BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Demografía modular de *Euphorbia cymbifera* (Schltdl.) especie endémica y amenazada en una zona semiárida del centro de México

Tesis que para obtener el título de
BIÓLOGO

PRESENTA:

RICARDO DANIEL JUÁREZ CEREZO

DIRECTORA: ANA LUCIA CASTILLO MEZA

CODIRECTOR: JUAN HÉCTOR GARCÍA CHÁVEZ

Septiembre, 2020

ÍNDICE PÁGINA

RESUMEN 5

INTRODUCCIÓN 7

MÉTODOS 14

- Descripción de la especie
- Zona de estudio
- Toma de datos
- Análisis de datos

RESULTADOS 18

- Estructura Poblacional
- Fenología
- Mortalidad
- Tasa de Crecimiento Modular Poblacional
- Análisis de la Matriz de Elasticidad

DISCUSIÓN 21

CONCLUSIÓN 28

REFERENCIAS 29

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la matriz de Lefkovitch con sus cuatro componentes principales

Figura 2. Ejemplo de un ciclo de vida

Figura 3. Ejemplo de un organismo formado por módulos

Figura 4. Flor pistilada de *Euphorbia cymbifera*

Figura 5.Flor estaminada de *E. cymbifera* presente en el ciatio característico del clado *Pedilanthus*

Figura 6. Distribución de *E. cymbifera*

Figura 7. Localización de la zona de estudio

Figura 8. Floración y fructificación de *E. cymbifera*

Figura 9. Tabla diagramática de *E. cymbifera*

Figura 10 y 11. Histogramas de la tasa finita de crecimiento poblacional (λ)

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Categorización de módulos reproductivos y no reproductivos de *E. cymbifer*a.

Cuadro 2. Porcentajes de mortalidad proporcional y total de módulos de cada categoría

Cuadro 3. Valores de la tasa finita de crecimiento poblacional de *E. cymbifera* y sus intervalos de confianza.

Cuadro 4. Matrices de transición y elasticidad para *E. cymbifera* para los períodos de Agosto a Octubre.

Cuadro 5. Matrices de transición y elasticidad para *E. cymbifera* para los períodos de Enero a Marzo.

Cuadro 6. Matrices de transición y elasticidad para *E. cymbifera* para los períodos de Abril a Julio.

Cuadro 7. Valores en porcentajes obtenidos del análisis de elasticidad para los procesos demográficos y la categoría de módulos de *E. cymbifera.*

RESUMEN

Los estudios demográficos son una herramienta importante en la implementación de propuestas para la conservación de especies y el manejo de los recursos naturales, principalmente para especies endémicas o en alguna categoría de riesgo. Como es el caso de *Euphorbia cymbifera* especie presente en el Valle de Zapotitlán, Salinas, Puebla, dentro de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán Mediante el uso de modelos matriciales de Lefkovitch se estableció el estatus demográfico modular de *E. cymbifera*. Se dio seguimiento a 90 individuos durante un período que comprendió de Agosto de 2017 a Marzo de 2018, estableciendo cinco categorías de acuerdo a la longitud de las ramas en cm <11.2 (Categoría 1) de 11.3 - 16 (Categoría 2) de 16.1 - 22.2 (Categoría 3) de 22.3 - 28.5 (Categoría 4) y de 28.6 - 75 (Categoría 5). Mensualmente se obtuvo la longitud de cada rama y s el número de frutos y semillas para determinar la fecundidad. Se obtuvieron nueve matrices de transición y de elasticidad de forma mensual y una trimensual, con las cuales se calculó una tasa de crecimiento finita promedio de 0.998 y se elaboró un diagrama del ciclo de vida de *E. cymbifera* donde se representan los cuatro procesos demográficos representados en los modelos de Lefkovitch. Con el análisis de las matrices de elasticidad, se encontró que el proceso demográfico de mayor importancia es la permanencia de los módulos dentro de la categoría cinco. Respecto a la estructura modular poblacional de tamaños, en *E. cymbifera* se observó un mayor número de módulos reproductivos de la categoría 5 (28.6 a 75 cm).

Es necesario que en la zona de trabajo existan sitios libres de actividades antropogénicas y ganaderas que amenazan a la población. Esto lograría que los sitios donde se distribuye la especie se mantengan seguros y se incremente la germinación de semillas originadas vía sexual de *E. cymbifera* y puedan establecerse.

Se propone promover su uso como planta comercial o de ornato dentro de los mismos parques o jardines ya que son plantas que están adaptadas a las

condiciones climáticas de la zona como la aridez. Y sobre todo porque es una planta de distribución restringida.

Introducción

La evaluación de la dinámica poblacional es una herramienta para ligar datos biológicos a corto plazo ya que ayuda a determinar el estado actual de las poblaciones y potencialmente ser un componente de manejo y conservación (Crone et al., 2011). Para ello es de suma importancia, la demografía, que es una disciplina que involucra otras áreas del conocimiento como la estadística, las matemáticas y la ecología (Harper, 1980). La demografía es definida como el estudio de nacimientos, muertes y migraciones de individuos en una determinada población en un lapso de tiempo establecido (Harper, 1977). La evaluación de la distribución espacial y temporal permite entender aspectos que hacen referencia a la dinámica poblacional, evaluando las probabilidades de permanencia, extinción, diversidad, estructura genética y con ello finalmente elaborar un diagnóstico de conservación de especies (Álvarez-Buylla et al., 1996; Lande y Orzack, 1988). El uso de modelos matriciales en demografía surge a mediados de los años 40 (Leslie, 1945) siendo una representación de los cambios que se dan sobre todos los individuos de una determinada edad, estadio o tamaño e incorporan las probabilidades de sobrevivencia, crecimiento y fecundidad (Alfonso-Corrado et al., 2007). Uno de los modelos que nos da la distribución de edades de una población en una fecha determinada son los modelos de Leslie, para conocer esta distribución el modelo requiere conocer la edad de los supervivientes y descendientes de la población en lapsos de tiempo establecidos bajo el supuesto de que presenten tasas de fecundidad y mortalidad específicas de la edad (Leslie, 1945). Posteriormente la propuesta de Lefkovitch (1965) incorpora los procesos demográficos de retrogresión y saltos en el crecimiento, ideales para el estudio estructurado de poblaciones vegetales. Estos modelos predicen la tasa finita de crecimiento poblacional (λ), la distribución estable de categorías o tamaños y el valor reproductivo de categorías de individuos de una población. Generando a corto plazo tasas de transición que cuantifican la influencia de los cambios sobre el crecimiento poblacional a través de análisis de la matriz de elasticidad (De Kroon et al., 1986) en la que se mide el impacto de cambio proporcional en cada proceso demográfico sobre lambda (λ) es por eso que estos

modelos han resultado ser de gran ayuda para determinar estrategias sobre viabilidad poblacional (Brigham y Thomson, 2003; Avendaño-Calvo, 2007), enlazando datos biológicos y estableciendo el estado poblacional en el que se encuentran especies con ciclos de vida simples o complejos.

Siendo también una herramienta fundamental para recomendaciones de manejo y conservación de poblaciones de especies endémicas ante los efectos de la actividad humana y las condiciones ambientales cambiantes.

En este estudio empleamos la matriz de Lefkovitch dado que la estructura poblacional está estructurada por el tamaño de los individuos. Cada matriz está compuesta por cuatro procesos demográficos importantes distribuidos de la forma siguiente: la primera fila corresponde a los valores de fecundidad (F), la diagonal principal muestra las probabilidades de permanencia (P) de cada individuo en la categoría que corresponda, la subdiagonal inferior corresponde a la transición de cada individuo de un crecimiento a otro superior, es decir, crecimiento positivo (G) y por último la subdiagonal superior contiene a los individuos con una transición menor de tamaño, es decir retrogresión o crecimiento negativo (R) (Figura 1). Por otra parte, con la matriz de proyección poblacional se calculan estadísticos como la tasa finita de crecimiento (λ), la distribución estable de categorías y el valor reproductivo de cada categoría. Estos tres estadísticos se obtienen a partir de la iteración de la matriz de proyección con el vector de tamaño poblacional de cada categoría (Caswell, 2001). La tasa de crecimiento poblacional es el parámetro más importante porque indica si la población aumenta ($\lambda > 1$), disminuye ($\lambda < 1$) o permanece estable ($\lambda = 1$) a lo largo del tiempo. Por otra parte, al realizar la tabla diagramática construida a partir de la matriz de transición, se puede observar la complejidad del ciclo de vida de la población. (Figura 2).

Desde hace varias décadas la demografía ha sido empleada en plantas, para dilucidar aspectos fisiológicos, genéticos, evolutivos y de dinámica poblacional (Sharitz y McCormick, 1972) comparando el ciclo de vida de especies cercanamente relacionadas y las diferencias del crecimiento en las poblaciones de especies que varían en tiempo y espacio (Horvitz y Schemske, 1995; Quintana-

Ascencio y Menges, 1996) como es el caso de las plantas modulares (Herben et. al., 1994; De Kroon et al., 2000).

El crecimiento poblacional de una especie está caracterizado por la demografía que presentan, principalmente si se trata de módulos reconocidos en diferentes niveles.

En plantas el módulo es un eje con un meristemo apical localizado en el extremo más distal, el eje a su vez, está subdividido por nodos en el que se desarrollan meristemos axilares y donde se da el crecimiento vegetativo, cada módulo se comporta como un individuo independiente (Mandujano et al., 2007). Las plantas individuales pueden ser consideradas como una población o partes repetidas consideradas módulos, dónde cada módulo es un individuo independiente con características propias (Figura 3) por ejemplo un cladodio en *Opuntia* (Mandujano et al., 2001). Un tubérculo en *Mammillaria* o un bulbo en una orquídea (Mandujano et al., 2007). Esto favorece la posibilidad de realizar una interpretación del comportamiento demográfico de los módulos independientes (nodos o internodos y sus meristemos asociados). Pero, para otras especies de plantas, los módulos pueden ser reconocidos en una amplia variedad de niveles, por ejemplo, una hoja, una raíz con rama lateral, la fronda en un helecho, el bulbo en una orquídea o el brote de una hierba perenne (Harper, 1980).

Los módulos en las plantas son considerados como una unidad que tiene un tiempo de nacimiento y muerte definido dentro de la población en la cual también se organizan en distintos niveles jerárquicos con características particulares propias como la posición principal o lateral en la que se encuentran dentro de la planta, la orientación dentro de un sistema de vástagos y el tiempo de aparición que determina cada estadio de la planta (Furgairiño, 2004). En plantas, la forma de reproducción de los módulos es variada ya que dependen de la reiteración de nuevos módulos, esta se realiza de dos maneras; una llamada falange y otra guerilla, tales formas minimizan el contacto intraclonal dentro de la especie haciéndolos unidades independientes (Harper, 1980).

Los trabajos de la dinámica poblacional han sido representados con organismos de distintas especies entre las que se encuentran corales (Santangelo et al., 2007), árboles como *Alnus incana* y *Prosopis glandulosa* (Huenneke L. F. y Marks P. L., 1987; Sterck et al., 2003; Goluvob et al., 2004), herbáceas perennes como *Allium tricoccum* (Nault y Gagnon, 1993), cactáceas (Mandujano et al., 1998; Clark-Tapia et al., 2005; Avendaño-Calvo y Flores-Martínez, 2007; Deméneghi, 2009; Flores-Martínez et al., 2010), algunas orquídeas como *Cyclopogon luteo-albus* (Juárez, 2013), *Dendrophylax lindenii* (Raventos et al., 2015) y *Oncidium poikilostalix* (García-González et al., 2017) y en Euphorbias como *E. tehuacana* (Castillo-Meza, 2011). Con el fin de dar a conocer la dinámica espacio-temporal y las variaciones en el número de individuos que componen una población, a partir del estudio de factores que influyen en crecimiento, reproducción, sobrevivencia y migración (Larson, 1992: Begon et al., 1996; Esparza-Olguin et al., 2002).

Harper y White (1974) señalan que el comportamiento poblacional de especies de plantas que presentan propagación vegetativa puede ser analizado en dos niveles: 1) a nivel genets, dónde la generación de nuevos ramets es considerada como una forma de crecimiento del genet (Harper, 1977, De Kroon et al., 2000) y 2) a nivel de ramets donde existe una generación de módulos considerada también un proceso de generación de nuevos individuos (Mandujano et al., 1998, Mandujano et al., 2007; Ferrer et al., 2011). De acuerdo a lo anterior comparamos nuestro trabajo con otros en los que han empleado a la demografía para conocer la dinámica poblacional de especies vegetales.

Estudios de demografía empleados con modelos matriciales en México han tomado como modelo de estudio a algunas especies de cactáceas, debido a que este grupo de plantas posee características biológicas y ecológicas importantes; como un lento crecimiento y un ciclo de vida largo, algunas otras características como la adaptación a temperaturas extremas y su distribución en un hábitat específico las hacen vulnerables a factores de perturbación, ya sean humanos o naturales (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991, Hernández y Godínez-Álvarez, 1994; Bravo-Hollis y Sánchez-

Mejorada, 1997; Arizaga, 1999; Ramos, 2007) . Estos estudios realizados con especies de cactáceas principalmente globosas se debe a que muchas de ellas se encuentran en alguna categoría de riesgo dentro de NOM-059-SEMARNAT -2010 a causa de los altos niveles de endemismos, el saqueo ilegal y el deterioro de las regiones áridas y semiáridas del país, toda esta información ha sido de gran ayuda para determinar la dinámica poblacional en base a los procesos demográficos que presente la especie, la tasa de crecimiento poblacional (λ) y la obtención de información que refleje el estado en el que se encuentran las poblaciones para ofrecer un diagnóstico de conservación y manejo en las poblaciones de especies como por ejemplo *M. magnimamma* (Valverde et al., 2004), *M. supertexta* (Avendaño-Calvo y Flores-Martínez, 2007) , *Mammillaria gaumeri* (Ferrer et al., 2011) y *M. humboldtii* (Martínez-Ramos et al., 2016). Otros estudios se han realizado dentro de las zonas áridas del país principalmente en la zona norte con especies como *Opuntia rastrera* (Mandujano et al., 1996), *Stenocereus eruca* especie columnar rara, y endémica del estado de Sonora (Clark-Tapia et al., 2005) y en otra especie distinta a las cactáceas como *Prosopis glandulosa* (Mimosoidae) especie arbórea presente en la parte sur del desierto de Chihuahua (Goluvob et al., 2004). Por otra parte en las zonas semiáridas de México particularmente en la zona centro también se han realizado estudios de demografía en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán nuevamente tomando a especies de cactáceas debido a que son plantas adaptadas a condiciones de temperatura extrema pero vulnerables a la actividad humana, como *Mammillaria dixanthocentron* (Ramos, 2007) especie globosa y endémica que se encuentra sujeta a protección especial dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y *Neobouxbaumia macrocephala* (Esparza-Olguín et al., 2002) especie columnar clasificada como rara de acuerdo a CITES por tener un número reducido de individuos y estar restringida a un hábitat en específico.

Por otra parte, en México los estudios demográficos relacionados con el género *Euphorbia* son escasos. Se tiene conocimiento de un estudio relacionado con la dinámica poblacional de una especie como *Euphorbia tehuacana* que restringe su distribución al Valle de Tehuacán y se encuentra en la categoría de

amenazada dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Usando modelos matriciales de Lefkovitch se realizó un seguimiento poblacional durante cuatro años, con el objetivo de evaluar el estatus de conservación en el que se encontraba la población ante el crecimiento urbano en Tehuacán durante los últimos 30 años, encontrando que su estatus poblacional es de estabilidad demográfica, ya que la tasa de crecimiento poblacional (λ) indica equilibrio. Sin embargo, el análisis de urbanización indica una franca amenaza para la permanencia de esta especie (Castillo-Meza, 2011).

En el valle de la RBTC se encuentran 31 especies de plantas de la familia Euphorbiaceae como *Acalypha monostachya, A. phleoides, Cnidoscolus multilobus, C. rostratus, C. tehuacanensis, C. urens, C. tubulosus, Croton morifolius, C. ciliato-glanduliiferus, C. dioicus, C. hypoleceus ,Ditaxis guatemalensis, Jatropha elbae, J. oaxacana, J. neopauciflora, J. rzedowski, Manihotioides pauciflora, Phyllanthus subcuneatus, Ricinus communis, Sebastiana lottiae y* especies del género *Euphorbia* que son *Euphorbia cymbifera, meE. cyatophora, E. pulcherrima,,E. ciry, E. conzatii E. rossiana, E. tricolor, E. dentata, E. schlechtendallii, E. tehuacana y E. tithymalloides.* Todas estas especies de la familia Euphorbiaceae son endémicas de México y corresponden a una de las familias de especies de plantas más diversas e importantes (Dressler, 1957; Lomelí-Sención y Sahagún-Godínez, 1993, 2002; Steinmann, 2003; Méndez-Larios et al., 2004; Olson et al., 2005; Weller, 2010).

Cinco de las especies del clado *Pedilanthus* de la familia Euphorbiaceae que se distribuyen en el valle se encuentran dentro de la NOM-059- SEMARNAT-2010 entre las que destacan *E. cyri* y *E. dressleri* especie extinta en el medio silvestre, *E. conzattii* que se encuentra en peligro de extinción (Steinmann, 2003), *E. finkii* y *E. tehuacana* especies endémicas y amenazadas. Esta última se distribuye al sur del estado de Puebla y se encuentra restringida al Valle de Tehuacán (Castillo-Meza, 2011) y *E. cymbifera* nuestro modelo de estudio, es una especie endémica que tiene distribución importante dentro de la RBTC. El conocimiento de la situación demográfica es desconocido en la mayoría de ellas. Por tal motivo es de

suma importancia determinar los procesos demográficos que inciden en su estatus poblacional y su distribución. Que además permitan establecer planteamientos y propuestas de manejo que repercutan en una mejoría y bienestar ecológico en las poblaciones de esta especie. Además, empleando el enfoque demográfico modular para representar a mayor detalle el efecto a corto plazo de los procesos demográficos al interior de la planta.

Para ello los objetivos del trabajo son: 1) Analizar la dinámica modular de *E. cymbifera* empleando modelos matriciales 2) Analizar la matriz de elasticidad para establecer sugerencias de conservación de la población de *E. cymbifera* y 3) Proponer medidas para el manejo y conservación de la especie.

Métodos

Descripción de la especie

Dressler (1957) es el primero en dar a conocer la morfología y los atributos característicos del clado *Pedilanthus* que se encuentra dentro del género *Euphorbia* y principalmente a *E. cymbifera* una planta desértica, con distribución restringida, arbustiva, con un tallo grueso, erecto, carnoso o delgado y leñoso, pero con crecimiento secundario limitado.

"Gallito o Zapatito" como se le conoce comúnmente a *E. cymbifera* (Euphorbiaceae) (Figura 4). Es una de las 15 especies de plantas endémicas del clado *Pedilanthus* dentro del género *Euphorbia* que se encuentran dentro del territorio mexicano (Dressler, 1957; Steinmann, 2003). Son plantas arbustivas de 0.15 cm a 1 m de altura y diámetro de 3.5 a 7.5 cm, tallos de 2-5 mm de diámetro con tonalidades verde-grisáceos o glaucos. Forma grupos pequeños y densos que se extienden por medio de tallos subterráneos crujientes y puberantes. Los tallos están cubiertos generalmente con una capa de cera. Son productoras de látex blanco en el interior de las ramas, del tallo y las flores, esta es una característica que es importante dentro de la familia. Presenta una inflorescencia característica denominada ciatio (Figura 5) de color rojo rosado, basalmente verdoso que agrupa a una flor femenina central rodeada de cinco flores masculinas. Presenta protoginia, sistema en el cual las flores femeninas maduran antes de las masculinas. Los nectarios del ciatio producen un néctar que favorece la polinización cruzada y es realizada por dípteros, mariposas e incluso por colibríes (Dressler, 1957; Sahagún–Godínez & Lomelí-Sención, 1997; Lomelí-Sención, 2004)

E. cymbifera tiene una distribución entre los estados de Puebla y Oaxaca (Dressler, 1957; Lomelí-Sención, 2004, Olson et al., 2005) (Figura 6). Su distribución es principalmente en el matorral xerófilo y bosque espinoso. En el Valle de Zapotitlán Salinas es localmente abundante y llamativa cuando se encuentra en el período de floración. Presente en terrenos planos y laderas se encuentra en asociación con especies de los géneros *Acacia, Agave, Beaucarnea,*

Mammillaria, Opuntia, Yucca y otras especies de *Euphorbia.* Su intervalo altitudinal oscila entre 1000 y 2200 msnm (Lomelí-Sención, 2004). El período de floración se presenta en la época de verano y principios de invierno y la fructificación principalmente entre los meses de mayo a enero (Lomelí-Sención, 2004).

Zona de estudio

Se localiza en un paraje localizado a 3 km al sureste del Municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla, municipio que forma parte de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (Figura 7). Dentro de las coordenadas 18° 19' 55" N y 97° 28' 28" O. Se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 21°C y la precipitación media anual es de 400 a 450 mm. (CONAGUA, 2010). El tipo de vegetación es matorral xerófilo (Rzedowski, 1978). En el sitio confluye el bosque de cactáceas columnares como *Cephalocereus columna-trajani, Escontria chiotilla, Lemaireocereus hollianus, Lophocereus marginatus, Myrtillocactus geometrizans, Neobuxbaumia macrocephala, N. mezcalensis, N. tetetzo, Pilosocereus chrysacanthus, Stenocereus dumortieri, S. pruinosus*, algunas cactáceas globosas como *Mammillaria haageana, M. carnea, M. sphacelata, Coryphanta pallida*, *Ferocactus latispinus* y con otras especies de plantas como el mezquite (*Prosopis laevigata*), palo verde (*Parkinsonia praecox*), izote (*Yucca periculosa*) además de *Agave lechuguilla, Acacia farnesiana, Fouquieria formosa, Mimosa luisana,* (Valiente-Banuet et al., 2000; Paredes-Flores et al., 2007).

Toma de datos

Se realizó el seguimiento de plantas de *E. cymbifera* de Agosto de 2017 a Julio de 2018, para ello se eligieron 90 individuos que presentaran las siguientes características: 1) individuos con más de 30 ramas y menos de 90, 2) que se encontraran en espacio abierto y 3) preferentemente aislados entre sí. Las plantas fueron etiquetadas y numeradas consecutivamente. Al interior de cada planta fueron numeradas las ramas de izquierda a derecha con plumón a base agua. De todas las ramas presentes en cada planta se obtuvieron las siguientes medidas: altura total considerada desde la base del suelo hasta la punta y la altura de cada

una de sus ramificaciones, la cantidad de flores y frutos presentes. Con esta información obtenida a partir de los individuos muestreados se asignaron cinco categorías de tamaño para establecer la estructura poblacional: dos categorías de módulos no reproductivos (1 y 2) y tres categorías de reproductivos (3, 4 y 5) (Cuadro 1). Esta categorización se tomó en base a lo realizado en trabajos como el de *E. tehuacana* (Castillo-Meza) donde también se seleccionaron cinco categorías (basadas en el tamaño y el estado reproductivo: dos categorías juveniles y tres adultos (Juvenil 1 ≤ 0.0001, Juvenil 2 < 0.015, Adulto 1 ≤ 0.1, Adulto 2 ≤ 1.19 y Adulto 3).

Análisis de datos

La fecundidad *per cápita* de las categorías reproductivas se calculó con el total de semillas producidas por los individuos de cada categoría, dividida entre el total de individuos de la categoría correspondiente.

El análisis demográfico se realizó mediante el uso de modelos matriciales de Lefkovitch tomando en cuenta las categorías establecidas y obteniendo matrices de sensibilidad y elasticidad. Se empleó el método de remuestreo (bootstrap) propuesto por Efron (1979) para calcular los intervalos de confianza de la tasa finita de crecimiento poblacional. Estos intervalos son valores que se calculan para obtener una zona de confianza en donde se ubica el valor de la tasa finita de crecimiento poblacional calculada, para determinar si el valor de lambda (λ) difiere o no de la unidad, determinando con ello si la población modular se encuentra en crecimiento o declive. Este remuestreo se realizó con 1000 repeticiones, posteriormente se obtuvo la distribución de frecuencias de los nuevos 1000 valores de la tasa finita de crecimiento. A partir de esa distribución de frecuencias se calculó el intervalo de confianza para λ del 95%. El límite inferior del intervalo de confianza corresponde al vigesimoquinto de los valores de lambda ordenados de menor a mayor, y el límite superior es el valor que ocupa el lugar 975 en ese ordenamiento (Caswell, 2001; Stevens, 2009). Ambos límites se trazaron con líneas punteadas dentro del histograma de distribución de frecuencias que se

obtienen del bootstrap para la tasa finita de crecimiento poblacional calculada. Esto fue realizado para cada una de las nueve matrices calculadas.

El método de bootstrap para calcular los intervalos de confianza de lambda se llevó a cabo usando las funciones ProjMat y DemoInfo del paquete Primer (versión 1.0) del programa R (Stevens, 2009).

Resultados

Estructura poblacional

Los módulos de *E. cymbifera* de la categoría 1 (no reproductivos) estuvieron menos representados durante todo el período que comprende de Agosto 2017 a Julio 2018, siendo los meses de Abril, Mayo y Junio los meses en los cuales se reporta la abundancia con los valores más bajos en cuanto al número de individuos (μ= 538.3 ±14.84 EE). Lo contrario sucedió en este mismo período con los módulos reproductivos de la categoría 5 siendo los más abundantes (μ= 1234.3 ±23.22 EE). Además, en los meses de Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio y Julio la categoría 5 rebasó los 1000 individuos.

Fenología

Durante los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio se registró una mayor producción de flores en la población de *E. cymbifera* (Fig.8). En cuanto a la producción de frutos en los meses de Mayo, Junio y Julio se presentó un mayor número de frutos, respecto al resto de los demás meses como: Septiembre, Octubre, Enero, Febrero y Julio (Figura 8). Por lo que la floración y fructificación se presenta a lo largo de todo el año para *E. cymbifera* en Zapotitlán Salinas concentrándose en los meses de Marzo a Julio y corresponde a la época de reproducción (Figura 8).

Mortalidad

En los meses de Octubre-Enero los módulos no reproductivos de la categoría 1 (<11.2 cm) presentaron un mayor número de módulos muertos (57.89%). Por otra parte, para el resto de los meses, la mortalidad total de estos individuos de la misma categoría C1 en la población estuvo representada con el 42.11% (Cuadro 2).

Tasa de Crecimiento Modular Poblacional

La tabla de vida diagramática de la matriz promedio muestra una alta complejidad en los procesos demográficos que se observan en *E. cymbifera* (Figura 9). Quién presenta una tasa finita de crecimiento modular promedio de λ =0.998, posee un ciclo de vida modular altamente complejo, se presentan los cuatro procesos demográficos representados en los modelos matriciales de Lefkovitch: crecimiento, fecundidad, retrogresión (crecimiento negativo) y la permanencia (estasis).

Hay períodos en los cuales se presenta un crecimiento en la población de módulos de *E. cymbifera*. Los intervalos de confianza del 95% indicaron que los valores son mayores a la unidad en los períodos de Agosto-Septiembre (λ=1.053), Marzo-Abril (λ=1.017), Abril-Mayo (λ=1.007) y Mayo-Junio (λ =1.027), por lo que en cuatro de las nueve matrices la población modular se mantiene en crecimiento demográfico (Figura 10 y 11).

Sin embargo, en el período Septiembre-Octubre (0.993), Enero-Febrero (0.9916), Febrero-Marzo (0.984) y Junio-Julio (0.909) se presentaron los valores más bajos de la tasa de crecimiento poblacional modular (λ) lo que indica una disminución en la población modular (Cuadro 3).

Por último, para el período correspondiente a Octubre-Enero se observa que el valor de lambda (λ) no difiere de la unidad (λ=1003) teniendo entonces que la población de módulos para ese período se encuentra en equilibrio (Figura 10).

Análisis de la Matriz de Elasticidad

El proceso demográfico de mayor importancia en la matriz de elasticidad es la permanencia de los módulos reproductivos de la categoría 5 (28.6 a 75 cm.) durante el período de Septiembre-Enero (Cuadro 4), Enero-Abril (Cuadro 5) y Abril-Julio (Cuadro 6). Excepto en el período de Agosto-Septiembre donde la permanencia se presentó en módulos reproductivos de la categoría 2.Este

proceso demográfico es de mayor relevancia para la población modular de *E. cymbifera*, donde los valores son mayores al 70% durante el período de estudio. (Cuadro 7).

Discusión

Estructura poblacional

La estructura modular poblacional de tamaños, en *E. cymbifera* indica un mayor número de módulos reproductivos de la categoría 3 (16.1 - 22.2 cm), 4 (22.3 – 28.5 cm) y 5 (28.6 – 75 cm) siendo estos últimos módulos de esta categoría los más abundantes, además de ser módulos que presentan mayor fecundidad y quienes permanecen en mayor número dentro de la población. Esta estructura modular coincide con las encontradas en estudios con algunas especies de cactáceas globosas como *Mammillaria gaumeri* (Ferrer et al., 2011), *M. crucigera* (Contreras y Valverde, 2002) *y M. magnimamma* (Valverde et al., 2004) para cactáceas columnares como *Neobuxbaumia macrocephala* (Esparza-Olguin et al., 2002) así como una especie del género *Euphorbia* como lo es *E. tehuacana* (Castillo-Meza, 2011) donde la categoría de adultos es alta y de los individuos jóvenes es la menos representada.

Las poblaciones modulares usualmente exhiben una baja fecundidad y presentan una alta mortalidad en las primeras categorías del ciclo de vida. Al superar la fase crítica en módulos jóvenes para el resto de las categorías se presenta una tasa de mortalidad constante como se ha observado a muy tempana edad para los individuos Juveniles 1 comenzando en 2008, aumentando en 2009 y siendo mayor la mortalidad en esta edad para 2010 en *E. tehuacana* (Castillo-Meza, 2011). Este proceso de mortalidad constante es considerando que no se presenten eventos catastróficos perjudiciales como incendios o perturbación antropogénica que afecten a las poblaciones y requieran de períodos de tiempo para reponerse (Eriksson, 1993; Ferrer et al., 2011). Sin embargo, para *E. cymbifera* no es el caso, aunque si se presenta una alta mortalidad de módulos principalmente en la categoría 1, en algunos períodos y en el resto de las categorías 2, 3, 4 y 5 no hay una mortalidad de módulos como se observó en Septiembre, Febrero, Abril, Mayo, Junio y Julio.

La estructura poblacional determinada por los módulos de *E. cymbifera* difirió de la tasa finita de crecimiento modular poblacional (λ< 1) en cuatro períodos, indicando que existe una disminución y una menor frecuencia de módulos.

Fenología

La fructificación para esta especie se presenta entre los meses de Mayo a Octubre. Además, se encontró que la presencia de flores y frutos de *E. cymbifera* está presente en diferente abundancia durante todo el año en el Valle de Zapotitlán Salinas. Contrario a lo encontrado por Lomelí-Sención (2004) quien menciona que la floración de *E. cymbifera* se presenta en la época de verano y principios de invierno; sin embargo, los ejemplares examinados son de herbarios y jardín botánico. Los cuales suelen a veces contar con imprecisiones en algunos datos.

Por otra parte, las condiciones ambientales en zonas semiáridas y la disponibilidad de recursos resultan ser un factor determinante para la asignación de recursos y destinarlos al crecimiento o la reproducción sexual, mediante la generación de flores y frutos; esta asignación de recursos tendrá efecto en la supervivencia y fecundidad de la planta (Aragón, 2014).

Mortalidad

La mortalidad de los módulos jóvenes y no reproductivos de la primera categoría (1) fue mayor respecto a las demás categorías, siendo esto un factor que afecta la sobrevivencia o el crecimiento de módulos para la población. Este patrón de mortalidad se ha reportado también para cactáceas como *Mammillaria crucigera* (Contreras y Valverde, 2002), *M. magnimamma* (Valverde et al., 2004), *Coryphantha robbinsorum* (Schmatzel et al., 1995), y para cactáceas columnares como *Pterocereus gaumeri* (Méndez et al., 2004) y *Neobuxbaumia macrocephala* (Esparza-Olguín et al., 2002) donde la mortalidad es mayor en las primeras categorías de tamaño.

En *E. cymbifera* la abundancia de módulos juveniles es menor y presenta mayor mortalidad respecto a las otras categorías. Además, la supervivencia de los

módulos adultos a corto plazo contribuye al crecimiento de la población. Mientras que la escasez de recursos, un bajo reclutamiento de nuevos módulos y la supervivencia de módulos reproductivos en la población a largo plazo pueden hacer que disminuya el crecimiento de la población (Batista, 2006).

En zonas semiáridas a menudo hay una alta radiación solar en la que se presentan déficits de agua para las plantas, debido a que de manera temporal la pérdida de agua es mayor al proceso de absorción. Este déficit, puede afectar el desarrollo de los módulos jóvenes en *E. cymbifera* que se generan desde el suelo así como los módulos que crecen también de una manera ramificada en la parte aérea de otros módulos de mayor tamaño, teniendo entonces como consecuencia que se presente la caída o la muerte de módulos jóvenes ante la poca absorción de agua. (Arias-Toledo, 2001; Azcón-Bieto y Talón 2013; Torres et al. 2018).

Tasa de Crecimiento Modular Poblacional

La tasa de crecimiento modular poblacional en los períodos de Agosto-Septiembre, Marzo-Abril, Abril-Mayo y Mayo-Junio indican crecimiento modular demográfico y es similar con lo reportado en cactáceas globosas como *M. crucigera* (Contreras y Valverde, 2002) cactácea endémica de la península de Yucatán presentó valores superiores a la unidad (λ=1.2629) y *M. magnimmama* en dos sitios de la Reserva del Pedregal con un valor de lambda (λ=1.333) (Valverde et al., 2004), y para cactáceas columnares como *Neobuxbaumia tetetzo* (λ=1.01) (Godínez-Álvarez et al., 1999) y *Pterocereus gaumeri* (λ =1.0316) (Méndez et al., 2004). Se ha reportado que en ambientes áridos, la estrategia que presentan especies presentes en estos hábitats está relacionada con el aprovechamiento de ventanas de recursos para la generación de tejido vegetativo y reproducción sexual (Granados-Sánchez et al., 1998). *E. cymbífera* presenta vida larga y lento crecimiento, en donde en periodos de disminución de recursos o baja disponibilidad inciden en la asignación a la supervivencia. Esta estrategia de historia de vida de continuo rápido-lento se ve favorecida en especies que presentan vida larga y lento crecimiento (Salguero-Gómez et al., 2016, Salguero-

Gómez 2017), como las que se distribuyen en ambientes de zonas semiáridas o áridas.

Las plantas en zonas áridas presentan una gran variedad de mecanismos adaptativos que les permiten sobrevivir ante la escasez de agua y así poder conservar una gran cantidad de este recurso. Uno de estos mecanismos es la presencia de tejidos como un parénquima que les permita almacenar agua y nutrientes lo que representa una ventaja para la planta (Granados-Sánchez, 1998). Este almacenamiento de agua llega a producir un aumento en el volumen de los tallos como en las cactáceas o como sucede con especies que presentan una capa de cera como es el caso de *E. cymbifera* en cada módulo la presencia de cera que impide la entrada tanto la salida de agua cuando la radiación solar es intensa (González-Medrano, 2012). Este mecanismo con el paso de los días y las altas temperaturas permite que los módulos tengan la capacidad de destinar los recursos para poder florecer y fructificar (Arias-Toledo et al., 2001).

Las tasas de crecimiento poblacional estimadas para el período de Septiembre-Octubre,- Enero-Febrero, Febrero-Marzo y Junio-Julio mostraron que en *E. cymbifera* existe un período donde el valor de (λ) difiere de la unidad explicando que en este período hay una disminución de módulos en la población de *E. cymbifera*, como se reportó para *N. macrocephala* (λ =0.994) (Esparza-Olguín et al., 2002), *Mammillaria pectinifera* (λ = 0.82) (Deméneghi et al., 2013) y *Mammillaria humboldtii* (Martínez-Ramos et al., 2016) con valores de λ =0..0793 encontrando que la población decrece en un 20%. Por otro lado en un período de cinco meses como Agosto, Octubre, Marzo, Abril y Mayo se presentó que el valor de (λ) rebasa a la unidad alcanzando un crecimiento poblacional.

En el período de Octubre-Enero la población modular no cambia, existe un equilibrio con un valor de lambda (λ=1003) como se ha reportado para *E. tehuacana* (2008 λ= 1.0346, 2009 λ=1.0138, 2010 λ=1.0113) en donde el reclutamiento de plántulas fue bajo en los tres años de muestreo (Castillo-Meza, 2011). También esto se ha encontrado en *Mammillaria mystax* (Saldívar-Sánchez, 2012) donde el equilibrio alcanzado explica que el valor de λ para la población se

debe a que en la matriz de transiciones, los valores de permanencia son altos y que para el caso de *E. cymbifera* es de vital importancia asignar nutrientes y energía en permanecer y asignando menores recursos al crecimiento vegetativo.

Análisis de la Matriz de Elasticidad

El análisis de elasticidad muestra que durante todo el período de Agosto 2017 a Julio 2018 el proceso demográfico de mayor importancia y el que más influye sobre la tasa de crecimiento poblacional (λ) es la permanencia, dada por los individuos reproductivos de la categoría 5 (28.6 a 75 cm) y es similar a lo que se ha reportado para *E. tehuacana* (Castillo-Meza, 2011); así como representantes de la familia Cactaceae y para otras especies de vida larga (Godínez-Álvarez et al., 1999; Mandujano et al., 2007, Morris et al., 2008). La población modular de *E. cymbifera* tiene características de una especie de vida larga al presentar valores altos de elasticidad para la permanencia (García, 2003; Franco y Silvertown, 2004; Forbis y Doak, 2004). Estas características son: presentar un crecimiento lento, tiempos generacionales largos y altos valores de elasticidad para la permanencia (García, 2003; Franco y Silvertown, 2004; Forbis y Doak, 2004) como sucede también con *E. tehuacana* quien presenta una longevidad de al menos 70 años (Castillo-Meza, 2011).

Es importante resaltar que las tasas de natalidad y mortalidad de los ramets sólo afectan el tamaño y por tanto la adecuación del genet (Ferrer et al., 2011), por lo que resulta sumamente necesario evaluar otros factores que pueden influir de manera negativa en la dinámica modular poblacional de *E. cymbifera* como los factores abióticos y las condiciones ambientales de las zonas semiáridas como la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la disponibilidad de agua y la competencia con otras especies (De Jong y Klinkhamer, 2005).

Para especies como esta, es de vital importancia proteger a los módulos adultos reproductivos, ya que son los que se llegan a desarrollar y permanecer en la población, así como presentar un mayor número de flores y frutos.

Al ser una población modular que se encuentra en crecimiento demográfico, con una producción de flores y frutos presente en todo el año, el estar amenazada por la transformación del hábitat y la actividad antropogénica que se presenta en el Valle de Zapotitlán Salinas es importante establecer estrategias de conservación de *E. cymbifera;* con énfasis en los módulos de la categoría 5 que influyen en la producción de flores y frutos de la población. Una de estas estrategias es el realizar análisis de perturbación para identificar cambios en la dinámica poblacional de *E. cymbifera,* para poder predecir cómo cambia la población de módulos si se modifican tasas vitales, como la permanencia de módulos, cambios en la estructura de tamaño y la reproducción (Picó, 2002); y de esa forma saber en cuales actuar si el valor de λ cambia a valores menores a la unidad indicando disminución en el crecimiento modular poblacional como en los períodos de Septiembre-Octubre (λ=0.993), Enero-Febrero (0.991), Febrero-Marzo (λ=0.984) y Junio-Julio (λ=0.909) para explicar de forma concreta si los factores bióticos o abióticos influyen en la pérdida de módulos.

Al identificar a la permanencia de los módulos de la categoría 5 en *E. cymbifera* como el factor que más influye en la dinámica poblacional y cómo cambia en el tiempo, se debe realizar un análisis de modelos matriciales estocásticos (Tuljapurkar y Orzack, 1980; Cohen, 1987 y Tuljapurkar, 1990) para estimar la tasa estocástica de crecimiento modular poblacional (λ), el tiempo en el que la población de *E. cymbifera* podría encontrarse en riesgo de extinción como se ha estudiado en la biología de la conservación y simular diferentes escenarios ambientales reales o no como la fragmentación del hábitat o incendios para así conocer cómo responde la población a cuestiones de variabilidad ambiental (Morris y Doak, 2002).

Es necesario que dentro de la zona determinada para este trabajo existan sitios libres de actividades antropogénicas y ganaderas que amenazan a la población. Esto lograría que los sitios donde se distribuye la especie se mantengan seguros y se incremente la germinación de semillas originadas vía sexual de *E. cymbifera* y puedan establecerse.

Se propone promover su uso como planta comercial o de ornato dentro de los mismos parques o jardines ya que son plantas que están adaptadas a las condiciones climáticas de la zona como la aridez. Y sobre todo porque es una planta de distribución restringida.

Conclusión

Los estudios de demografía modular nos dan un diagnóstico más concreto sobre lo que sucede con la población en períodos de tiempo más corto. El hecho de considerar a una rama, un tubérculo, un bulbo o cualquier otra estructura dentro de la planta que se tome cómo módulo independiente y no a la planta en sí, nos da información específica sobre el proceso demográfico y que módulos influyen en la tasa de crecimiento poblacional.

Por lo que la propuesta es que a corto plazo se trabaje con la demografía de otras especies del género *Euphorbia* y particularmente del clado *Pedilanthus* en los cuales estudios demográficos en general y a nivel modular son escasos y sumamente necesarios para complementar mejor la información sobre la biología de cada especie y para revelar como se encuentra su dinámica del ciclo de vida para establecer si crítico o no y de ahí partir para establecer estrategias de conservación.

Referencias

Alfonso-Corrado C., Clark-Tapia R. y Mendoza A. (2007). Demography and management of two clonal oaks: *Quercus eduardii* and *Q. potosina* (Fagaceae) in central México. Forest Ecology and Management, 251 (3):129-141.

Álvarez-Buylla E., García-Barrios R., Lara-Moreno C. y Martinez-Ramos M. (1996). Demographic and genetic models in conservation biology: applications and perspectives for tropical rain forest tree species. Annual Review of Ecology and Systematics, 27: 387-421.

Aragón C.F. (2014). Evolución de las estrategias vitales en plantas: desde Cole hasta la actual ecología de especies invasoras. Ecosistemas, 23 (3):6-12.

Arias-Toledo A.A., Valverde-Valdés M.T. y Reyes-Santiago J. (2001). Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. Instituto Nacional de Ecología. Red para el Desarrollo Sostenible, A.C. Universidad Nacional Autónoma de México. 80 pp.

Arizaga, S.E. (1999). Cactáceas y otras suculentas. UNAM. México. 97p p.

Avendaño-Calvo T. y Flores-Martínez A. (2007). Dinámica poblacional de *Mammillaria supertexta* (Mart. ex Pleiff.) en el valle de Cuicatlán, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. 77 pp.

Azcón-Bieto J. y Talón M. (2013). Fundamentos de Fisiología Vegetal. España. Primera Edición McGraw-Hill – Interamericana de España, S. L. 669 pp.

Batista, W.B. (2006). Capítulo 2: Dinámica de poblaciones. p. 29-47. In: Van Esso, M. (ed.). Ecología, enseñanza con un enfoque novedoso. Editorial Facultad de Agronomía y Editorial Novedades Educativas, Buenos Aires, Argentina. 176 pp.

Begon M., Mortimer M. y Thompson D. J. (1996). Population Ecology: A unified study of animals and plants. Blackwell Science Third Edition. 256 pp.

Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada R.H. (1978). Las Cactáceas de México. Vol. 1 UNAM. México. 743 pp.

Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada R.H. (1991). Las Cactáceas de México Vol. II, UNAM, México. 404 pp.

Bravo-Hollis H. y Sánchez-Mejorada R.H. (1997). Cactáceas, en Suculentas mexicanas. CVS Publicaciones S.A de C.V. 142 pp.

Brigham C.A. y Thomson D.M. (2003). Approaches to modeling population viability in plants: An overview. In: Brigham C.A., Schwartz M.W. (eds) Population Viability

in Plants. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), Vol. 165. Springer, Berlin, Heidelberg. 145-171 pp.

Castillo–Meza A.L., (2011). Demografía de *Euphorbia tehuacana,* especie endémica y amenazada del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología A. C. 66 pp.

Caswell H. (2001). Matrix population models: construction, analysis and interpretation. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA. 722 pp.

Clark-Tapia R., Mandujano M.C., Valverde T., Mendoza A. y Molina-Freaner F. (2005). How important is clonal recruitment for population maintenance in rare plant species?: The case of the narrow endemic cactus, *Stenocereus eruca*, in Baja California, México. Biological Conservation, 124 (1):123-132.

Cohen J.E. (1987). Stochastic demography. En Encyclopedia of Statistical Sciences Vol.8 (eds. Kotz S. y Johnson N.L.). 789-801 pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2010). Datos de Precipitación y Temperatura de Estaciones Meteorológicas. Sección Puebla. Puebla, México.

Contreras C. y Valverde T. (2002). Evaluation of the conservation status of a rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. Journal of Arid Enviroments, 51 (1):89-102.

Crone E.E., Menges E.S., Ellis M. M., Bell T., Bierzychudek P., Ehrlen J., Kaye T., Knigth T.M., Lesica P., Morris W. F., Oostermeijer G., Quintana-Ascencio P. F., Stanley A., Ticktin T., Valverde T. y Wlliams J.L. (2011). How do plant ecologists use matrix population models? Ecology Letters, 14 (1):1-8.

De Jong T. y Klinkhamer P. (2005). Evolutionary ecology of plant reproductive strategies. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 310 pp.

De Kroon H., Plaisiser A, Van Groenendael J. y Caswell, H. (1986). Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. Plant Ecology, 67 (5):1427-1431.

De Kroon H., Van Groenendael J. y Ehrlén J. (2000). Elasticities: A review of methods and model limitations. Ecology, 81(3):607-618.

Deméneghi A., Navarro M.C. y Saldivar S. (2013). Dinámica poblacional de *Mammillaria pectinifera*, en el municipio de Santa Clara Huitziltepec, Puebla. Cactáceas y Suculentas Mexicanas, 59 (3):68-81.

Dressler R.L. (1957). The genus *Pedilanthus* (Euphorbiaceae) Contributions from the Gray Herbarium of Harvard University. Harvard University Herbaria, 182:1-188.

Efron B. (1979). Bootstrap Methods: Another Look at the Jacknife. The Annals of Statistics, 7 (1):1-26.

Eriksson O. (1993). Dynamics of genets in clonal plants. Trends in Ecology & Evolution, 8 (9):313-316.

Esparza-Olguín L., Valverde T. y Vilchis-Anaya E. (2002). Demographic analysis of a rare columnar cactus (*Neobuxbaumia macrocephala*) in the Tehuacán Valley, México. Biological Conservation, 103 (3):349-359.

Ferrer M., Durán R., Méndez M., Dorantes A. y Dzib G. (2011). Dinámica poblacional de genets y ramets de *Mammillaria gaumeri* cactácea endémica de Yucatán. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 89 (1): 833-105.

Flores-Martínez A., Manzanero-Medina G.I., Golubov J., Montaña C. y Mandujano M.C. (2010). Demography of an endangered endemic rupicolous cactus. Plant Ecology, 210 (1): 53-66.

Forbis T.A. y Doak D.F. (2004). Seedling establishment and life history trade-offs in alpine plants. American Journal of Botany, 91 (7):1147-1153.

Franco M. y Silvertown J. (2004). A comparative demography of plants based upon elasticities of vital rates. Ecology, 85 (2):1341-348.

Furgairiño G.S. (2004). Demografía modular de una planta perenne mediterránea (*Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.). Ecosistemas, 13 (3):129-133.

García-González A., Damon A., Raventós J., Riverón-Giró F. B., Mújica E. y Solís-Montero L. (2017). Impact of different shade coffeee management scenarios, on a population of *Oncidium poikilostalix* (Orchidaceae), in Soconusco, Chiapas, México. Plant Ecology and Diversity, 10 (2):185-196.

García M.B. (2003). Demographic viability of a relict population of the critically endengered plant *Borderea chouardii*. Conservation Biology. 17 (6):1672-1680.

Godínez-Álvarez H., Valiente-Banuet A. y Valiente-Banuet B. (1999). Biotic interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Nebuxbaumia tetetzo* in the Tehuacán Valley, Mexico. Canadian Journal of Botany, 77 (2):203-208.

Goluvob J., Mandujano M.C., Montaña C., López-Portillo J. y Eguiarte L E. (2004). The demographic costs of nectar production in the desert perennial *Prosopis glandulosa* (Mimosideae): a modular approach. Plant Ecology, 170 (2):267-275.

González-Medrano F. (2012). Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Instituto Nacional de Ecología. 173 pp.

Granados-Sánchez D., López-Ríos G.F. y Gama-Flores J.L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. Ciencias Forestales y del Ambiente, 4 (1):169-178.

Harper J.L. y White J. (1974). The demography of plants. Annual Review of Ecology and Systematics, 5:419-463.

Harper J. L. (1977). Population biology of plants. Academic Press, London. 892 pp.

Harper J. L. (1980). Plant demography and ecological theory. Oikos, 35 (2):244-235.

Herben T., Hara T., Marshall CH. y Soukupova L. (1994). Plant clonality: Biology and Diversity. Folia Geobotanica & Phytotaxonomica, 29: 113-122.

Hernández M.H. y Godínez-Álvarez A., (1994). Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. Acta Botánica Mexicana, 26: 33-52.

Horvitz C.C. y Schemske D.W., (1995). Spatiotemporal variation in demographic transitions of a tropical understory herb: projection matrix analysis. Ecological Monographs, 65 (2):155-192.

Huenneke L.F. y Marks P.L. (1987). Stem dynamics of a clonal shrub: size transition matrix models. Ecology, 68 (5):1234-1242.

Juárez T.L. (2013). Demografía y genética de poblaciones de la orquídea terrestre *Cyclopogon-luteo-albus* (A. Rich. Y Galeotti) Schltr. en fragmentos de bosque de niebla del centro de Veracruz. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología A. C., Xalapa, Veracruz, México. 136 pp.

Lande R. y Orzack S.H. (1988). Extinction dynamics of age-structured population in a fluctuating environment. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 85 (19):7418-7421.

Larson J. (1992). Estudio demográfico de *Echeveria gibbiflora* DC (Crassulaceae) en el Pedregal de San Ángel. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. 14 pp.

Lefkovitch L.P. (1965). The study of population growth in organisms grouped by stages. Biometrics, 21 (1):1-18.

Leslie P.H. (1945). On the use of matrices in certain population mathematics. Biometrika, 33 (3):183-212.

Lomelí-Sención J.A. y Sahagún-Godínez E. (1993). *Pedilanthus diazlunanus* (Euphorbiacae), especie nueva del sur de Jalisco, México. Acta Botánica Mexicana, 25: 15-20.

Lomelí-Sención J.A. y Sahagún-Godínez E. (2002). Rediscovery of *Pedilanthus coalcomanensis* (Euphorbiaceae), a threatened endemic mexican species. American Journal of Botany, 89 (9): 1485-1490.

Lomelí-Sención. J.A. (2004). Revisión de *Euphorbia* subgénero *Pedilanthus* (Euphorbiaceae). Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 200 pp.

Mandujano M.C., Montaña C. y Eguiarte L.E. (1996). Reproductive Ecology and inbreeding depresión in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: Why are sexually derived recluitments so rare? American Journal of Botany, 83 (1): 63-70.

Mandujano M.C., Montaña C., Mendez I. y Goluvob J. (1998). The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. Journal of Ecology, 86 (6): 911-921.

Mandujano M. C., Montaña C., Goluvob J. y Flores-Martinez A. (2001). Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. Ecology 82 (2): 344-359.

Mandujano M.C., Verhulst J.A.M., Carrillo-Angeles I.G. y Goluvob J. (2007). Population dynamics of *Ariocarpus scaphirostris* Bodeker (Cactaceae): Evaluating the status of a threatened species. International Journal of Plant Science, 168 (7): 1035-1044.

Martínez-Ramos M., Arroyo-Cosultchi G., Mandujano M. y Golubov J. (2016). Dinámica poblacional de *Mammillaria humboldtii* una cactácea endémica de Hidalgo, México. Botanical Sciences, 94(2): 199-208.

Méndez M., Durán R., Olmsted I. y Oyama K. (2004). Population dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a rare and endemic columnar cactus of Mexico. Biotropica, 36 (4): 492-504.

Méndez-Larios I., Ortiz E. y Villaseñor J.L. (2004). Las Magnoliophyta endémicas de la porción xerofítica de la provincia florística del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica, 75(1): 87-104.

Morris, W. F., & Doak, D. F. (2002). Quantitative conservation biology. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.

Morris W.F., Pfister C.A., Tuljapurkar S., Haridas C.V., Boggs C.L., Boyce M.S. (2008). Longevity can buffer plant and animal populations against changing climatic variability. Ecology, 89 (1): 19-25.

Nault. A. y Gagnon. D. (1993). Ramet demography of *Allium tricoccum*, a spring ephemeral perennial forest herb. Journal of Ecology, 81 (1):101-119.

Olson, M.E., Lomelí S.J.A. e Ivalú Cacho N. (2005). Extinction threat in the *Pedilanthus* clade (*Euphorbia*, Euphorbiaceae), with special reference to the recently rediscovered *E. conzattii* (*P. pulchellus*). American Journal of Botany, 92 (4): 643-641.

Paredes-Flores M., Lira Saade R. y Dávila Aranda P.D. (2007). Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. Acta Botánica Mexicana, 79:13-61..

Picó F.X. (2002). Desarrollo, análisis e interpretación de los modelos demográficos matriciales para la biología de la conservación. Ecosistemas, 11 (3): 1-6

Pierson E.A. y Turner R.M. (1998). An 85-year study of saguaro (*Carnegiea gigantean*) demography. Ecology, 79 (8):2676-2693.

Quintana-Ascencio P.F. y Menges E.S. (1996). Inferring metapopulation dynamics from patch-level incidence of Florida scrub plants. Conservation Biology, 10 (4):1210-1219.

Ramos A.L. (2007). Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. Ex Mottram en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. 75 pp.

Raventos J., González E., Mújica E. y Doak D.F. (2015). Population Viability Analysis of the Epiphytic Ghost Orchid (*Dendrophylax lindenii*) in Cuba. Biotropica,. 47(2): 179-189.

Rzedowski J. (1978). Vegetación de México. Limusa. México D.F. 432 pp.

Sahagún-Godínez E. y Lomelí-Sencion J.A. (1997). *Pedilanthus diazlunanus* (Euphorbiaceae): Pollination by hymenopterans in a bird-pollinated genus. American Journal of Botany, 84 (11):1584-1587.

Salguero-Gómez R., Jones O.R., Jongejans E., Blomberg S.P., Hodgson D.J., Mbeau-Ache C., ZuidemaP.A., De Kroon H. y Buckley Y.M. (2016). Fast–slow continuum and reproductive strategies structure plant life-history variation worldwide. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113 (1):230-235.

Salguero-Gómez, R. (2017). Applications of the fast–slow continuum and reproductive strategy framework of plant life histories. New Phytologist, 213 (4):1618-1624.

Saldivar-Sánchez S. y Navarro-Carbajal M.C. (2012). Estudio demográfico de Mammillaria mystax en Cañada Morelos, Puebla, México. Cactaceas y Suculentas Mexicanas, 57 (2):47-63.

Santangelo G., Bramanti L. y Iannelli M. (2007). Population dynamics and conservation biology of the over-exploited Mediterranean red coral. Journal of Theoretical Biology, 244 (3):416-423.

Schmatzel R.J., Reichenbacher F.W. y Rutman S. (1995). Demography study of the rare *Coryphanta robbinsorum* (Cactaceae) in southeastern Arizona. Madroño, 42 (3):332-348.

Sharitz R.R. y McCormick J.F. (1972). Population dynamics of two competing annual plant species. Ecology, 54 (4):723-740.

Steinmann V.W. (2003). The submersion of Pedilanthus into *Euphorbia* (Euphorbiaceae). Acta Botánica Mexicana, 65: 45-50.

Sterck, F.J., Bongers F., During H.J., Martínez-Ramos M. y De Kroon H. (2003). Module responses in a tropical forest tree analyzed with a matrix model. Ecology, 84 (10):2751-2761.

Stevens M.H.H. (2009). A primer of Ecology with R Springer New York, USA.

Tuljapurkar S. 1990. Population dynamics in variable environments. Springer-Verlag, New York.

Tuljapurkar, S. y Orzack, S. H. 1980. Population dynamics in variable environments I. Long-run growth rates and extinction. Theoretical Population Biology, 18 (3):314-342.

Torres A., Hector E., Cué J. y Cevallos M. (2018). Fisiología Vegetal Volumen 1: Nutrición hídrica y mineral de las plantas. Ediciones UTM. Universidad Técnica de Manabí. 126 pp.

Valiente-Banuet A., Casas A., Alcántara., Dávila P., Flores-Hernández N., Arizmendi M. C., Villaseñor J.L., Ortega J. y Soriano J.A. (2000). La vegetación del Valle de Tehuacán. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 67:24-74.

Valverde T., Quijas S., López-Villavicencio M. y Castillo S. (2004). Population dynamics of *Mamillaria magnimamma* Haworth. (Cactaceae) in a lava-field in central Mexico. Plant Ecology, 170 (2):167-184.

Weller S.A. (2010). Plantas de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Vol. 1 Especies de Puebla. United States Agency International Development, Peace Corps México, 373 pp.

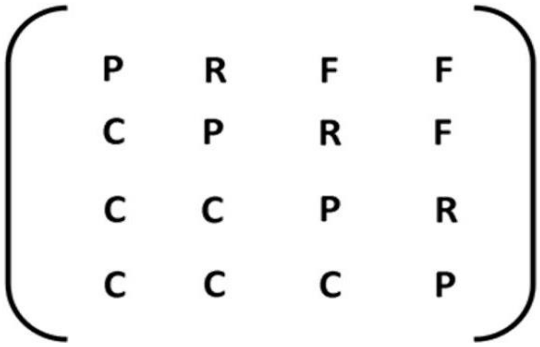

Figura 1. Esquema de la matriz de Lefkovitch con sus cuatro procesos demográficos P= permanencia, C= crecimiento, R= retrogresión y F=fecundidad

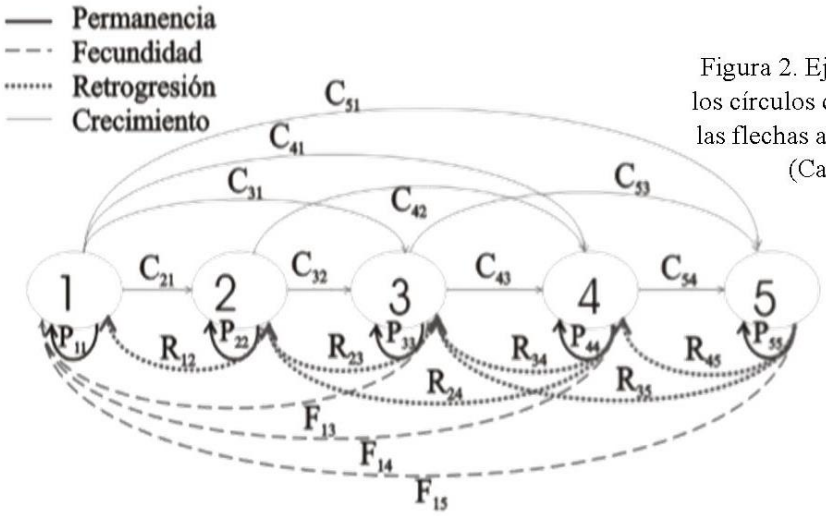

Figura 2. Ejemplo de un ciclo de vida, los círculos corresponden a categorías y las flechas a cada proceso demográfico (Castillo-Meza, 2011)

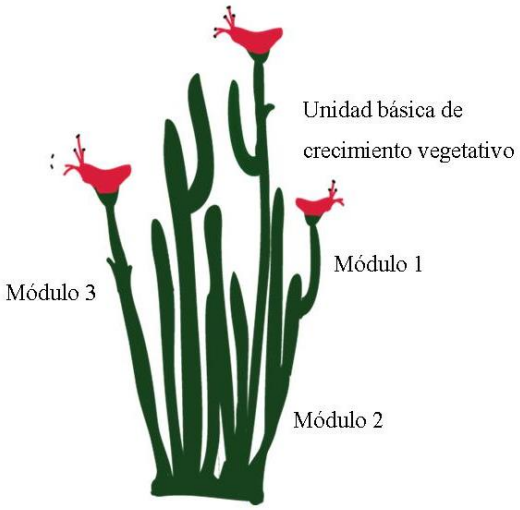

Figura 3 Ejemplo de un organismo formado por módulos

Figura 4 Flor pistilada de *E. cymbifera*

Figura 5 Flor estaminada de *E. cymbifera* presente en el ciatio característico del clado Pedilanthus

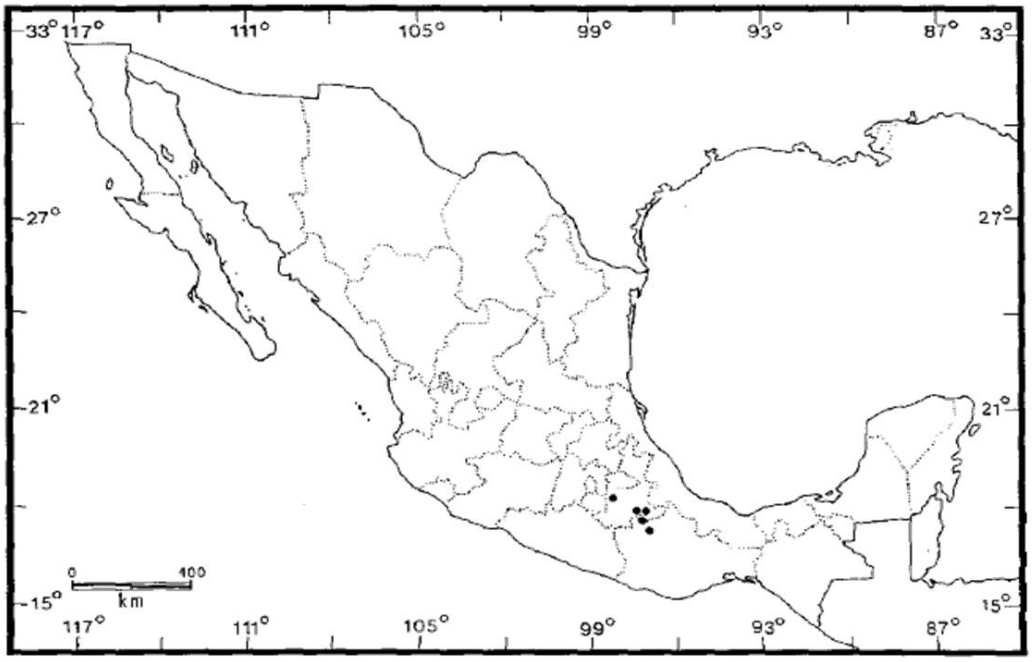

Figura 6 Distribución geográfica de *E. cymbifera* (Dressler 1957; Lomelí. 2006)

Figura 7. Localización general de la zona de estudio en el estado de Puebla dentro del Valle de Zapotitlán Salinas. (perteneciente a la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán). La población de *E. cymbifera* se localizó a 3km. fuera del municipio en dirección a la comunidad de Santiago Chazumba.

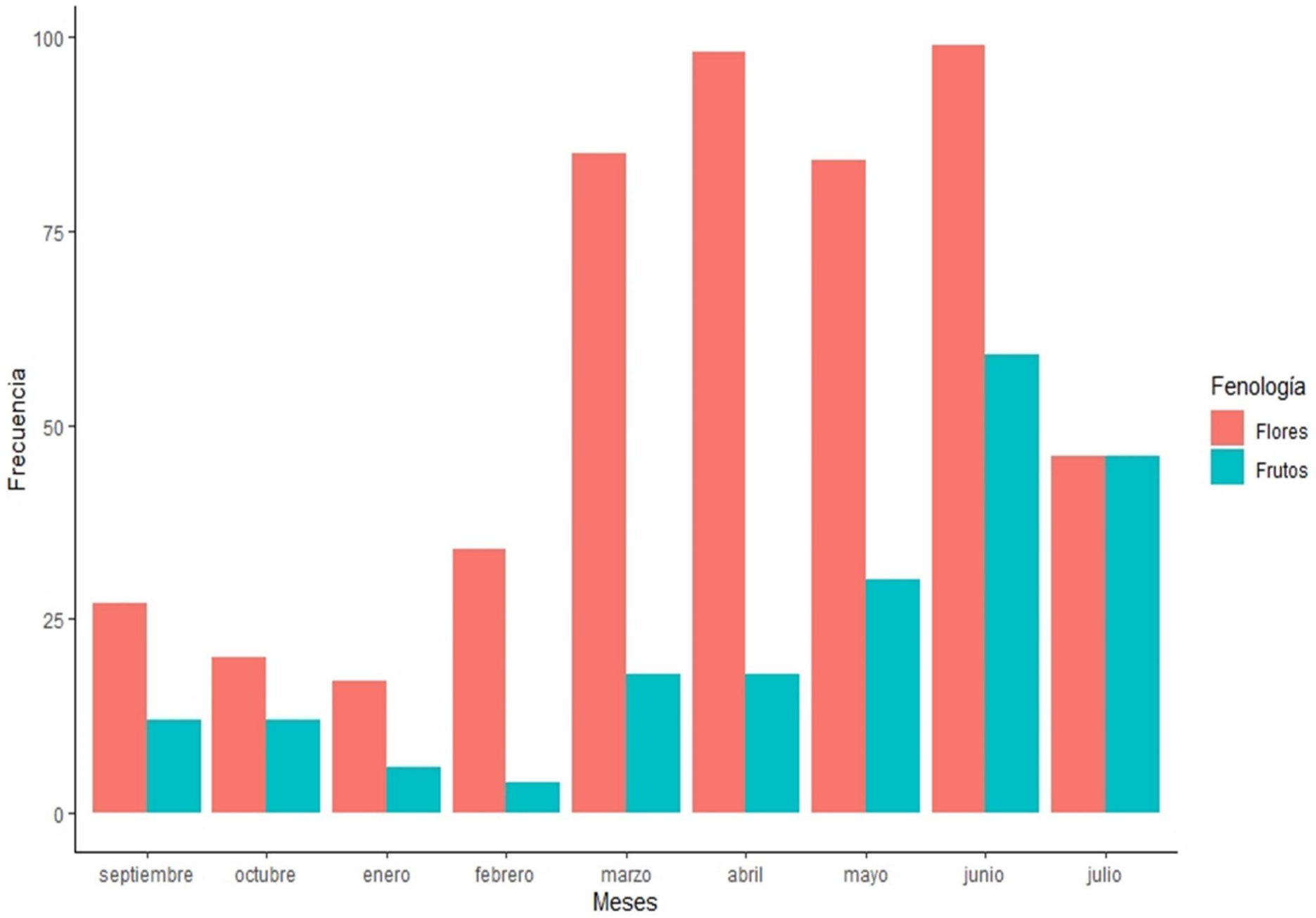

Figura 8. Fenología de *E. cymbifera* correspondiente al período de Agosto 2017 a Julio 2018

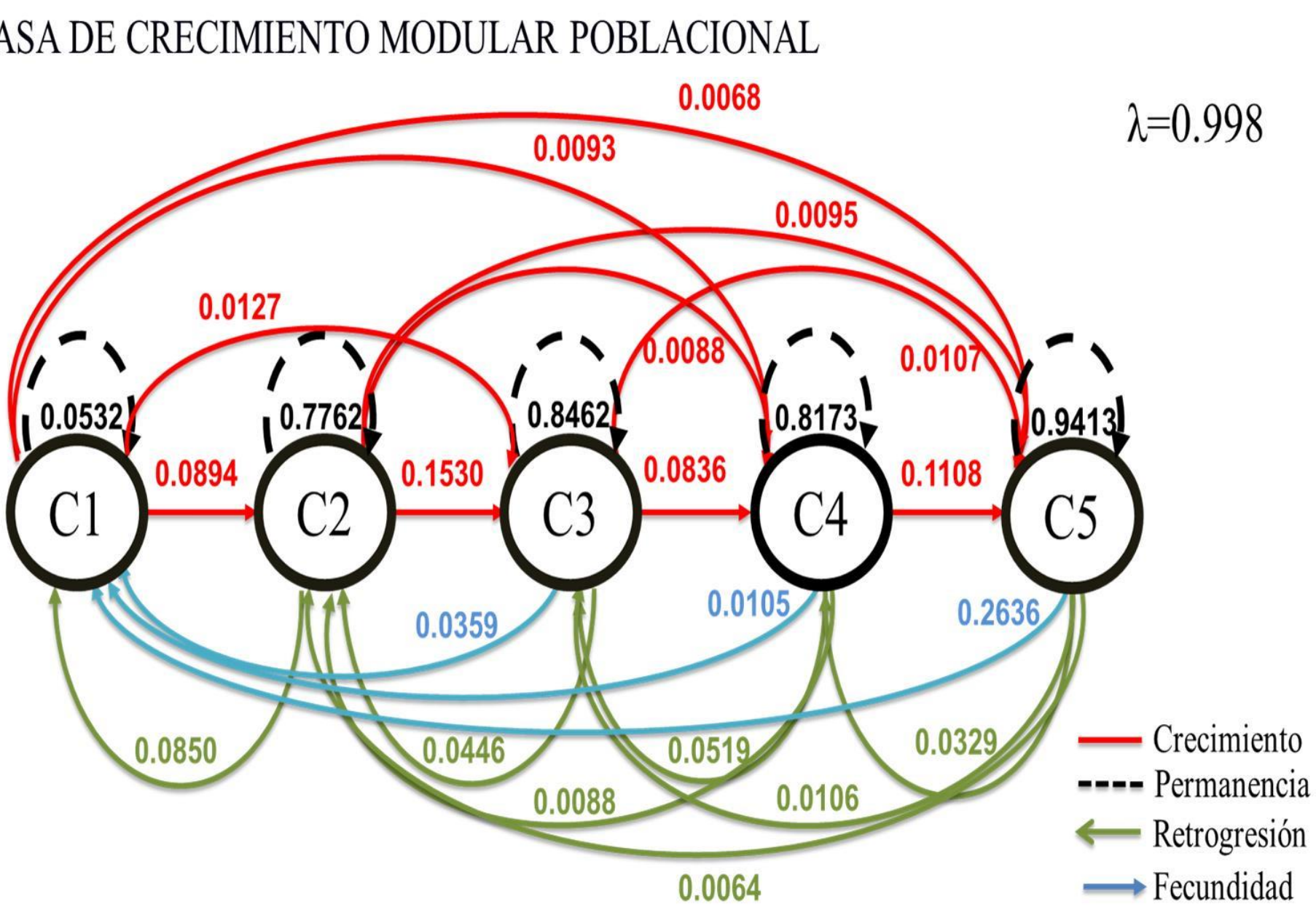

Figura 9. Tabla diagramática de *E. cymbifera* obtenida en el período de Agosto 2017 a Julio 2018. Se muestran los 4 procesos demográficos presentes en la matriz de Leftkovich y la tasa de crecimiento poblacional promedio de λ= 0.998

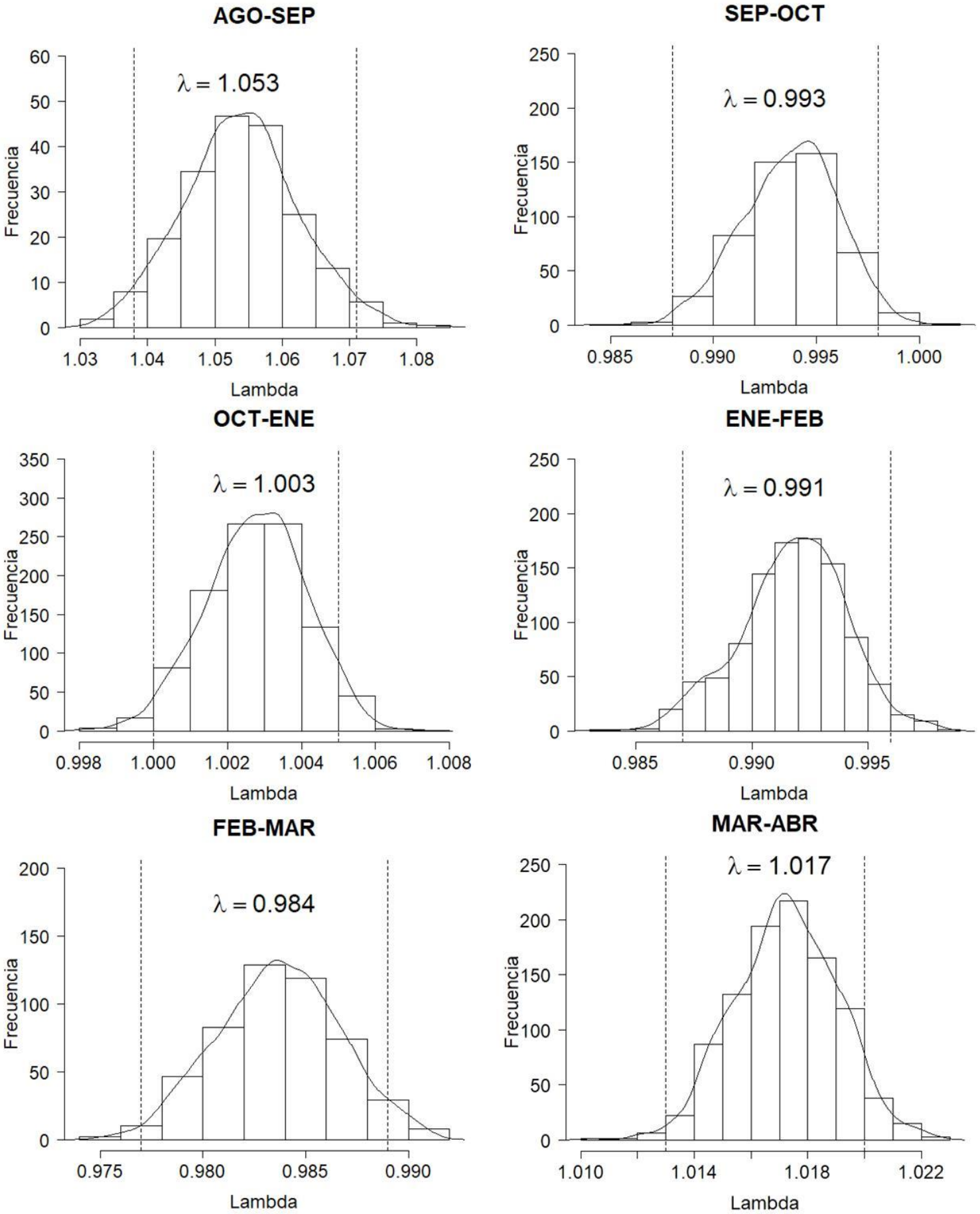

Figura 10. Histogramas de Lambda para los períodos de Agosto de 2017 a Julio 2018con sus límites inferiores y superiores correspondientes obtenidos por remuestreo (bootstrap). Cada línea punteada muestran los intervalos de confianza al 95%

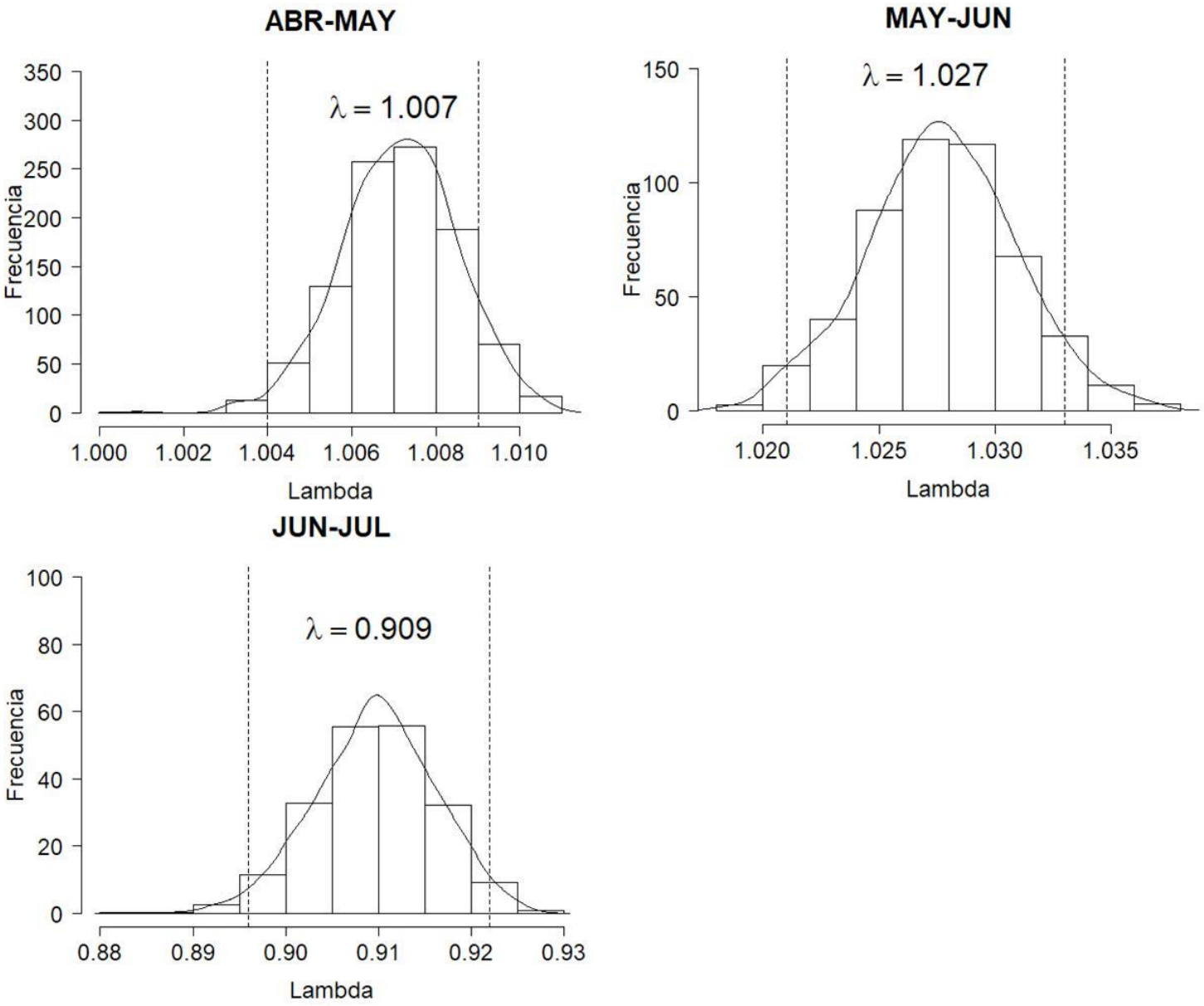

Figura 11. Histogramas de Lambda para los períodos de Agosto de 2017 a Julio 2018 con sus límites inferiores y superiores correspondientes obtenidos por remuestreo (bootstrap). Cada línea punteada muestran los intervalos de confianza al 95%

Cuadro 1. Categorías de individuos no reproductivos y reproductivos de *E. cymbifera* a partir de la altura.

Categoría	Altura (cm)	Características
1	<11.2	No Reproductivos
2	11.3-16	No Reproductivos
3	16.1-22.2	Reproductivos
4	22.3-28.5	Reproductivos
5	28.6-75	Reproductivos

Cuadro 2. Porcentaje de mortalidad total de módulos de la población de *E. cymbifera,* los porcentajes en negritas representan el valor más alto de mortalidad por categoría

Mortalidad Total de Módulos por Categoría					
	C1	C2	C3	C4	C5
Septiembre	10.53	0	11.11	16.67	12.5
Octubre	2.63	22.22	11.11	0	0
Enero	**57.89**	33.33	44.44	50	37.5
Febrero	15.79	22.22	0	0	12.5
Marzo	7.89	11.11	33.33	33.33	25
Abril	2.63	0	0	0	0
Mayo	2.63	11.11	0	0	12.5
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0

Cuadro 3. Valores de la Tasa de Crecimiento Modular Poblacional en *E. cymbifera* y sus intervalos de confianza superior e inferior

Mes	**λ**	**Intervalo de Confianza (Inf-Sup)**
Agosto-Septiembre	1.053	1.037-1.070
Septiembre-Octubre	0.993	0.988-0.997
Octubre-Enero	1.003	1-1.005
Enero-Febrero	0.991	0.987-0.996
Febrero-Marzo	0.984	0.997-0.989
Marzo-Abril	1.017	1.013-1.020
Abril-Mayo	1.007	1.004-1.009
Mayo-Junio	1.027	1.021-1.033
Junio-Julio	0.909	0.986-0.921
PROMEDIO	0.998	

Cuadro 4. Matrices de Elasticidad para los períodos de Agosto a Enero explicados en porcentajes, los valores en negritas resaltan el porcentaje para el proceso demográfico de permanencia en la población de módulos de *E.cymbifera*.

Elasticidades Agosto-Septiembre					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0.057165	0.051255	0.019529	0.000249	0.015581
C2	0.060873	0.261388	0.01364	0.004844	0.006457
C3	0.011117	0.027914	0.178692	0.004343	0.006271
C4	0.005059	0.001961	0.010611	0.086633	0.005023
C5	0.009565	0.004683	0.005865	0.013218	**0.138065**

Elasticidades Septiembre-Octubre					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0.000213	0.000362	0.000077	0.000139	0.003816
C2	0.003296	0.034532	0.00260	0.001615	0.004913
C3	0.000612	0.010728	0.0855	0.003005	0.008379
C4	0.000339	0.000678	0.0183	0.136682	0.015249
C5	0.000147	0.000654	0.00177	0.029781	**0.636685**

Elasticidades Octubre-Enero					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0.0000221	0.000144	0.000163	0.000052	0.005171
C2	0.00431	0.064566	0.004327	0.000479	0.001783
C3	0.000637	0.009354	0.106609	0.003462	0.002686
C4	0.000338	0.000838	0.010806	0.138578	0.011285
C5	0.000250	0.000558	0.000842	0.019274	**0.61347**

Cuadro 5. Matrices de Elasticidad para los períodos de Febrero a Abril explicados en porcentajes, los valores en negritas resaltan el porcentaje para el proceso demográfico de permanencia en la población de módulos de *E.cymbifera*.

Elasticidades Enero-Febrero					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0	0	0.0000771	0.000151	0.003287
C2	0.002243	0.048745	0.00576	0.001327	0.004166
C3	0.000331	0.01128	0.0151	0.004453	0.007571
C4	0.000613	0.001128	0.00129	0.117443	0.018863
C5	0.000327	0.001083	0.00486	0.027615	**0.574563**

Elasticidades Febrero-Marzo					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0	0.0000276	0.0000550	0	0.001382
C2	0.00107	0.0192	0.00252	0.001588	0.006138
C3	0.0000955	0.00964	0.0632	0.005353	0.007706
C4	0.000137	0.000643	0.0183	0.09271	0.013617
C5	0.000163	0.00100	0.00189	0.025793	**0.72777**

Elasticidades Marzo-Abril					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0.0000606	0.0000409	0.000203	0.000434	0.012385
C2	0.0121	0.0494	0.001211	0	0
C3	0.000440	0.0127	0.12977	0.00096	0.000818
C4	0.000543	0.000337	0.013284	0.112257	0.003028
C5	0	0.000193	0.000241	0.015797	**0.633807**

Cuadro 6. Matrices de Elasticidad para los períodos de Mayo a Julio explicados en porcentajes, los valores en negritas resaltan el porcentaje para el proceso demográfico de permanencia en la población de módulos de *E.cymbifera*.

Elasticidades Abril-Mayo					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0.0000266	0.0000110	0.0000450	0.0000604	0.004918
C2	0.00503	0.0611	0	0.000126	0
C3	0	0.00515	0.137	0.000143	0
C4	0	0	0.00525	0.109	0
C5	0	0	0	0.00492	**0.667596**

Elasticidades Mayo-Junio					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0	0.0000444	0.00013	0.0000234	0.016257
C2	0.01554	0.0908	0.001024	0	0
C3	0	0.0165	0.173425	0.00104	0
C4	0.000916	0	0.016409	0.129	0.002662
C5	0	0	0	0.0189	**0.517702**

Elasticidades Junio-Julio					
	C1	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
C1	0	0	0	0	0
C2	0.0429	0.6449	0.2022	0.0163	0
C3	0.0294	0.0719	0.7615	0.2822	0.0078
C4	0.0067	0.0202	0.0203	0.6590	0.1505
C5	0.0022	0.0067	0.0033	0.0342	**0.8345**

Cuadro 7. Porcentajes obtenidos a partir del análisis de elasticidad para los cuatro procesos demográficos presentes en el ciclo de vida de *E. cymbifera*. Los valores en negritas representan el porcentaje del proceso más importante en cada período.

Agosto-Septiembre		Septiembre-Octubre		Octubre-Enero	
Proceso Demográfico		Proceso Demográfico		Proceso Demográfico	
Permanencia	**72.19**	Permanencia	**89.35**	Permanencia	**92.32**
Crecimiento	15.08	Crecimiento	6.62	Crecimiento	4.72
Fecundidad	9.18	Fecundidad	3.61	Fecundidad	2.41
Retrogresión	1.58	Retrogresión	0.39	Retrogresión	0.52
Enero-Febrero		**Febrero-Marzo**		**Marzo-Abril**	
Proceso Demográfico		Proceso Demográfico		Proceso Demográfico	
Permanencia	**89.19**	Permanencia	**90.28**	Permanencia	**92.52**
Crecimiento	6.24	Crecimiento	5.87	Crecimiento	5.56
Fecundidad	4.21	Fecundidad	3.69	Fecundidad	0.60
Retrogresión	0.34	Retrogresión	0.13	Retrogresión	1.28
Abril-Mayo		**Mayo-Junio**		**Junio-Julio**	
Proceso Demográfico		Proceso Demográfico		Proceso Demográfico	
Permanencia	**97.43**	Permanencia	**91.05**	Permanencia	**82.66**
Crecimiento	2.03	Crecimiento	6.83	Crecimiento	7.55
Fecundidad	0.02	Fecundidad	0.47	Fecundidad	9.77
Retrogresión	0.49	Retrogresión	1.62	Retrogresión	0