las fotografías sobre el papel milimétrico y realizar las mediciones a través de ellas, y por otra parte reduce el tiempo y el costo en las evaluaciones.

- Adams, H., A. Collins, S. Briggs, M. Vennetier, T. Dickman, S. Sevanto, N. García-Forner, H. Powers, N. McDowell. 2015. Experimental drought and heat can delay phenological development and reduce foliar and shoot growth in semiarid trees. Supporting Information in *Global Change Biology*. 21(11): 4210-4220.
- Aguirre, M. Z., O. L. Díaz, H. B. Palacios. 2015. Fenología de especies forestales nativas en el Jardín Botánico el Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDMAZ*. 5(1): 68-80.
- Anselmini, I. J., F. Zanatte. 2008. Development and growth curve of the pine cones of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, in the region of Curitiba. *Brazilian archives of Biology and Technology an International Journal*. 51(4): 665-669.
- Andresen, J. M. 1966. A multivariate analysis of the *Pinus chiapensis*-*monticola*-*strobus* phylad. Reprinted from *Rhodora*. 68-773 p.
- Badii, M.H., A. Guillen, C.E. Rodríguez, O. Lugo, J. Aguilar & M. Acuña. 2015. Pérdida de biodiversidad: causas y efectos. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 10 (2): 156-174.
- Castells, X., E. Gutiérrez., P. Llorens. 2001. Fenología y crecimiento de *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris* en los Pirineos Centrales en el Periodo 1997-2000. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*. 52: 273-292.
- Codesido, V., E. Merlo. 2001. Caracterización fenológica del huerto semillero de *Pinus radiata* de Sergude. In *Actas III Congreso Forestal Español*, Tomo III. p. 69-74.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2017. Síntesis evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales. [En línea] Síntesis capital natural de México conocimiento actual, evaluación y perspectivas de

- sustentabilidad. [Fecha de consulta 05 de febrero de 2019]. Disponible en;<  
[https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Sintesis\\_CNM\\_2017.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Sintesis_CNM_2017.pdf)>
- Chápela, F. 2012. Estado de los bosques de México. Consejo civil mexicano para la silvicultura sostenible A.C. Ciudad de México. 220 p.
- Delgado, P. V., M. J. Núñez, G. Mc. Rocha, F. J. Muñoz. 2013. Variación genética de dos áreas semilleras de pino establecidas en el estado de Michoacán. 4:1-8.
- Donahue, J.K., C. Mar-López. 1995. Observations of *Pinus maximartinezii* Rzed. Madroño. California Botanical Society. 42(1): 19-25.
- García A. J. 2006. La observación fenológica en agrometeorología. Servicio de Aplicaciones Meteorológicas. I.M.N. 7 p.
- García M. E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen; 4ª. ed. México. 217 p.
- González, M, M., C .F. Cruz., B. G. Quiñonez., L.B. Vargas., L.J.A. Nájera. 2016. Modelo de crecimiento en altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl en el estado de Guerrero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales.7:37-47.
- Granados, V. L, S. D. Granados y G. A. Sánchez. 2015. Caracterización y ordenación de bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* sub *sp orizabensis*) de la cuenca oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). Maderas y Bosques. 21:23-43.
- Guerrero, C. J., J. J Camarero., E. Gutiérrez. 1998. Crecimiento estacional y caída de acículas en *Pinus sylvestris* y *P. uncinata*. Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. 8:1-2.
- Gutiérrez B. Ipinza-R.y Barros, S. 2015. Conservación de recursos genéticos forestales principios y prácticas. Instituto Forestal. Chile. 320 p.
- Hechavarría, O., J. M. Montalvo, A. García. 2004. Fenología de *Laurocerasus occidentalis* (sw.) roem. (cuajaní macho) en selva pluvial montaña, Cuba. Revista Forestal Baracoa. 23(2):7.

- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2010. Red hidrográfica escala 1:50 000. [En Línea] Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad [Fecha de consulta de mayo de 2019]. Disponible en <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/hidrografia>, <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/> (mayo 2018).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía .2014. Conjunto de datos vectorial edafológica escala 1: 250 000 serie II. [En línea] Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad [Fecha de consulta 12 de mayo de 2019]. Disponible en [www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia](http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/edafologia).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2016. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie VI. [En línea] Portal de geoinformación sistema nacional de información sobre biodiversidad [Fecha de consulta 07 de mayo de 2019]. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- IUSS, Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO. Roma. 130 p.
- Jerrold H. Z. 2010. Biostatistical analysis. Fifth Edition. Department Biological Sciences Northern Illinois University. Upper Suldle River. New Jersey. 978 p.
- Lanner, R.M. 1976. Patrones de desarrollo de brotes en *Pinus* y su relación con el potencial de crecimiento. Academic Press. Nueva York, 223–24 p.
- López, U. J., Z. O Hernández., H. J. J. Vargas., C. M. Jiménez. 2016. Variación clonal de la fenología reproductiva en un huerto semillero de *Pinus patula*. Bosque 37(2): 255-264.
- López, M. L. 1998. Regeneración, crecimiento y dinámica poblacional del pino azul *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Natural. 40-44.

- Lugo-Hubp, J., F. Aceves-Quezada. 1992. Morfometría de la república Mexicana. *Estudios Geográficos*, 53(206): 77-91.
- Manzanilla, Q. U, O. A Aguirre y P. J Jiménez. 2018. ¿Qué es una conífera y cuantas especies existen en el mundo y en México? Centro de investigación científica de Yucatán, A.C. Desde el Herbario CICY. 10:168-175.
- Martínez A. L. 2006. Dasometría y fenología en el pinetum “José Mariano Mociño Suárez Lozada” Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 117 p.
- Merino, S. C A., y Willson, V. 2013. Comparación de variables de distribución t: una aplicación en la diferencia de grupos para la validez de constructo. *Liberabit*. 19(2): 1-10.
- Munsell soil color charts. 1994. [En línea]. Munsell soil color charts. [Fecha de consulta: 26 de octubre 2019]. Disponible en <https://www.southsuburbanairport.com/Environmental/pdf2/Part%204%20-%20References/Reference%2016%20Munsell%20Color%20Charts/MunsellColorChart.pdf>.
- Muñoz F. T., 2006. Crecimiento de *Pinus johannis* M.-F. Robert en un ensayo de procedencias en Mesa de Las Tablas, sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena, Vista, Saltillo, Coahuila. 45 p.
- McConville, D. J., S. V. Jack., J. L. Gagnon., M. C. P. Sheffield. 2002. Phenological patterns of mature longleaf pine (*Pinus palustris* Miller) under two different soil moisture regimes. *Forest Ecology and Management* 179:157-167.
- Niembro A. 1986. Mecanismo de reproducción sexual en pinos. Limusa. México. 135 p.
- Ospina P. C M., R. R J. Hernández., R. E. Andrea., O. F A. Sánchez., M. J. Urrego., P. C. Rodas., C.C A. Ramírez., H. N. R. 2011. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina

- colombiana el *Pino pátula*. Editorial Blanecolor S.A.S. Manizales, Colombia. 107 p.
- Orellana, L. R., C. Espadas., J. A. Gonzales-Iturbide. 2002. Aplicaciones de los diagramas ombrotérmicos de Gausson modificados, en la Península de Yucatán. Research Gate. 60-73.
- Owens, N., J. 2006. The Reproductive biology of lodgepole pine. Library and Archives Canada cataloguing in publication data. 68 p.
- Passini, M. F. 1994. Synonymie entre *Pinus discolor* Bailey & Hawksworth et *Pinus johannis* M.-F. Robert. Acta Botanica Gallica. 141 (3): 387-388.
- Perry J. P. 1991. The pines of México and Central America. Timber press, Oregon, USA. 232 p.
- Poulin-Costello M. 1994. Catalog of curves for curve fitting biometrics information handbook series. 4. Ministry of Forests Research Program. 110 p.
- Quer P. F. 1985. Diccionario de botánica. Barcelona. (España): Ed. Labor, 1244 p.
- Ramírez, J. A., y R. R. Álvarez. 2000. Estudio fenológico de 28 especies maderables del bosque húmedo tropical de Honduras. ESNACIFOR: Lancetilla. 40 p.
- Ramírez R. D., C. A. Orozco, M. H. Mantilla, C. F. Román. 2017. Tesoros naturales protegidos del Quindío: una mirada para la conservación. CRQ, Corporación Ambiental, Cultural y Social. TIBOUCHINA. Armenia-Quindío, Colombia. 114 p.
- Ríos, C. E., R. Hoogh, Ch. J. Návar. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el noreste de México. Revista Chapingo. 14(2): 97-104.
- Robert M. F. 1978. Un nouveau pin pignon mexicain: *Pinus johannis* Robert. Adansonia, serie 2(18): 365-373.
- Reddy, K. R., H. F. Hodges., y J. M. Mckinion. 1993. A temperature model for cotton phenology. Biotronics. 1(22): 47-59.

- Rodríguez C. F. 2003. Curso de estadística básica para residentes. Facultativo Especialista de Área (FEA) de Análisis Clínicos y Bioquímica. 340 p.
- Ruiz, F. D., U. J. López, H. C. Ramírez, T. D. Rodríguez. 2015. Fenología reproductiva en un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *australis*. Revista Fitotecnia Mexicana. 38 (3): 285 - 296.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 504 p.
- Sánchez, G. A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques. 14:107-120.
- Sánchez O. M. Herzig, E. Peters, R. Márquez y L. Zambrano. 2007. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. SEMARNAT. México. 297 p.
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestres, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. [En línea] Diario oficial de la federación, México. [Fecha de consulta: 04 de marzo 2019]. Disponible en: [https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010\\_\\_30-dic-2010.pdf](https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3552/1/nom-059-semarnat-2010__30-dic-2010.pdf).
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Especies de coníferas prioritarias para la conservación. [En línea] Dirección General de Estadística e Información Ambiental. [Fecha de consulta: 04 de marzo 2019]. Disponible: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_BIODIV02\\_16C&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV02_16C&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce).
- Sherry, R. A., X-Zhou, S G., J. A. Armone, S. D Shimel, P.S Vervurg, L.L Wallace y Y Luo. 2006. Divergence or reproductive phenology under climate warming. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 104:198-202.

- Sun, S., y L.E. Frelich. 2011. Flowering phenology and height growth pattern areas associated with maximum plant height, relative growth rate and stem tissue mass density in herbaceous grassland species. *Journal of Ecology*. 99:991-1000.
- Tighe, M. E. 2004. Manual de recolección y manejo de polen de pinos tropicales y subtropicales procedentes de rodales naturales. Camcore. N C State University. 22p.
- Trucios T. 1986. Calendario fenológico para 55 especies forestales del Bosque nacional Alexander von Humboldt - Pucallpa, Perú. Nota técnica N°2. Instituto Nacional Forestal y de Fauna (INFOR), Centro Forestal y de Fauna (CENFOR) XII - Pucallpa. 28 p.
- Valdivieso T., M. Pimpão, C. S. Trindade, M. C. Varela. 2017. Reproductive phenology of *Pinus pinea*. *Options Méditerranéennes*. 122.p
- Vílchez, B., R. Chazdon, y A. Redondo. 2004. Fenología reproductiva de cinco especies forestales del bosque secundario tropical. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 1(2): 1-10.
- Villa P. 2010. Producción de semillas e indicadores productivos de *Pinus johannis* M.-Robert en el noreste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena Vista, Saltillo, Coahuila. 49 p.
- Vial R. T. E. 2013. Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios. Corporación nacional forestal, gerencia forestal, departamento de plantaciones forestales. Chile. 93 p.
- Whitham, T. G., S. Mopper.1985. Herbivoria crónica: Impactos en la arquitectura y expresión sexual del pino piñonero. *Science* , 228 (4703), 1089-1091.
- Zavala, Ch. F., M. J. T Méndez. 1996. Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. *Acta Botánica Mexicana*. 36:1-13.

Zobel, B., J. Talbert .1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales.  
Limusa. México. 545-550 p.