

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO
DE LOS RECURSOS NATURALES (BIODIVERSIDAD DEL NEOTRÓPICO)**

**ESTUDIO POBLACIONAL DE *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. ex
Mottram EN EL VALLE DE CUICATLÁN, OAXACA.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

P R E S E N T A

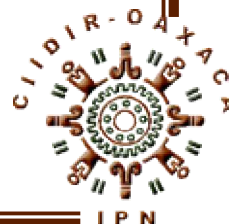
ANA LAURA RAMOS LÓPEZ

DIRECTOR

M. EN C. ALEJANDRO FLORES MARTÍNEZ

SANTA CRUZ XOXOXOTLÁN OAXACA, MÉXICO

NOVIEMBRE DE 2007.





INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 11:00 horas del día 12 del mes de Noviembre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada:

“Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. ex Mottram en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca”

Presentada por la alumna:


Ramos	López	Ana Laura
Apellido paterno	materno	nombre(s)
		Con registro: B 0 5 1 3 2 5

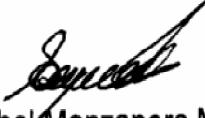
aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**


Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.


LA COMISION REVISORA
Director de tesis


M. en C. Alejandro Flores Martínez


M. en C. Sonia Trujillo Argueta

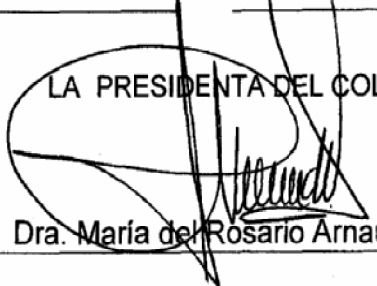

M. en C. Gladys Isabel Manzanero Medina

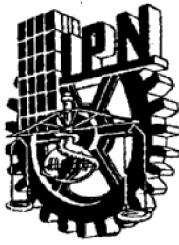

Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez


INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
UNIDAD OAXACA


Dr. Jordan Kyriil Golubov Figueroa

LA PRESIDENTA DEL COLEGIO


Dra. María del Rosario Arnaud Viñas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 12 del mes Noviembre del año 2007, el (la) que suscribe **RAMOS LÓPEZ ANA LAURA** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B051325**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Alejandro Flores Martínez y cede los derechos del trabajo titulado: **“Estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. ex Mottram en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó lranyl@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
UNIDAD OAXACA

RAMOS LÓPEZ ANA LAURA

RESUMEN

En años recientes, muchas especies de cactáceas han sido sujetas a disturbios intensos, fragmentación de hábitats, colección y tráfico ilegal, además del cambio de uso del suelo para la agricultura y pastoreo. En este estudio poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* una cactácea endémica del Valle de Tehuacan-Cuicatlán, se analizó la germinación (luz y sustrato) y la sobrevivencia de plántulas bajo condiciones de radiación solar directa, en el vivero y bajo dosel de arbustos. Los experimentos de germinación se realizaron en las instalaciones del Jardín Botánico Regional "Cassiano Conzatti", la sobrevivencia de plántulas fue evaluada en condiciones naturales (en el Jardín) y en condiciones controladas (vivero). Para el análisis demográfico se usaron matrices de proyección poblacional y se basaron en observaciones realizadas durante 1 año. Los Resultados indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los experimentos de germinación, ya que las semillas no germinan bajo condiciones de oscuridad y con radiación solar directa, los porcentajes de germinación se incrementan cuando existen condiciones de luz difusa y humedad constante. En los experimentos de sobrevivencia de plántulas se obtuvo el 95% en todos los tratamientos. *Mammillaria dixanthocentron* no se encuentra asociada con ninguna especie de planta encontrada en el área de muestreo e.i. *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera Morelensis*, *Opuntia pilifera* y *Cnidosculus tobulosos*. El patrón de distribución espacial para *Mammillaria dixanthocentron* es agregado en todos los tamaños de cuadro. El valor de la tasa de crecimiento poblacional ($\lambda=1.6732\pm 0.2919$) esta arriba de la unidad. Los valores más altos de elasticidad corresponden a la permanencia y al crecimiento de los individuos adultos. Las simulaciones de cambios en las condiciones indican que al incrementar la depredación y la mortalidad en plántulas se reduce la viabilidad poblacional. La permanencia de los individuos reproductivos, principalmente la categoría de adulto 2, es la que contribuye al mantenimiento de la población por lo que los esfuerzos de conservación deben ser encaminados en esta fase del ciclo de vida.

Palabras clave: Cactus, experimentos de germinación, sobrevivencia de plántulas, demografía, planta nodriza y análisis de viabilidad.

ABSTRACT

In recent years, many cacti populations have been subject to intense disturbances, such as habitat fragmentation, illegal collection and trade, and land-use change towards farming and cattle ranching. In this study, *Mammillaria dixanthocentron* a cactus endemic to Tehuacán-Cuicatlán Valley, the germination (light and substrate) and the effect of canopy, nursery and soil on seedling survival (natural conditions simulation) were analyzed. Germination experiments were conducted in greenhouse conditions at Regional Botanical Garden "Cassiano Conzatti". Seedling survival was assessed in controlled and natural areas. Population projection matrices were used to analyse the demography of *Mammillaria dixanthocentron*. Matrices were based on a 1-year of observation. Results showed significant differences in germination experiments. Seeds do not germinate under dark or sunny conditions. Seed showed a photoblastic response, increased its germination with watering constant and fluorescent light. Seedling survival was more than 95%. No association with *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera Morelensis*, *Opuntia pilifera* or *Cnidosculus tobulosus* was found. *Mammillaria dixanthocentron* presented an aggregated distribution. Population growth rate (λ) was higher than unity under natural conditions. The highest elasticity values corresponded to the surviving and growth of large adults. Matrix simulations indicated that increases in predation of seeds and mortality in seedlings resulted in negative λ values. Seed and seedling survival of *Mammillaria dixanthocentron*, are very important phases in its life cycle. Specially phase 2. So conservation strategies should consider this reproductive phase.

Key Words: cacti, germination experiments, seedling survival, demography, nurse plant, viability analysis.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico y logístico para la realización de esta tesis, como parte del proyecto de investigación "Dinámica poblacional de cactáceas endémicas de Oaxaca y protegidas por las leyes mexicanas" con claves de registro de la CGPI 20050225, 20060581 y 20070431.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores (PIFI) por haberme otorgado una Beca durante mi estancia en la Maestría.

A las autoridades de Valerio Trujano, Cuicatlán, Oaxaca por permitirme realizar el trabajo de campo en su comunidad.

Al M. en C. Alejandro Flores Martínez por haber aceptado dirigir este trabajo y por las valiosas sugerencias para mejoría de la tesis y mi formación personal.

A la M. en C. Gladys Isabel Manzanero Medina por la revisión de la tesis.

A la M. en C. Sonia Trujillo Argueta por la revisión y sugerencias para mejoría de la tesis.

A la Dra. María del Carmen Mandujano Sánchez y al Dr. Jordan Golubov Figueroa por el apoyo y el hecho de haber aceptado formar parte de mi Comité Tutorial.

A Teresa de Jesús Avendaño Calvo por su ayuda incondicional durante todo el desarrollo de la tesis, por sus sugerencias, apoyo y principalmente por brindarme su amistad incomparable.

A Eugenio Padilla y Miguel Antonio Cervantes por ayudarme en la toma de datos en campo.

A Guadalupe Jeanet Escobedo Sarti, Víctor Adrián Pérez Crespo, Nayeli Martínez Sánchez y Sadot Vásquez Mendoza por dejarme ser parte de su grupo de trabajo durante los estudios de Maestría pero sobretodo por brindarme su amistad.

A Antonio de Jesús Díaz Díaz por el apoyo y cariño brindado durante la realización de la tesis.

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, salud y a mi familia.

***Con mucho cariño a mí mamá Paula López Mateo y a mi Papá
Victoriano Ramos Marcos.***

A mis hermanas Alma, Ernestina, Rosalba, Guille y Vicky.

A mis hermanos Marcelino, Manuel, Gregorio y Pablo.

A todos mis sobrinos pero principalmente a Alicia Yadira

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	4
1.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. Descripción taxonómica de <i>Mammillaria dixanthocentron</i>	5
2.2. Germinación y sobrevivencia de plántulas.....	6
2.3. Distribución espacial.....	9
2.4. Ecología de poblaciones (estudios demográficos).....	10
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS	19
3.1. Sitio de estudio.....	19
3.2. Trabajo de campo y laboratorio.....	21
3.2.1. Pruebas de germinación	22
3.2.2. Experimentos de germinación en laboratorio.....	22
3.2.3. Sobrevivencia de plántulas.....	23
3.2.4. Caracterización de los sitios de establecimiento.....	25
3.2.5. Estudios poblacionales.....	25
3.2.5.1 Distribución espacial de los individuos.....	26
3.2.5.2 Asociación entre especies.....	27
3.2.5.3 Análisis demográfico.....	28
CAPITULO I V. RESULTADOS	32
4.1. Germinación.....	32
4.2. Sobrevivencia de plántulas.....	33
4.3. Demografía.....	37
4.3.1 Distribución espacial y densidad poblacional.....	37
4.3.2. Asociación de especies.....	38
4.3.3. Estructura de la población.....	39
4.3.4. Análisis matricial.....	39
4.3.4.1. Fecundidad.....	40
4.3.4.2. Matriz de transiciones.....	41
4.3.4.3. Mortalidad.....	43
4.3.4.4. Análisis de sensibilidad y elasticidad.....	43
4.4. Simulaciones.....	44

CAPITULO V. DISCUSIONES.....	46
CAPITULO VI. CONCLUSIONES.....	55
CAPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Tratamientos de germinación en laboratorio.....	22
2	Tratamientos de sobrevivencia <i>ex situ</i>	24
3	Asociación entre especies.. ..	27
4	Área del cuadro y número de cuadros en los que se subdividió el área muestreada, la relación varianza/media y el valor de χ^2	38
5	Matriz de transiciones.....	41
6	Matriz de sensibilidad.....	44
7	Matriz de elasticidad.....	44
8	Simulaciones del comportamiento de la población.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	<i>Mammillaria dixanthocentron</i> en su hábitat natural.....	6
2	Gráfica del ciclo de vida de un organismo hipotético.....	14
3	Matriz construida a partir del ciclo de vida.....	15
4	Localización del Sitio de estudio.....	19
5	Diagrama ombrotérmico de Cuicatlán.....	21
6	Tratamientos en laboratorio.....	32
7	Número de plántulas sobrevivientes.....	34
8	Valor estimado del Coeficiente de número inicial de plántulas (a).....	35
9	Valor estimado del Coeficiente de la tasa de mortalidad (b).....	35
10	Valor estimado del Coeficiente del grado de curvatura (c).....	36
11	Relación varianza/media a diferente tamaño de cuadro.....	37
12	Estructura poblacional en campo en 2006 y 2007.....	39
13	Fecundidad de las categoría reproductivas en la población de <i>Mammillaria dixanthocentron</i> en 2007.	40
14	Comparación de la estructura poblacional observada en campo en febrero de 2007 y la que predice el modelo.....	42
15	Mortalidad perteneciente a cada categoría.....	43

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

México es considerado centro de concentración de cactáceas por poseer un alto índice de endemismo a nivel genérico (73%) y específico (78%) (Hernández y Godínez, 1994) y es uno de los siete países con mayor diversidad biológica en el mundo.

Oaxaca es uno de los estados más diversos a nivel biótico y uno de los que cuenta con mayor número de endemismos. El Valle de Cuicatlán es importante por la alta diversidad, ya que alberga 630 géneros y 1400 especies de plantas vasculares (Villaseñor *et al.*, 1990). La provincia florística del Valle de Cuicatlán forma parte de la Región Xerófita Mexicana (Rzedowski, 1978), desde el punto de vista geológico este Valle presenta afloramientos de distinta naturaleza y edad, que hacen de la región una serie de mosaicos con características y manifestaciones propias (Villaseñor *et al.*, 1990). La flora del Valle de Cuicatlán destaca por su elevado porcentaje de endemismo. Estimaciones actuales corroboran el alto grado de endemismo en la provincia, ya que cerca del 30% de las especies conocidas para esta zona son endémicas, este porcentaje es alto para un área tan pequeña (Villaseñor *et al.*, 1990).

Entre las plantas más notables que caracterizan el paisaje de las zonas áridas de México y en particular las de Oaxaca se distinguen, junto con los magueyes, los mezquites y las yucas, un extraordinario grupo vegetal, la familia Cactaceae. Las cactáceas evolucionaron de ancestros foliados que vivieron en territorios emergidos del Caribe, después de que el continente americano quedó separado de África, por lo que no hubo oportunidad de su dispersión, establecimiento y evolución en otros continentes (Gibson y Nobel, 1986). La familia Cactaceae está integrada por plantas adaptadas a condiciones de temperatura extrema, por lo que

generalmente son suculentas, en la mayoría de las especies las hojas están ausentes o modificadas a manera de espinas (Reyes *et al.*, 2004). Esta familia cuenta con aproximadamente 110 géneros y 2000 especies distribuidas principalmente en regiones áridas y semiáridas (Arias, 1993). Se distinguen de los demás grupos de plantas por ciertas características anatómicas y fisiológicas, tales como su estructura crasa, reducción del limbo de las hojas, hipertrofia del pecíolo hasta que se transforma en un podario o tubérculo, modificación de las yemas hasta la transformación en areolas, además de tener espinación diversa y un metabolismo de tipo ácido crasuláceo (CAM) (Bravo-Hollis, 1997; Ezcurra, 1997; Arreola-Nava, 1997; Paredes *et al.*, 2000).

Este grupo de plantas poseen características biológicas y ecológicas particulares que las hacen vulnerables a diversos factores de perturbación, ya sea humanos o de forma natural (Bravo-Hollis, 1978; Bravo - Hollis y Sánchez, 1991; Hernández y Godínez, 1994; Bravo-Hollis, 1997; Arizaga, 1999). Son plantas de lento crecimiento y de ciclo de vida largo, ya que factores como el agua, la disponibilidad de nutrientes, la competencia y las asociaciones positivas pueden llegar a afectar su tasa de crecimiento. Muchas de ellas se encuentran en alguna categoría de riesgo (en la NOM-059-SEMARNAT-2001) a causa de altos niveles de endemismos, sobrecolecta de los especímenes y el deterioro creciente de regiones áridas y semiáridas del país (a causa de fragmentación de hábitats y contaminación) (CITES, 1990; IUCN, 1997; Oldfield, 1997). Actualmente no se tiene el conocimiento básico de la biología (ecología y demografía) de muchas especies, por lo que para la asignación de alguna categoría en la norma oficial mexicana hoy en día se basa en observaciones aisladas y recomendaciones intuitivas (Peters y Martorell, 2001).

Para *Mammillaria dixanthocentron* es urgente evaluar el estado actual de sus poblaciones mediante estudios demográficos, ya que es una especie endémica y

categorizada como especie sujeta a Protección especial (Pr) en la NOM-059-SEMARNAT-2001, y como vulnerable en la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Hernández y Godinez, 1994). Una de las finalidades del presente estudio es conocer su natalidad, mortalidad, aspectos relacionados con las características del hábitat. De esta manera se puede pronosticar el futuro de la especie y se puede contar con parámetros que permitan tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de su conservación.

En este trabajo se evaluaron los aspectos ecológicos de germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas, así como aspectos demográficos como el patrón de distribución espacial, la asociación de la especie en estudio, las principales especies acompañantes, además de determinar parámetros tales como la tasa de crecimiento poblacional (λ), mortalidad, sensibilidad y elasticidad, con la finalidad de determinar el estado actual y las fases vulnerables del ciclo de vida de una población de *Mammillaria dixanthocentron* en Valerio Trujano, Oaxaca.

OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Determinar la dinámica poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* en Valerio Trujano, Cuicatlán, Oaxaca.

1.2 Objetivos específicos

- ✚ Evaluar la influencia de la luz y el sustrato en dos fases del ciclo de vida de *Mammillaria dixanthocentron* (germinación y sobrevivencia de plántulas).
- ✚ Realizar la descripción de la zona de establecimiento de *Mammillaria dixanthocentron*
- ✚ Determinar la distribución espacial de la especie
- ✚ Inferir si la especie necesita una especie nodriza para su establecimiento.
- ✚ Determinar la tasa de crecimiento poblacional de *Mammillaria dixanthocentron*.
- ✚ Determinar las fases del ciclo de vida y los parámetros demográficos que tienen mayor impacto sobre las tasas de crecimiento poblacional de la especie.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características taxonómicas de *Mammillaria dixanthocentron* Backeb. ex Mottram

Plantas simples a cespitosas. Los tallos van de 5.0 a 30 cm regularmente (pero menores a 40 cm de alto), de 7.0 a 25 cm de ancho, globosos a cortamente cilíndricos; con jugo semilechoso, blanco amarillento no espeso; tubérculos de 5.0 a 8.0 mm de largo, en la base de 3.0 a 6.0 mm de ancho, cónicos, circulares a ovalados en sección transversal, verdes o amarillos, axilas con abundante lana; áreolas de 1.0 a 1.5 mm de largo, de forma circular; espinas radiales de 13 a 25, de 0.8 a 6.0 mm de largo, aciculares, rectas, rígidas, radiadas, amarillas, blancas o ligeramente translúcidas; espinas centrales de 2 a 4 (menos de 7), 0.01-(0.3)-3.0 cm de largo, tubuladas, ascendentes rectas o ligeramente curvas, rígidas no uncinadas, amarillas a pardo rojizas, después grisáceas, con el ápice pardo oscuro (Arias *et al.*, 1997). Crece solitaria o formando colonias, su tallo llega a medir hasta 20 cm de alto y presentan tubérculos que contienen jugo acuoso en su interior y gran cantidad de lana entre ellos (Arias *et al.*, 1997; Reyes *et al.*, 2004).

Las flores van de 1.0 a 1.6 cm de largo, 0.9 a 1.2 cm de ancho; el pericárpelo de 1.3 a 3.0 mm de largo, de 2.2 a 4.8 mm de ancho; tubo receptacular de 1.9 a 2.3 mm de largo, base verde; tépalos externos de 3.3 a 5.6 mm de largo, 1.8 a 2.1 mm de ancho, lanceolados, ápice obtuso, hendido, van de color rosa a amarillo oscuro, margen entero; tépalos internos de 6.8 a 9.0 mm (menores a 10.0 mm) de largo, de 1.5 a 1.8 mm (menores a 2.0 mm) de ancho, lanceolados, base verde claro, ápice acuminado, de color rosa-carmín, franja media de color rojo-carmín, margen superior dentado; estambres de 4.5 a 5.0 mm de largo, filamentos blancos a rojo-

púrpura; estilo de 7.4 a 10.2 mm de largo, de color blanco-amarillento a amarillo verdoso, lóbulos del estigma de 3 a 5, amarillo-verdoso (Arias *et al.*, 1997).

Los frutos son de (1.0-) 1.5 a 2.3 (menores a 2.5) cm de largo, (2.0-) 0.4-0.7 cm de ancho, claviformes, rojo-verdosos (Arias *et al.*, 1997). Los frutos son comestibles (Reyes *et al.*, 2004). Las semillas presentan un rango de 0.8 a 1.0 mm de largo, 0.6 a 0.6 mm de ancho, reniformes, pardo oscuras; testa foveolada, paredes celulares ligeramente sinuosas. Ésta especie florece entre diciembre y marzo (Arias *et al.*, 1997).



Figura 1. *Mammillaria dixanthocentron* en su hábitat natural

Mammillaria dixanthocentron es endémica del Valle de Tehuacan-Cuicatlán y se distribuye en el estado de Oaxaca, entre Teotitlán del Camino y San Juan Los Cues, también se le encuentra en Tecomavaca, Los Obos y San Pedro Jcotipac (Reyes *et al.*, 2004). En el Valle de Tehuacan-Cuicatlán se tienen reportados 21 localidades, en Ayotla, Buena Vista, Cerro Gordo, Mittepec, Pala, Pápalo y Tepelmeme (Peters y Martorell, 2001).

2.2 Germinación y sobrevivencia de plántulas

La germinación es el tiempo durante el cual el embrión adquiere independencia, por esto las características en cuanto a la estructura y la funciones de estas juegan un papel importante en la sobrevivencia de los individuos en un hábitat particular

(Granados y López, 2001; citado por Vásquez-Avendaño, 2003). Las semillas necesitan algunos estímulos o condiciones favorables antes de poder germinar. Diversos factores ambientales, tales como la humedad, luz y temperatura, regulan la germinación y el establecimiento de plantas en ambientes áridos (Granados y López, 2001). De manera general la iniciación de la germinación requiere que se cumplan tres condiciones: a) La semilla debe ser viable (el embrión debe estar vivo y ser capaz de germinar), b) La semilla no debe estar en letargo ni el embrión quiescente. No deben existir barreras fisiológicas o físicas que induzcan letargo ni barreras químicas para la germinación, c) La semilla debe estar expuesta a las condiciones ambientales apropiadas: disponibilidad de agua, temperatura adecuada, provisión de oxígeno y luz. Debido a las complejas interacciones entre el ambiente y las condiciones específicas de letargo, dichas exigencias pueden cambiar con el tiempo y los métodos de manejo de las semillas también (Moreno 1996; Hartmann y Kester, 2001).

La luz es un factor que regula la germinación y establecimiento en ambientes áridos (Went, 1948, 1949; Gutterman, 1993; Kigel, 1995). La luz es de gran importancia ya que esta determinado la posición en el suelo de donde va a germinar una semilla; controla la germinación bajo el dosel de las ramas de los árboles, y al interactuar con la temperatura participa en el control estacional del rompimiento de la latencia (Moreno, 1996). Las semillas sensibles a la luz generalmente son pequeñas, por esto su germinación es favorecida estando cerca de la superficie del suelo de tal manera que las plántulas puedan emerger con rapidez e iniciar la fotosíntesis (Moreno, 1996). La germinación de semillas fotoblásticas en ambientes áridos es limitada al ocurrir en estas condiciones extremas, los requerimientos de luz solamente tienen lugar después de la época de lluvias, la semilla permanecerá con humedad y bajo el sol durante largos periodos de tiempo (Kigel, 1995).

En cuanto a los estudios enfocados a determinar los factores que influyen en la sobrevivencia de las plántulas, el fenómeno mas ampliamente estudiado es el nodricismo. Una planta que provee de protección a sus plántulas o a las de otras especies en un ambiente hostil, mientras crecen lo suficiente para enfrentar los embates del medio por sí mismas, se le denomina planta nodriza (Muller, 1953; Niering *et al.*, 1963; Steenbergh y Lowe, 1969). Muchos cactus crecen en asociación con estas plantas nodriza, principalmente durante los primeros estadios (Godínez *et al.*, 2003). En *Neobuxbaumia tetetzo*, se ha encontrado que las plántulas presentan una tasa mayor de sobrevivencia cuando se encuentran bajo el dosel de diferentes árboles o arbustos. Dentro de las razones para esta asociación tenemos que 1) bajo la copa de las especies nodriza se encuentran microambientes protegidos de la intensa radiación solar (existe disminución del estrés por calor en las plántulas al reducir las elevadas temperaturas), reduce el riesgo de deshidratación al reducir la tasa de transpiración, ocasiona una conservación más prolongada de la humedad atmosférica y edáfica (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet *et al.*, 1991) 2) Estas especies funcionan como barreras protectoras contra depredadores de semillas y plántulas (Hutto *et al.*, 1986), 3) Actúa como una trampa colectora de restos orgánicos transportados por el viento, mismo que se acumulan bajo la copa de los arbustos creando un mejor sustrato que en suelo abierto (Valiente-Banuet y Ezcurra 1991; Valiente-Banuet *et al.*, 1991; León de la Luz y Valiente-Banuet 1994; Godínez *et al.*, 2003).

Muchas especies de cactáceas presentan relaciones muy estrechas con plantas nodriza pero en algunos cactus globosos pueden establecerse en ausencia de las mismas. En estos casos, las rocas y otras irregularidades del terreno podrían facilitar la germinación y el establecimiento (Godínez *et al.*, 2003).

2.3 Distribución espacial

Para estudiar la distribución espacial de los individuos de una población, debemos tener presente las condiciones de espacio habitable por los organismos; se pueden observar tres comportamientos o patrones generales: al azar, agregado y uniforme (Odum, 1985; Krebs, 1989). Entre los diversos métodos que se han sugerido para determinar objetivamente el tipo de patrón de distribución de los individuos de una población está el índice de dispersión (*ID*), expresado con la siguiente fórmula:

$$ID = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

Donde:

S^2 = Varianza

\bar{x} = Media

En la disposición espacial al azar se considera que todos los puntos en un espacio tienen la misma probabilidad de poder ser ocupados por un organismo y que la presencia de un individuo en un cierto punto en el espacio no afecta la ubicación del otro; la distribución uniforme de los organismos se presenta cuando los individuos están distribuidos de igual manera en el espacio; cuando se presenta una interacción positiva entre los individuos de una población, se observa a agrupaciones o núcleos más densos de individuos dentro del área donde se distribuye la población y es el tipo más común que se presenta en la naturaleza (Franco *et al.*, 1982).

2.4 Ecología de poblaciones (Estudios demográficos)

Uno de los principales objetivos de la investigación ecológica es el de explicar y predecir la distribución y abundancia de los organismos en la naturaleza (Begon *et al.*, 1986; Bullock *et al.*, 1994). La investigación ecológica tiene como uno de los principales objetivos el explicar y predecir la distribución y abundancia de los organismos en la naturaleza (Begon *et al.*, 1986; Franco 1990; Bullock *et al.*, 1994 citado por Esparza-Olguín, 1998). La ecología de poblaciones tiene un papel fundamental ante ésta necesidad, puesto que uno de sus objetivos es el conocer la dinámica espacio-temporal de las variaciones en el número de individuos que componen una población, mediante el estudio de los factores que están influyendo en las tasas de reproducción, crecimiento, sobrevivencia y migración (Franco, 1990; Larson, 1992; Begon *et al.*, 1996; Esparza- Olguín, 1998).

Para el estudio de la dinámica poblacional, la demografía es una de las herramientas más robustas para efectuar proyecciones a futuro, debido a que resume estadísticamente la sobrevivencia, fecundidad y el crecimiento de los individuos, así como los parámetros que determinan los cambios con el tamaño de las poblaciones (Franco, 1990; Esparza- Olguín, 1998). Los primeros estudios demográficos se desarrollan sólo para poblaciones humanas, puesto que su objetivo era conocer el número de habitantes de un pueblo, esto en función de prever la demanda de servicios que éstas requerían (Hutchinson, 1978). A principios de este siglo y con el desarrollo de ésta área, los ecólogos adoptaron los métodos demográficos para estudiar poblaciones de animales y vegetales, desarrollando nuevas herramientas y teorías sobre evolución de los ciclos de vida basada en modelos (Franco, 1990; Esparza- Olguín, 1998).

Gran parte del interés de los ecólogos por la evaluación de los parámetros demográficos de una población radica en que estos nos dan acceso al análisis del crecimiento poblacional. Este se refiere a la forma en que cambia el número de individuos que componen una población a través del tiempo y es función de los nacimientos, muertes, inmigraciones y emigraciones. Dentro de los modelos de crecimiento poblacional más utilizados están el exponencial, logístico y los modelos matriciales de proyección poblacional (Harper, 1980; Begon *et al.*, 1986; Larson, 1992; Gotelli, 1995; Begon *et al.*, 1996).

El modelo de crecimiento poblacional tipo exponencial fue propuesto por primera vez por Thomas Robert Malthus en 1778. Este modelo supone que la población es cerrada, es decir que no existen emigraciones ni inmigraciones, por lo tanto la tasa de crecimiento sólo depende de los nacimientos y muertes que hay en la misma población, y esta bajo el supuesto de que los individuos crecen en un ambiente donde los recursos son ilimitados, ya que no hay ningún efecto limitante que afecte a la tasa de crecimiento específico donde la tasa de natalidad y mortalidad son constantes, por lo que la tasa de crecimiento específico se vuelve constante en condiciones del medio prevalecientes (Margalef, 1982; Odum, 1985; Begon *et al.*, 1986; Gotelli, 1995).

Con los supuestos de este modelo es posible calcular el tamaño de la población en un momento dado (N_t) de la siguiente forma (Margalef, 1982; Odum, 1985; Begon *et al.*, 1986; Gotelli, 1995):

$$N_t = N_0 e^{rt}$$

En donde:

N_0 = tamaño inicial de la población

r = tasa intrínseca de crecimiento poblacional

e = constante base del logaritmo natural

t = tiempo

La forma diferencial de esta ecuación es:

$$dN/dt=Nr$$

En el modelo de crecimiento poblacional de tipo logístico al principio la población crece con lentitud, posteriormente con rapidez, y después vuelve a hacerse lento a medida que la resistencia ambiental aumenta y finalmente alcanzar el equilibrio, donde número de individuos se mantiene. El crecimiento depende de la densidad poblacional (Krebs, 1985; Odum, 1985).

Los supuestos en éste modelo son:

- § Que todos los individuos de la población son idénticos ya que no hay diferencia de edad o sexo.
- § Que hay una distribución estable de edades.
- § Que las tasas instantáneas de natalidad y mortalidad no cambian con el tiempo.

Este tipo de modelo se representa mediante la siguiente ecuación y fue propuesta por primera vez por P.F. Verhulst en 1838.

$$dN / dt = rN \cdot (K-N / K)$$

Donde: dN / dt = tasa instantánea de cambio en la densidad poblacional

K es la capacidad de carga ambiental

$(K-N / K)$ es el “freno” impuesto por las interacciones entre los individuos de la misma especie y las limitaciones de recursos.

Los modelos anteriores no toman en cuenta las diferencias en individuos que componen la población, lo cual es necesario para describir de una manera más completa el comportamiento de la misma. Se han desarrollado modelos más

completos en los que se reconocen diferencias entre los individuos de diferentes edades, tamaños o etapas del ciclo de vida, asumiendo equivalencia entre los individuos que conforman cada categoría. Dentro de estos se encuentran los modelos matriciales de proyección poblacional.

El uso de modelos matriciales en demografía surge a mediados de los años 40's, estos modelos son, en esencia, la expresión dinámica de una tabla de vida (Caswell 1978) e incorporan las probabilidades de sobrevivencia, crecimiento y reproducción específicos para cada categoría o subgrupo reconocido al interior de la población (Granados y López, 2001). Existen diferentes tipos de modelos matriciales de proyección poblacional asociados a la forma en que se clasifican a los individuos, ya sea por su edad (matriz de Leslie), su tamaño o estadio (matriz de Lefkovich) (Lefkovich, 1965) o su edad y su tamaño simultáneamente (matriz de Goodman) (Silvertown y Lovett-Doust, 1993; Begon *et al.*, 1996). En la mayoría de las plantas la fecundidad, la sobrevivencia y crecimiento están relacionados más cercanamente con la talla o estadio que con la edad, las matrices de Lefkovich resultan las mas apropiadas para estudiar poblaciones vegetales (Menges, 1990; Franco, 1990; Silvertown *et al.*, 1993). Los modelos matriciales se usan para proyectar a futuro las consecuencias del escenario demográfico actual, la demografía de las especies de plantas varia en tiempo y en espacio (Horvitz y Schemske 1995; Quintana-Ascencio y Menges 1996; Valverde y Silvertown 1998; Mandujano *et al.*, 2001).

El modelo matricial básico de proyección poblacional esta representado por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{N}_{t+1} = \mathbf{A} \mathbf{N}_t$$

Donde \mathbf{n}_t es un vector que contiene el número de individuos de cada categoría al tiempo t , A es una matriz cuadrada no negativa que describe las probabilidades de

transición de los individuos en cada clase y n_{t+1} es un vector que describe la estructura de la población en el tiempo $t+1$. Cada entrada de la matriz se define como la contribución o transición de los individuos de la clase 1 a la categoría 4 en el periodo de tiempo considerado (entre t y $t+1$) (Caswell 1989; Silvertown y Lovett-Doust 1993; Begon *et al.*, 1996). El modelo general de la matriz determina el tamaño de la población después de un intervalo de tiempo, el cuál es igual al producto de la matriz A por el vector n_t (Morris *et al.*, 1999; Caswell, 2001).

Para poder entender los métodos matriciales de proyección poblacional es necesario tener clara la correspondencia existente entre la gráfica del ciclo de vida del organismo en estudio (Figura 2) y su matriz de proyección poblacional (Fig. 3). Un ciclo de vida puede ser descrito con la gráfica del ciclo de vida (Caswell, 1989; Benton y Grant, 1999), dicho gráfico estructura a los individuos de la población en categorías de tamaño para el caso de plantas y tiene que describir adecuada y detalladamente la demografía de la especie de la población analizada para poder usar un modelo considerando ciertos supuestos (Picó, 2002; Brigham y Thomson, 2003).

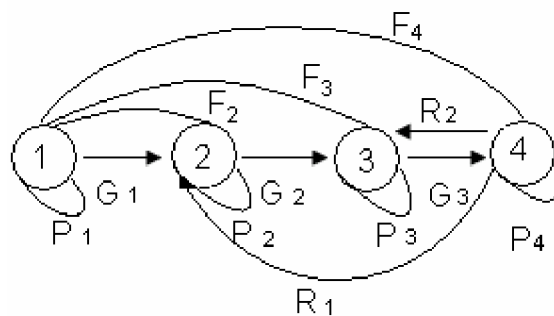


Figura 2. Gráfica del ciclo de vida de un organismo hipotético

En la figura 2 los círculos corresponden a cada una de las categorías del ciclo de vida y las flechas son las posibles formas de transiciones entre una categoría y otra, donde G se refiere al crecimiento o paso a una categoría superior, P a la

permanencia de la misma categoría o G la regresión a categorías inferiores y F a la fecundidad y R a la retrogresión. Una vez que se han determinado las categorías y se tiene clara la gráfica del ciclo de vida del organismo en estudio, es posible construir la matriz de transiciones y fecundidades.

$$\begin{array}{c}
 \text{A} \\
 \text{LA CLASE}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 1 \\
 2 \\
 3 \\
 4
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{DE LA CLASE} \\
 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4
 \end{array}
 \left(\begin{array}{cccc}
 \mathbf{a}_{11} & \mathbf{a}_{12} & \mathbf{a}_{13} & \mathbf{a}_{14} \\
 \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{22} & \mathbf{a}_{23} & \mathbf{a}_{24} \\
 \mathbf{a}_{31} & \mathbf{a}_{32} & \mathbf{a}_{33} & \mathbf{a}_{34} \\
 \mathbf{a}_{41} & \mathbf{a}_{42} & \mathbf{a}_{43} & \mathbf{a}_{44}
 \end{array} \right)$$

Figura 3. Matriz que contiene construida a partir del ciclo de vida

La Figura 3 muestra la matriz construida a partir del ciclo de vida de figura 2. Para construir la matriz de proyección es necesario transformar los datos crudos en índices vitales para cada categoría especificada e incorporarlos a un formato de matriz. Este tipo de matrices de proyección son cuadradas y no negativas (Caswell, 2001).

Una matriz de esta naturaleza posee propiedades matemáticas que corresponden con algunos parámetros poblacionales de la población que representan. Estas propiedades son la tasa de crecimiento poblacional (λ), la estructura estable de edades o tamaños y la distribución del valor reproductivo (Caswell 1989). Estos tres estadísticos se obtienen mediante la iteración continuada de la matriz A (Caswell, 2001). La tasa de crecimiento poblacional o λ , se define como el eigenvalor dominante (es decir, el de mayor valor) de la matriz y en términos demográficos se relaciona con el parámetro malthusiano r o tasa intrínseca de crecimiento, de la siguiente manera:

$$r = \ln \lambda$$

Si $\lambda = 1$ entonces se puede suponer que la población está estable, si $\lambda > 1$ la población está creciendo y si $\lambda < 1$ la población decrece. El valor de λ es real única y exclusivamente para el año en el cual se tomaron los datos. Dado el fuerte carácter determinista de λ (se asume en modelos deterministas que las condiciones ambientales no varían en el tiempo) y el error intrínseco de todo muestreo, es preferible estimar siempre sus intervalos de confianza (Picó, 2002).

Cada entrada de la matriz (a_{ij}) tiene dos subíndices, el primero indica su fila y el segundo su columna en la matriz. Una entrada corresponde al índice anual de la transición de la clase indicada por la columna a la clase indicada por la fila (Morris *et al.*, 1999; Picó, 2002). Las entradas corresponden a dos tipos de datos. Por una parte, la fecundidad promedio de todos los individuos de cada categoría durante el mismo intervalo de tiempo, las cuales se localizan en la primera fila de la matriz por que ellas representan la contribución de las clases de adultos a la clase de semillas (si forman bancos de semillas) o plántulas, que por convención es la número 1.

En un ambiente en condiciones constantes, la proporción de individuos de las diferentes Categorías de tamaño de la población tienden a una distribución estable; la estructura estable de categorías o eigenvector derecho se puede obtener iterando la matriz (multiplicándola por un vector, y posteriormente por los vectores que vayan resultando de las multiplicaciones anteriores) y se alcanza cuando las iteraciones de la matriz son suficientes para que los valores internos de este vector se estabilicen; correspondiendo al eigenvalor derecho o w de la matriz (Caswell, 2001). Por otro lado Es decir, multiplicar la matriz por el vector w es equivalente a multiplicar el vector por una escalar, siendo dicha escalar la tasa de crecimiento poblacional (λ).

El valor reproductivo se obtiene de iteraciones de la matriz transpuesta y se define como el eigenvalor izquierdo, o v de la matriz. Este valor estima la contribución reproductiva esperada de cada categoría de tamaño para el crecimiento de la población (Caswell, 2001). El vector del valor reproductivo (v) o eigenvector izquierdo, cumple con la siguiente condición:

$$v' \times A = \lambda \times v'$$

Donde v' es el vector transpuesto de v y A es la matriz

La tasa de crecimiento poblacional (λ) es función de las diferentes entradas de la matriz (a_{ij}). Sin embargo no todas las a_{ij} tienen la misma influencia sobre λ por lo que resulta interesante poder predecir que forma cambiaría λ si cada entrada particular de la matriz se altera, suponiendo por ejemplo que los individuos podrían reproducirse prematuramente o que la fecundidad podría duplicarse. Este tipo de análisis es conocido como análisis de perturbación (Larson 1992; Benton y Grant, 1999), y consiste en “perturbar” las entradas de la matriz y medir el efecto que esto tiene sobre λ , e incluso sobre los eigen-vectores derecho e izquierdo.

A la fecha se han desarrollado dos análisis de perturbación que miden el efecto sobre λ ; análisis de sensibilidad y el análisis de elasticidad (Benton y Grant, 1999). El análisis de sensibilidad, evalúa el impacto que tendría sobre λ , el realizar pequeños cambios absolutos de igual magnitud en cada una de las entradas de la matriz (de Kroon *et al.*, 1986; Caswell 1989; Larson 1992; Silvertown y Lovett-Doust 1993; Valverde 1995; Begon *et al.*, 1996; Benton y Grant, 1999). Por ejemplo si un cambio pequeño en la sobrevivencia de juveniles tiene efectos notables sobre el crecimiento poblacional, la sobrevivencia de los juveniles puede ser el objetivo de los esfuerzos de conservación (en las especies en riesgo) o control (si la especie es un insecto nocivo). Por el contrario si un cambio en la sobrevivencia de juveniles tiene los efectos mínimos sobre el crecimiento poblacional, esto indicaría que la sobrevivencia de juveniles no sería el foco de los

esfuerzos de conservación, pero en cambio que los juveniles pueden ser aprovechados sustentablemente (Benton y Grant, 1999).

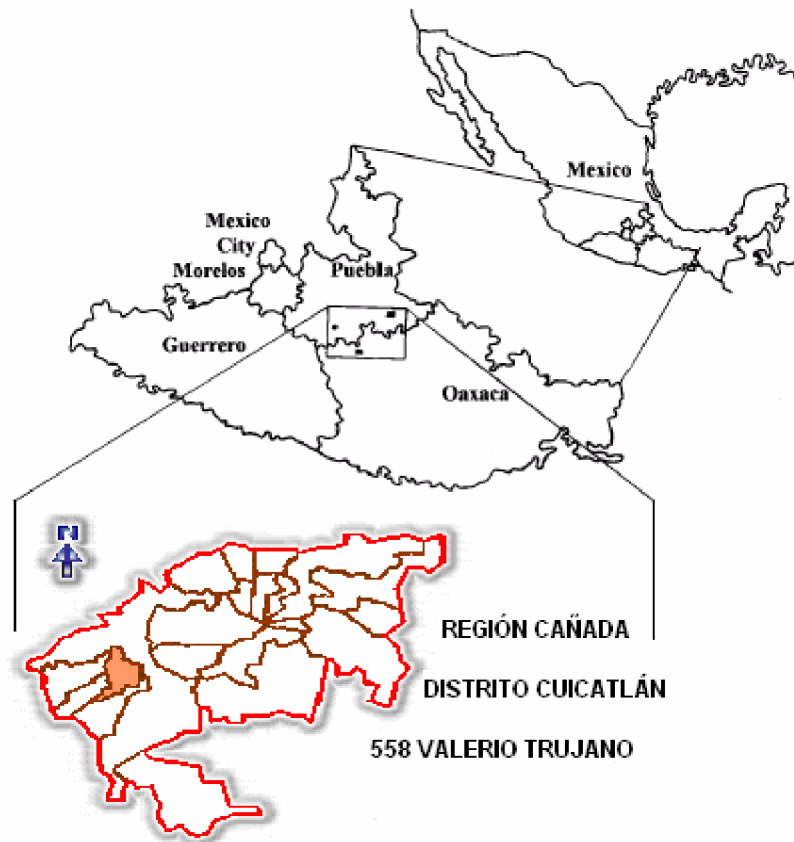
A partir de este tipo de análisis es posible medir la importancia de los diferentes parámetros demográficos en el crecimiento poblacional (λ); evaluar los efectos de cierto tipo de perturbaciones ambientales sobre el crecimiento de la población, evaluar las consecuencias de los errores de estimación, evaluar estrategias alternativas de manejo y predecir la intensidad de la selección natural (Caswell 1989). Un problema de interpretación consiste en que es posible tener un valor muy alto, en donde pequeños cambios absolutos en a_{12} provocarían fuertes cambios en λ , pero no miden la contribución real a λ ; como ejemplo tenemos: el caso de transiciones que no contienen un sentido biológico y que en realidad son igual a cero (De Kroon *et al.*, 1986, Caswell 1989).

Para enfrentar estos problemas De Kroon *et al.*, (1989) introducen el concepto de elasticidad, que es una medida de sensibilidad proporcional. El análisis de elasticidad estima los efectos de un cambio proporcional en las categorías vitales (i. e. sobrevivencia, crecimiento o reproducción) sobre el crecimiento proporcional. La elasticidad nos permite realizar estudios demográficos comparativos (Silvertown *et al.*, 1993).

Las simulaciones numéricas son usadas para explorar cómo cambian específicamente los parámetros demográficos que tienen influencia en el crecimiento de la población (Valverde *et al.*, 2006). Los análisis de viabilidad poblacional están considerados como una extensión de los estudios demográficos y tienen por objeto evaluar las probabilidades de que una especie permanezca en cierto lugar por un tiempo determinado (Menges 1992; Boyce 1992), tomando en cuenta tanto sus características poblacionales como las tendencias de fragmentación, deterioro y pérdida de hábitat del sitio en cuestión (Primack 1993).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS



<http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/municipios/mapas>

Figura 4. Localización del Sitio del municipio de Valerio Trujano, Cuicatlán, Oaxaca

3.1. Sitio de estudio.

La población de *Mammillaria dixanthocentron* se localiza en el municipio de Valerio Trujano, Cuicatlán, Oaxaca. Limita al norte con el municipio o agencia de Guadalupe los Obos, al sur con los pueblos de San Pedro Jaltepetongo y San José Chilar, al oriente con el Distrito de Cuicatlán, al poniente con los pueblos de San Pedro Jocotipac y Santa María Texcatitlán. Su distancia aproximada es de 120 kilómetros de carretera pavimentada a la capital del estado de Oaxaca y se

encuentra en la reserva de la Biósfera Tehuacan- Cuicatlán, el sitio de estudio está ubicado a una altitud de 1060 msnm.

Las cordilleras de cerros que se localizan en este municipio están en la parte sur, y en la parte norte las cuales son denominadas: la Cuesta, La Guadalupe, El Palo Solo, La Piedra de la Letra, formando parte de la Sierra Madre Occidental (Reyes *et al.*, 2004).

En Cuicatlán se presentan suelos del tipo luvisol vértico, caracterizados por ser arcillosos con propiedades vérticas, que presentan el 30 % o más de arcilla en todos los horizontes a menos 50 cm. en la superficie, pueden llegar a formar grietas de 1 cm de ancho y 5 cm de profundidad (Reyes *et al.*, 2004).

Existen varios ríos que nutren al Valle de Cuicatlán, como el río Apoala cuyo nacimiento está en la población que le da su nombre, y abastece a este municipio de agua para el consumo de los habitantes; el río Tomellín, su nacimiento en la población de las Sedas, el río Grande o Papaloapan, su nacimiento está en la sierra de Ixtlán. Tanto el río Apoala como el río Tomellín se unen en el río Grande hasta llegar al río Papaloapan. El río la Venta nace a la altura de Tonaltepec y arroyos cercanos a Santiago Nacaltepec y Santiago Ixtlahuaca, forma un gran cañón en dirección a Santiago Domingullo en donde se une al río “Las Vueltas” (Reyes *et al.*, 2004).

La Región de Cuicatlán es considerada una zona semiárida debido a su baja precipitación pluvial (Reyes *et al.*, 2004). Según los registros de las estaciones climatológicas, Cuicatlán tiene una temperatura media anual de 25.1 °C y

precipitación pluvial de 513.2 mm, en la siguiente gráfica (Fig. 5), se muestra el reporte de la estación climatologica (García, 1981).

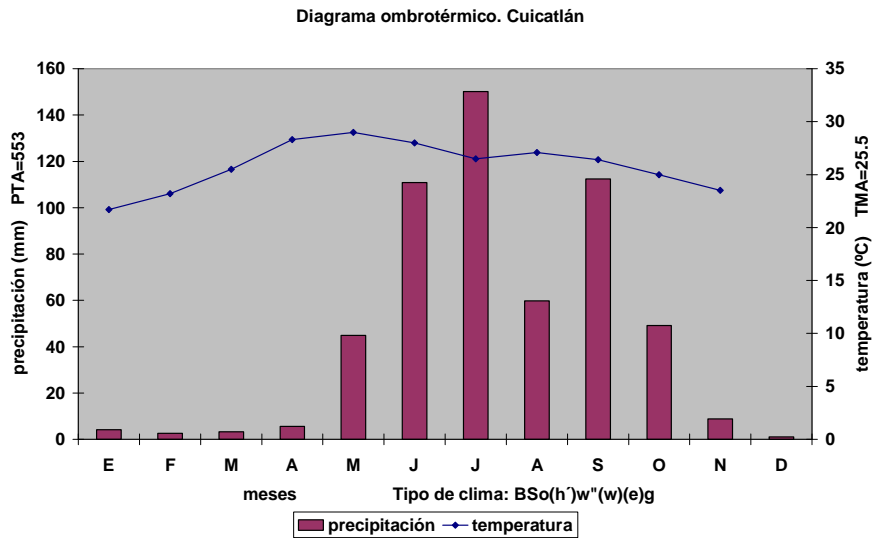


Figura 5. Diagrama ombrotérmico de Cuicatlán

El clima es seco donde la evaporización excede a la precipitación, corresponde a $Bs_0(h)w(w)(e)gw''$, los meses más fríos son en diciembre y enero con temperatura promedio cercana a los $21^{\circ} C$, el mes más cálido es mayo con temperatura media de $26.9^{\circ}C$. El régimen de lluvias es en verano, y la canícula se presenta en julio y agosto.

3.2. Trabajo de campo y laboratorio

El presente estudio se realizó en cuatro fases, las cuales consistieron en montar experimentos de germinación, caracterizar el sitio de establecimiento de la especie, experimentos de sobrevivencia de plántulas y el análisis demográfico de *Mammillaria dixanthocentron*.

3.2.1. Pruebas de germinación

En febrero de 2006 se colectaron 45 frutos maduros en campo. Una vez obtenidos los frutos se procedió a la extracción de las semillas en laboratorio (con la ayuda de una aguja de disección); las semillas se colocaron en hojas de papel absorbente para quitar el exceso de pulpa. Se contabilizó en número de semillas por fruto y finalmente previo etiquetado, se guardaron en cajas petrí en oscuridad y a temperatura ambiente, durante un mes con la finalidad de evitar que se desencadene el proceso de germinación y el rompimiento de la latencia.

3.2.2. Experimentos de germinación en laboratorio

Se colocaron lotes de 20 semillas en cajas de petrí (previamente esterilizadas con hipoclorito de sodio al 10% y lavadas con agua destilada) en tres tipos de sustrato y tres condiciones de iluminación; el número de repeticiones se mencionan en el cuadro 1. Se utilizaron siete tratamientos a) Papel filtro en la cámara de crecimiento con un foto periodo de 12:12h b) Papel filtro con luz solar directa; c) Papel filtro en oscuridad (la condición de oscuridad se dio envolviendo las cajas petrí en papel aluminio); d) Arena en cámara de crecimiento (12: 12h); e) Arena en luz solar directa; f) Suelo de la zona de estudio en la cámara de crecimiento (12: 12h); g) Suelo de la zona de estudio en luz solar directa (cuadro 1). Todos los tratamientos permanecieron en humedad constante.

Cuadro 1. Tratamientos de germinación en laboratorio

Luz	Sustrato	Repeticiones
Cámara germinadora (Luz difusa 12:12 h)	Papel Filtro	5 repeticiones
	Arena	10 repeticiones
	Suelo (sitio de estudio)	10 repeticiones
Luz solar directa	Papel Filtro	5 repeticiones
	Arena	5 repeticiones
	Suelo (sitio de estudio)	5 repeticiones
Oscuridad	Papel filtro	3 repeticiones

Las cajas de Petrí se revisaron diariamente durante 42 días, se cuantificó el número de semillas germinadas (radícula visible) y se calculó el porcentaje de germinación. Para determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes totales de germinación se empleo el análisis de varianza de una vía mediante un paquete estadístico JUMP Versión 5 – Windows (2002). Los datos fueron previamente normalizados (se les determinó el arcoseno), esta forma de normalización es similar a la utilizada por Godínez- Álvarez y Valiente-Banuet (1998); Valverde *et al.*, (2004); Ramírez-Padilla y Valverde (2005), y se realizó la prueba de Tukey para determinar los grupos formados por los tratamientos y las diferencias entre estos.

3.2.3 Supervivencia de plántulas

Los experimentos de supervivencia de plántulas se realizaron en el Jardín Botánico Regional “Cassiano Conzatti”, ante distintas condiciones ambientales: con tres niveles de radiación solar y dos tipos de sustrato. Las unidades experimentales fueron cajas de Petrí con 20 plántulas en arena o suelo del sitio de estudio. Las plántulas se obtuvieron de los experimentos de germinación en el laboratorio (bajo condiciones controladas). Tanto la arena como el suelo del sitio de estudio que se utilizó en estos experimentos fueron previamente homogeneizados y esterilizado en autoclave. En todos los tratamientos se realizaron 5 repeticiones.

Estos tratamientos fueron protegidos de los depredadores con una cerca techada de malla metálica (contra aves, reptiles grandes y roedores), así como la aplicación de insecticida en polvo alrededor de la malla (contra insectos granívoros), todos los tratamientos tuvieron riego semanal durante el transcurso del experimento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos de sobrevivencia ex situ

Luz	Sustrato
Radiación solar directa	Arena Suelo (sitio de estudio)
Sombra de arbustos	Arena Suelo (sitio de estudio)
Vivero	Arena Suelo (sitio de estudio)

Las unidades experimentales se revisaron cada semana durante cuatro meses, contabilizándose el número de plántulas sobrevivientes por tratamiento; se elaboraron gráficas de tiempo vs número de plántulas sobrevivientes. Para el análisis numérico se utilizó un modelo lineal generalizado; la variable dependiente fue el logaritmo natural del total de plántulas sobrevivientes en un tiempo determinado; la variable independiente fue el tiempo en semanas (t), se determinó a que tipo de curva de sobrevivencia se ajustaba el comportamiento de los datos en esta especie, de acuerdo a la clasificación propuesta por Pearl 1928, en Flores-Martínez, 1995.

Si la tasa de mortalidad es constante (curva tipo II), el coeficiente a (ordenada al origen del modelo) será el logaritmo del número inicial de plántulas al tiempo inicial t_0 y el coeficiente b (pendiente de la curva) será la tasa de mortalidad.

$$\text{Si } \underline{a} = \ln n_0$$

Entonces: $\ln n_t = \underline{a} - \underline{b}t$

Si la tasa de mortalidad variase con el tiempo, se requiere añadir un coeficiente c, cuyo significado determina si la mortalidad disminuye con el tiempo ($c > 0$, curva de sobrevivencia tipo III) o aumenta ($c < 0$ curva de sobrevivencia tipo I); además, el valor del coeficiente c, nos describiría el comportamiento de la tasa de mortalidad

y de la intensidad con que dicha mortalidad cambia con el tiempo (grado de curvatura) (Flores-Martínez, 1995). Los coeficientes a y b tienen el significado antes mencionado:

$$\ln nt = \underline{a} - \underline{b}t + \underline{c}t^2$$

El programa de computación utilizado para determinar el valor de los coeficientes fue JUMP Versión 5-Windows. Una vez determinados los valores se hizo una comparación gráfica de los coeficientes a, b y c entre los distintos tratamientos.

3.2.4 Características de los sitios de establecimiento.

Se realizaron recorridos de campo a la zona de estudio a los lugares reportados en los herbarios y la literatura con presencia de la especie (visita de reconocimiento), para cotejar la existencia de la misma, y elegir el sitio de muestreo permanente de la especie.

Para la determinación de las condiciones generales de la zona, se tomaron los datos de tipo de vegetación, principales especies acompañantes, en el aspecto abiótico la altitud, pendiente, orientación y los registros de la estación meteorológica cercana.

3.2.5 Estudios poblacionales

En Febrero del 2006 se estableció un sitio de muestreo permanente de *Mammillaria dixanthocentron*, que consistió en un cuadro de 120 m², se tomaron las coordenadas x, y, se ubicaron todos los individuos en este sitio a los cuales se tomaron los siguientes datos: Diámetro y altura de la planta con la ayuda de un vernier, si presentaba flor o flores y frutos. Fueron etiquetados 221 individuos con una pequeña lámina plástica y marcada con pintura indeleble sujeta por alambre recocido a la base del tallo. En febrero de 2007 se volvieron a tomar los datos

mencionados anteriormente. Los individuos mapeados se ubicaron en distintas categorías de tamaños tomando en cuenta la altura total de éstos. Se mapearon los arbustos acompañantes y se tomaron los diámetros de estos para determinar su cobertura. La comparación estadística de las estructuras poblacionales entre estos muestreos se realizó mediante la prueba de Ji-cuadrada.

3.2.5.1 Distribución espacial de los individuos

Se marcaron cuadros de distintas medidas (2x3 m, 5x3 m y 5x2 m), para eliminar el efecto del tamaño del cuadro. El tipo de distribución espacial fue obtenido con la relación Varianza/media, de la frecuencia del número de individuos en función de los diferentes tamaños de cuadros.

En cada tamaño de cuadro se realizó la prueba de bondad de ajuste de Ji cuadrada (X^2) propuesta por Ludwing y Reynolds (1988) para determinar la significancia de la distribución espacial las reglas de decisión para esta prueba son:

- § Si el valor de X^2 calculado es mayor a los valores del rango esperado (alfa de 0.025-0.975) con n-1 grados de libertad, entonces la distribución espacial es agregada.
- § Si el valor de X^2 calculado entra en los valores del rango esperado (alfa de 0.025-0.975) con n-1 grados de libertad, entonces la distribución espacial es al azar.
- § Si el valor de X^2 calculado es menor a los valores del rango esperado (alfa de 0.025-0.975) con n-1 grados de libertad, entonces la distribución espacial es uniforme.

3.2.5.2 Asociación entre especies

Para determinar la asociación entre especies se consideró el número de cuadrantes donde ocurre la especie A (*Mammillaria dixanthocentron*), el número de cuadrantes donde aparece la especie B (las especies arbustivas con mayor frecuencia) y sus respectivas combinaciones (número de cuadrantes donde no aparece ninguna de las dos especies).

Cuadro 3. Asociación entre especies

Especie A		Especie B		
		Presente	Ausente	
Presente	a	b	a+b	
Ausente	c	d	c+d	
	a+c	b+d	n	

La proporción de cuadrantes con presencia de las dos especies presentes se obtuvo de X^2 (Ji-cuadrada) mediante la siguiente fórmula:

$$X^2 = \frac{(ad - bc)^2 n}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)}$$

Si el valor de los resultados es mayor al valor de X^2 en tablas con un grado de libertad y $\alpha = 0.05$, se concluye que hay asociación positiva entre las dos especies.

Si existe la posible asociación positiva en este caso le llamaremos nodricismo. Se tomó en cuenta el nodricismo clásico, donde las plantas crecen bajo arbustos, y el nodricismo abiótico, donde la asociación es con piedras (Peters y Martorell, 2001).

3.2.5.3 Análisis demográfico

El estudio demográfico se realizó mediante el uso de un modelo matricial de proyección poblacional de Lefkovitch, para lo cual se categorizó a los individuos de la población (categorías de tamaño) tomando en cuenta la altura de los individuos.

Plántula: Para ésta categoría se consideró la suma de la fecundidad de las tres categorías reproductivas, ya que en el periodo de estudio no se observaron plántulas en el sitio donde se distribuye la especie.

Juvenil: En ésta categoría se consideraron a todos los individuos pequeños con altura de 0.1 a 4 cm

Adulto 1: Se consideran en ésta categoría a todos los individuos con altura mayor a 4 hasta 6 cm

Adulto 2: Son individuos con altura mayor a 6 cm y hasta 8 cm

Adulto 3: Para ésta categoría se consideraron los individuos mayores a 8 cm

Con estos datos se construyó un cuadro (matriz) de frecuencias, y con los porcentajes del número de individuos que estaban en la categoría 1 en el tiempo t , y pasaron a la categoría 2 inmediata superior (crecieron), o inferior (retrogresión) o permanecieron en la misma categoría (sobrevivieron) al tiempo $t+1$. Estos valores se obtienen directamente del cuadro de frecuencias y constituyen las probabilidades de transición (permanencia, crecimiento y retrogresión) que forman una parte de la matriz de proyección poblacional (A).

La fecundidad es el número promedio de descendientes producidos por individuo durante la temporada de reproducción (Valverde, 1995). Para estimarla se calculó el número promedio de frutos por individuo de cada categoría en donde se encontraran individuos reproductivos (con o sin frutos), después se determino el

número promedio de semillas por fruto en cada categoría, con esto se obtiene el número de semillas promedio por individuo por categoría, a este dato se multiplica por el porcentaje de germinación en laboratorio, con esto se obtuvieron los valores de las entradas de fecundidad para cada categoría reproductiva.

Para estimar el tamaño de la población al tiempo $t+1$, el vector \mathbf{n} representa el número de individuos en cada estadio al tiempo t , y al multiplicarlo por la matriz \mathbf{A} nos indica el tamaño de la población en el tiempo $t+1$:

$$\mathbf{n}_{(t+1)} = \mathbf{A} \mathbf{n}_{(t)}$$

Una vez construida la matriz de transiciones (valores de sobrevivencia y fecundidad) se obtuvo la tasa de crecimiento poblacional (λ) o tasa finita de crecimiento de la población, el vector de la estructura estable de tamaños (\mathbf{w}) y el valor de productivo específico por categoría (v).

λ es igual al eigenvalor dominante de la matriz \mathbf{A} . Este eigenvalor o lambda es igual a e^r , donde r es la tasa intrínseca del incremento poblacional. Si se supone un ambiente constante, la proporción de individuos de los diferentes estadios de la población tienen hacia una distribución estable de edades o tamaños. A la matriz \mathbf{A} se le calculó también su eigenvector derecho (\mathbf{w}), que representa la distribución estable de edades o tamaños de la población:

$$\mathbf{A} \mathbf{w} = \lambda \mathbf{w}$$

El valor reproductivo de cada estadio está dado por los elementos del eigenvector izquierdo (\mathbf{v}), que se calcula empleando la matriz transpuesta, y estos valores

reproductivos nos darán una estimación de la posible contribución reproductiva de cada estadio al crecimiento poblacional.

La estimación de las entradas individuales de la matriz a partir de los datos tomados en campo implica la existencia de errores asociados, puesto que λ esta calculada en función de estas entradas donde hay cierta incertidumbre asociada a lambda estimada (Valverde, 1995), por ello se estima el intervalo de confianza para la tasa decrecimiento poblacional. Este intervalo se calculo asumiendo que la varianza tiene una distribución normal (Caswell, 1989).

Una vez conocida la tasa de crecimiento de la población (si la población está disminuyendo, creciendo o está estable), es muy importante identificar los estadios del ciclo de vida que más contribuyen a la dinámica de la población; para éstos se realizó análisis de sensibilidad y elasticidad, que nos indican que tan sensible es la tasa de crecimiento poblacional a cambios en los parámetros demográficos (entradas de la matriz A). La sensibilidad se calculó directamente de los eigenvectores w y v , para obtener una matriz nueva S, que contiene las sensibilidades (Caswell, 1978 en Martínez Mendoza, 2003). La elasticidad mide los cambios producidos en λ originados por cambios proporcionales en cada uno de los coeficientes de la matriz y se expresa en una nueva matriz de elasticidades, esto es dividiendo cada una de las entradas de la matriz original (a_{ij}) entre λ , y después multiplicando este resultado por la entrada correspondiente de la matriz de sensibilidades (s_{ij}).

Los análisis de perturbación permiten estimar de que forma cambiará la tasa de crecimiento poblacional si algunas de las entradas de la matriz se alteraran debido a cambios ambientales, o en respuestas a regimenes específicos de manejo protección o explotación (Esparza-Olguin, 1998).

En este trabajo se realizó el análisis de perturbación con el objeto de simular diferentes escenarios de manejo y evaluar su impacto sobre la población, se hicieron modificando, con base en los resultados de análisis de sensibilidad y elasticidad, las entradas de fecundidad y sobrevivencia de las plántulas. Los efectos de cambiar las entradas de fecundidad y establecimientos de plántulas se analizaron por un lado de manera independiente y por otro combinada, primero se analizó como afecta la reducción del número de semillas a λ (al reducir el número de semillas se reduce la fecundidad) tomando en cuenta que se adiciona el factor depredación, si se reduce el número de semillas hasta el 10 % suponiendo que las semillas que se obtuvieron en campo son depredadas y que solo el 5 % de las semillas sobrevivieran; segundo se realizaron modificaciones en las entradas de sobrevivencia de plántulas, para el caso de que la sobrevivencia de plántulas fuese mucho menor que la reportada por el presente estudio (sobrevivencia de 20%, 10% y 5% y por último la combinación de reducción de las semillas hasta el 10% y la sobrevivencia de plántulas también al 10%.

CAPITULO IV RESULTADOS

4.1. GERMINACIÓN

El porcentaje de germinación promedio fue de 88% a nivel laboratorio. Los tratamientos en cámara germinadora presentaron porcentajes superiores al 90% y los tratamientos bajo el dosel de arbustos superiores al 60 % (Figura 6). Las semillas de *Mammillaria dixanthocentron* son fotoblásticas positivas debido al nulo porcentaje de germinación en las semillas sembradas en oscuridad.

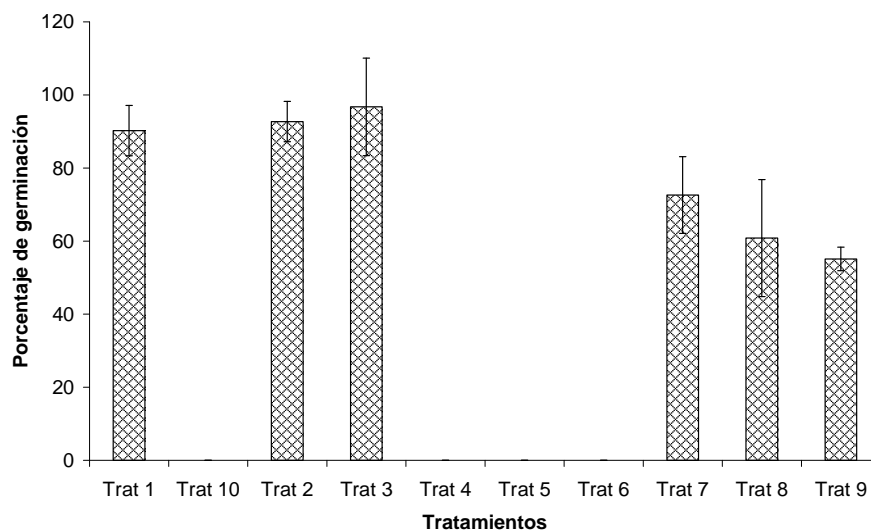


Figura 6. Tratamientos en laboratorio; Trat 1=Arena cámara germinadora, Trat 2= Tierra cámara germinadora, Trat 3= papel filtro cámara germinadora, Trat 4= Arena luz directa, Trat 5= Tierra luz directa, Trat 6= Papel filtro luz directa, Trat 7= Arena bajo el dosel de arbustos, Trat 8= Tierra bajo el dosel de arbustos, Trat 9= Papel filtro bajo el dosel de arbustos y Trat 10= Papel filtro oscuridad. La línea que se encuentra por encima de las barras representa el error de la media de cada tratamiento.

El análisis de varianza indica que existe diferencias estadísticamente significativas entre la proporción de semillas que germinaron en la cámara de crecimiento (Arena $\bar{x} = 90.23 \pm 0.05671$, Tierra $\bar{x} = 92.71 \pm 0.05978$, Papel filtro $\bar{x} = 93.73 \pm 0.10354$), bajo el dosel de arbustos (Arena $\bar{x} = 72.59 \pm 0.0802$, Tierra $\bar{x} = 60.82 \pm$

0.0802 y papel filtro \bar{x} 55.11 \pm 0.0802) y los tratamientos con luz solar directa y oscuridad en donde no se presentó germinación ($F_{9,47}=51.008$; $P<0.0001$).

Con la prueba de Tukey se forman cinco grupos, dos de ellos se traslapan y por lo tanto solo tres se encuentran bien diferenciados: el primero (tratamiento tierra y papel filtro en la cámara de crecimiento), el segundo (Tierra y papel filtro bajo el dosel de arbustos), y por último el tercer grupo (Papel filtro oscuridad, Arena, Tierra y papel filtro con irradiación solar directa). Se forman dos grandes grupos y con diferencias bien marcadas; el primero formado por los tratamientos en donde la incidencia de luz fue directa o bien no hubo luz (oscuridad); el segundo grupo formado por tratamientos bajo luz difusa en la cámara de crecimiento con los del dosel de arbustos.

El análisis de Varianza para determinar posibles diferencias dentro del grupo de luz difusa y la cámara de crecimiento, indica que sí existe diferencia entre los tratamientos ($F_{5,37}=9.79$; $P<0.001$). La prueba de Tukey forma dos grupos: el primero con los tratamientos en la cámara de crecimiento, el segundo bajo el dosel de arbustos.

4.2 SOBREVIVENCIA DE PLÁNTULAS

Se obtuvo un promedio de 94% de sobrevivencia en un periodo de 4 meses. Cuando las plántulas fueron colocadas bajo sombra del dosel de arbustos se obtuvo 96.5%, en luz directa se obtuvo un 91.5 % y en el vivero fue de 96.5 %.

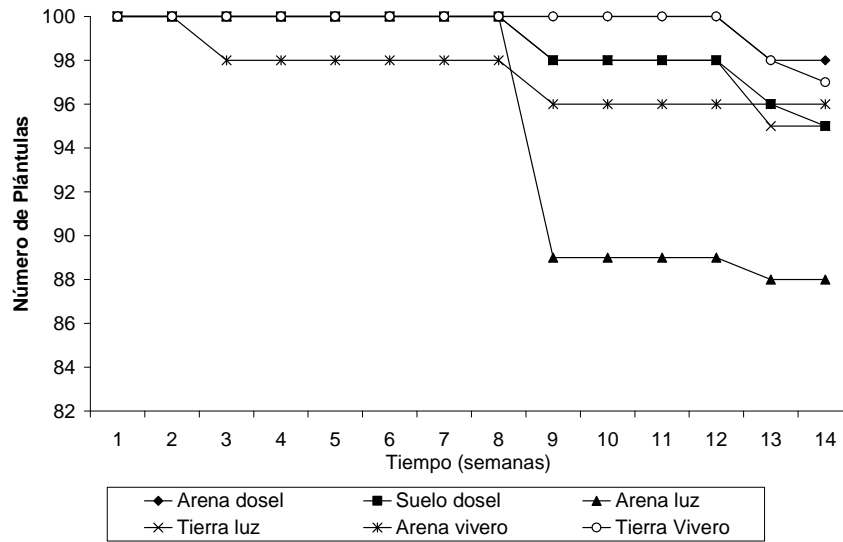


Figura 7. Numero de plántulas sobrevivientes.

La mortalidad más alta ocurrió durante la novena y doceava semana (Figura 7), después de estas la mortalidad fue mucho menor hasta alcanzar la estabilidad.

En la sobrevivencia considerando n_0 como el número de plántulas sembradas, el valor del coeficiente \underline{a} en los tratamientos: arena luz directa fue 4.66, en suelo del sitio de estudio luz directa 4.63, arena bajo el dosel de arbustos 4.61, suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos 4.63, arena colocado en vivero 4.60 y por último suelo del sitio de estudio en vivero 4.62. La comparación gráfica de los coeficientes \underline{a} (logaritmo del número inicial de plántulas) se observa en la Figura 8. En la que podemos observar que el tratamiento 1 y 5 se diferencian de los demás tratamientos.

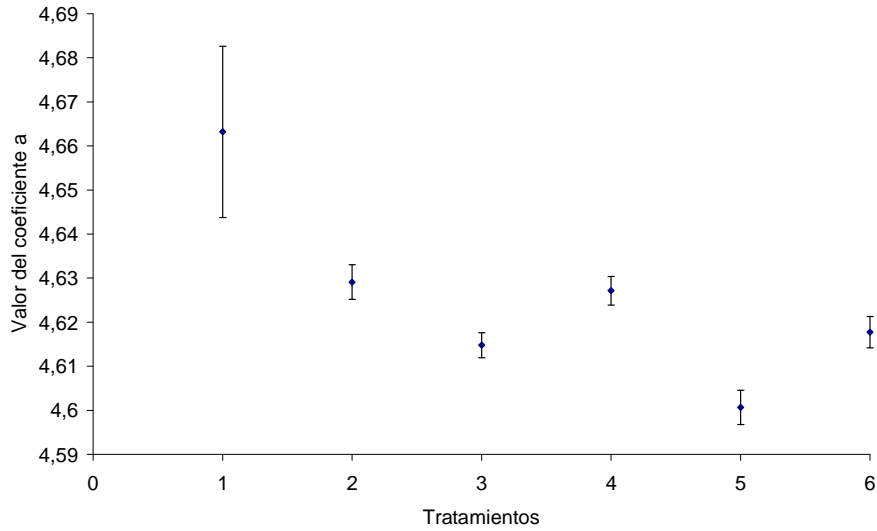


Figura 8. Valor estimado del coeficiente del número inicial de plántulas (a) en los diferentes tratamientos (1=Arena luz directa; 2= Suelo del sitio de estudio luz directa; 3=Arena bajo el dosel de arbusto; 4= Suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos; 5=Arena en vivero; 6= Tierra en vivero). Los valores están representados con puntos y las líneas representan el error de cada tratamiento.

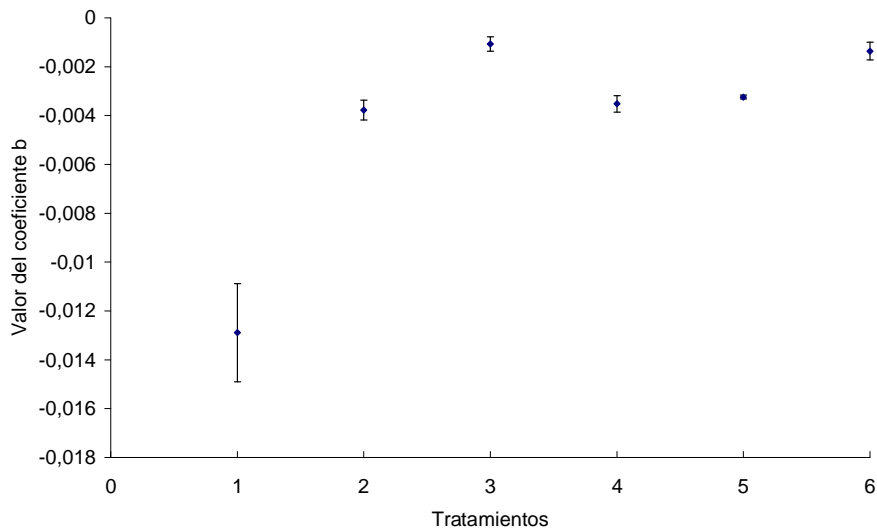


Figura 9. Valor estimado del coeficiente de la tasa de mortalidad (b) en los diferentes tratamientos (1=Arena luz directa; 2= Suelo del sitio de estudio luz directa; 3=Arena bajo el dosel de arbusto; 4= Suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos; 5=Arena en vivero; 6= Tierra en vivero). Los valores están representados con puntos y las líneas representan el error de cada tratamiento.

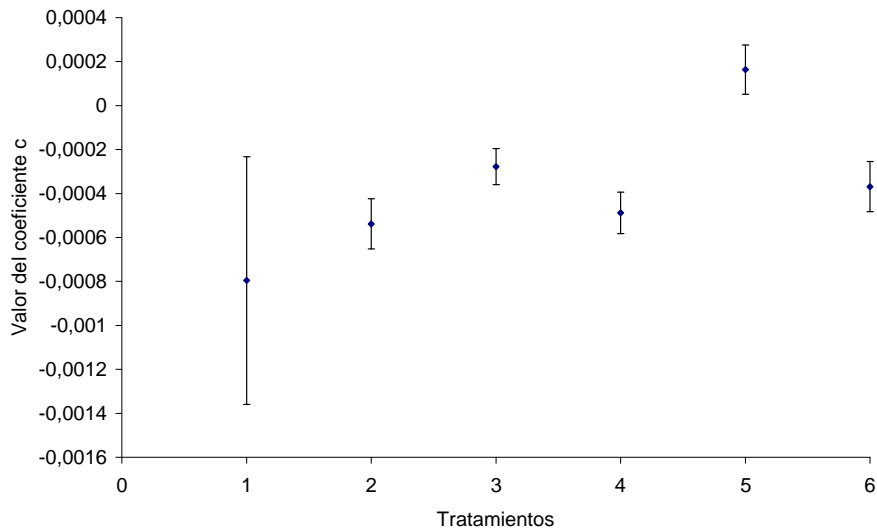


Figura 10: Valor estimado del coeficiente del grado de curvatura (c), comportamiento de la tasa de mortalidad con el tiempo en los diferentes tratamientos (1=Arena luz directa; 2= Suelo del sitio de estudio luz directa; 3=Arena bajo el dosel de arbusto; 4= Suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos; 5=Arena en vivero; 6= Tierra en vivero). Los valores están representados con puntos y las líneas representan el error de cada tratamiento.

La comparación gráfica de los coeficientes \underline{b} (tasa de mortalidad) se presentan en la Figura 9, en la que podemos observar que el valor del coeficiente b para cada tratamiento: arena luz directa, en suelo del sitio de estudio luz directa, arena bajo el dosel de arbustos, suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos, arena colocado en vivero y suelo del sitio de estudio en el vivero fue de -0.013, -0.0038, -0.001, -0.0035, -0.003, -0.001, respectivamente. En base a los intervalos de confianza el primer tratamiento es el que presenta diferencia con los demás tratamientos respecto al error del mismo.

La comparación gráfica de los coeficientes \underline{c} de los ajustes del modelo, se presentan en la Figura 10. En la gráfica se observa que para arena luz directa el valor de dicho coeficiente fue de -0.0008, en suelo del sitio de estudio luz directa -0.0005, arena bajo el dosel de arbustos -0.0003, suelo del sitio de estudio bajo el dosel de arbustos -0.0004, arena colocado en vivero 0.0002 y por último suelo del sitio de estudio en el vivero -0.0004. El tratamiento 5 es el único que presenta valor

positivo, por lo tanto los datos se ajustan a la curva de sobrevivencia tipo III y los demás tratamientos a la curva de sobrevivencia tipo I.

El análisis de sobrevivencia con el modelo lineal generalizado determinó que la curva de sobrevivencia para los tratamientos en donde la radiación solar fue de manera directa (arena: $\underline{a}=4.66$, $\underline{b}=-0.013$ y $\underline{c}=-0.0008$; Suelo: $\underline{a}=4.63$, $\underline{b}=-0.0038$ y $\underline{c}=-0.0005$), bajo el dosel de arbustos (arena: $\underline{a}=4.61$, $\underline{b}=-0.001$, $\underline{c}=-0.0002$; suelo: $\underline{a}=4.63$, $\underline{b}=-0.0035$ y $\underline{c}=-0.00048$), suelo del sitio de estudio en vivero ($\underline{a}=4.61$, $\underline{b}=-0.0013$, $\underline{c}=-0.0004$) es de Tipo I y arena en Vivero ($\underline{a}=4.60$, $\underline{b}=-0.0032$, $\underline{c}=-0.0002$) es de III, ya que no en todos los casos los coeficientes cuadráticos fueron negativos (mortalidad baja).

4.3. DEMOGRAFÍA

4.3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y DENSIDAD POBLACIONAL

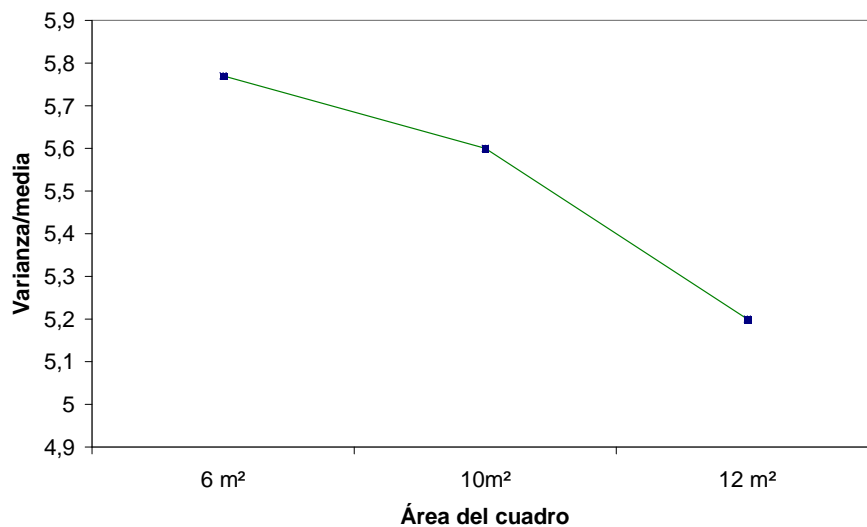


Figura 11. Relación varianza/media a diferente tamaño de cuadro

Mediante el análisis de la prueba de X^2 , los valores calculados no entran en el intervalo de confianza (cuadro 4), por lo que se presenta una distribución agregada en todos los tamaños de cuadro (Figura 11).

Cuadro 4. Área del cuadro, número de cuadros en los que subdividió el área total muestreada, la relación varianza/media y el valor de X^2 .

Área del cuadro	Número de cuadros	Relación Varianza/media	X^2	Intervalo de Confianza	
6 m ²	20	5.77	109.548	32.852	8.907
10 m ²	12	5.60	61.61	21.92	3.816
12 m ²	10	5.20	46.80	19.02	2.7

La densidad de individuos de *M. dixanthocentron* en el sitio de estudio fue de 10, 416 individuos/ha.

4.3.2. ASOCIACIÓN DE ESPECIES

M. dixanthocentron no se encuentra en asociación con ninguna especie vegetal (como efecto de planta “nodriza”) El análisis de asociación se realizó con *Myrtillocactus geometrizans*, *Bursera Morelensis*, *Opuntia pilifera*, *Cnidosculus tobulosos* y *Agave sp*; los índices de asociación son 2.25, 2.25, 2.25, 2.25 y 2.25 respectivamente, comparado con el valor de tablas $F=3.81$ tenemos que no existe asociación de la especie estudiada y las especies encontradas en el área de muestreo.

4.3.3. Estructura de la población

En la estructura poblacional de 2006, la proporción de individuos no reproductivos (plántulas y juveniles) fue de 48.94% y en el año 2007 de 37.55 %. Las categorías reproductivas (Adulto 1, Adulto 2 y Adulto 3) representaban en el 2006, el 19.83 %, 13.08 % y 18.14 % respectivamente y para el año 2007 éstas categorías tenían el 20.67 %, 14.64 %, 20.68 %, respectivamente. La categoría mejor representada en los dos años es la de juvenil (C2) (Figura 12).

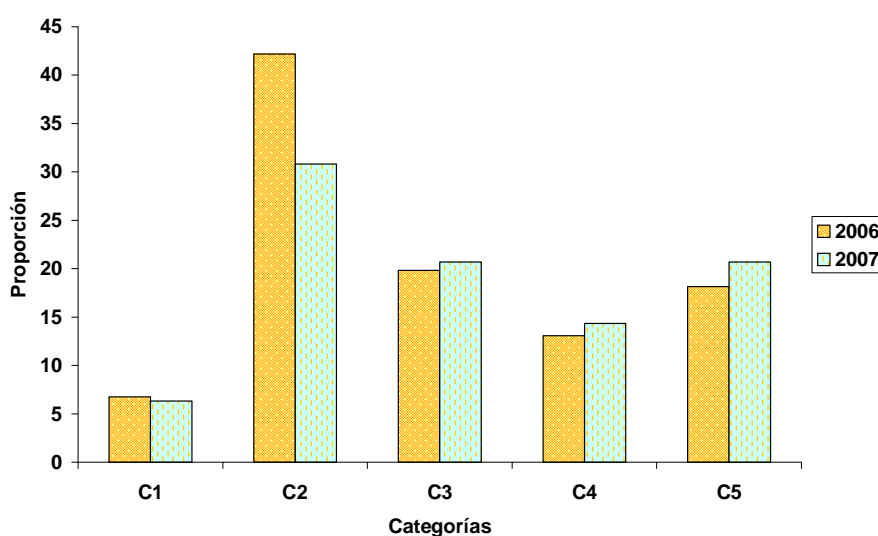


Figura 12. Estructura poblacional en campo en 2006 y 2007.

4.3.4. Análisis matricial

La mayor parte de los individuos permanecieron en la misma categoría y el crecimiento de los individuos generalmente fue a la categoría inmediata superior, con crecimiento poco significativo de la categoría de adulto 1 a adulto 3, bajos valores para la retrogresión en todas las categorías (excepto en la categoría de plántulas).

4.3.4.1. Fecundidad

Los individuos de *Mammillaria dixanthocentron* empiezan a reproducirse a 4.6 cm; las plantas en el ciclo anual estudiado produjeron entre 1 y tres frutos siendo el valor medio de 2 ± 0.746 frutos por planta. Tomando en cuenta todos los individuos reproductivos, la cantidad de semillas por fruto presenta grandes variaciones estando entre 11 y 80, siendo el número promedio de 26 ± 1.0345 semillas por fruto.

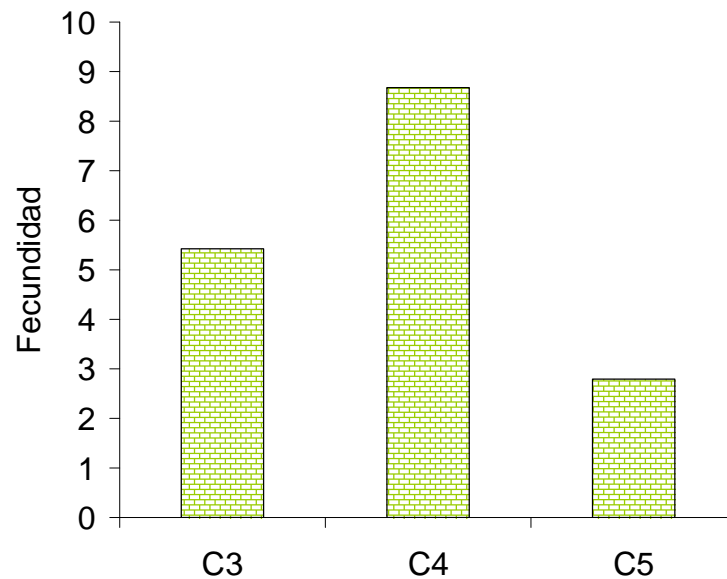


Figura 13. Fecundidad de las categorías reproductivas en la población de *Mammillaria dixanthocentron* en 2007.

Una vez determinado el número de frutos por categoría se calculó la fecundidad de los individuos de cada categoría adulta, los valores de fecundidad para las categorías reproductivas son: 5.54 para C3, 8.39 para la categoría C4 y 2.79 para la última categoría (Figura 13).

4.3.4.2. Matriz de transiciones

En el cuadro 5 se presenta la matriz de transiciones correspondientes al periodo 2006-2007, la tasa de crecimiento poblacional (λ) y los vectores correspondientes a la estructura estable de tamaños (eigenvector derecho) y el valor reproductivo (eigenvector izquierdo). El valor reproductivo para la primer categoría es de 0.0426, para la segunda fue de 0.0758, 0.3072 para la tercer categoría, para la cuarta de 0.3836 y para la última categoría es 0.1908, mostrándose que las tres últimas categorías son las que tienen mayor contribución para el mantenimiento de la población. El valor de λ fue de 1.6732 ± 0.2919 , por lo que la población de *Mammillaria dixanthocentron* tiene una tendencia al crecimiento. Es importante señalar que la mortalidad es mayor en las categorías C3 y C4, varias plantas de estas categorías fueron encontradas muertas en el primer muestreo. La estructura estable de tamaños para la C1 fue de 0.4415, 0.4324 para C2, 0.09 para C3, 0.0263 para C4 y 0.0097 para la última categoría; C1 y C2 muestran los valores más altos (Cuadro 5). Se presentaron transiciones positivas de C2 a C5 de una o dos categorías mayores, hubo retrocesos en C3, C4 y C5 a una categoría inferior.

Cuadro 5. Matriz de transiciones

Categorías (nt+1)	$\lambda = 1.6732 \pm 0.2919$					Categorías (nt)	
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	v	w
C1	0	0	5.42	8.6	2.7	1	0.4415
C2	0.94	0.7	0.0638	0	0	1.7793	0.4324
C3	0	0.24	0.511	0.0323	0	7.2113	0.0900
C4	0	0	0.319	0.5484	0.093	9.0047	0.0263
C5	0	0	0	0.2903	0.884	4.4788	0.0097
Nx	16	73	49	34	49		
qx	0.06	0.06	0.1062	0.129	0.023		

Las entradas con los valores más altos son la permanencia y el crecimiento de los individuos, estos valores corresponden a más del 83 % del total. Los valores más bajos los encontramos en las transiciones de retrogresión.

Se comparó la estructura poblacional observada en 2007 y los resultados del modelo. La estructura estable de tamaños esperada indica que el número de individuos en las categorías C3, C4 y C5 disminuye conforme aumenta la altura de los mismos, en la estructura observada pasa algo similar de C2 a C4, sin embargo en C5 se presenta una recuperación de la sobrevivencia y la permanencia de los individuos. Se realizó una comparación estadística entre la estructura estable de tamaños del año 2007 y la que predice el modelo, la prueba de X^2 mostró que estas estructuras difieren significativamente entre ellas ($X^2=377.50$, $g=4$), (Figura 14).

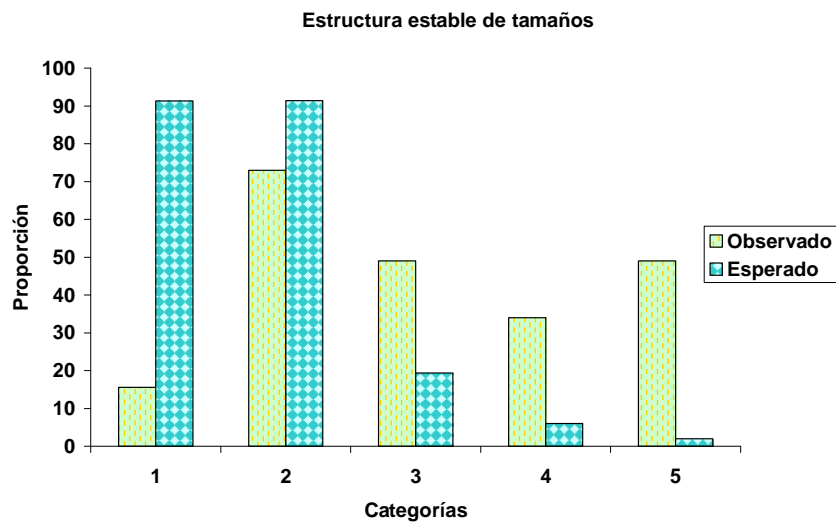


Figura 14. Comparación de la estructura poblacional observada en campo en febrero 2007 y la que predice el modelo de *Mammillaria dixanthocentron*.

4.3.4.3. Mortalidad

La mortalidad se presento en las categorías de C2, C3, C4 y C5, con 6, 10.62, 12.90 y 2.3 % respectivamente (Figura 16). La mortalidad va en aumento de la categoría C1 a la C4, sin embargo en C5 este porcentaje disminuye. El porcentaje de mortalidad mayor lo presentó C4 y el menor lo presentó C5.

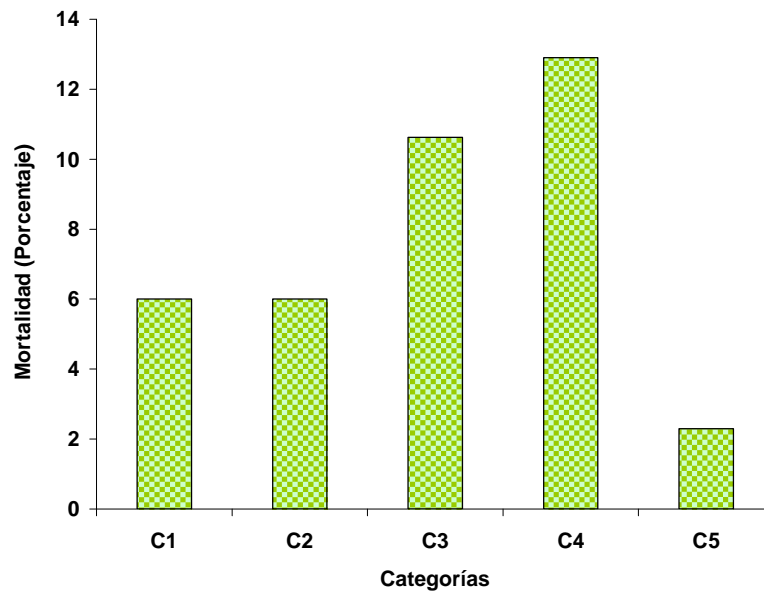


Figura 15. Mortalidad perteneciente a cada categoría

4.3.4.4. Análisis de sensibilidad y elasticidad

La matriz de sensibilidad se presenta en el cuadro 6. Los valores más altos corresponden a las entradas de crecimiento de los individuos de la categoría C2 a la C4, es decir la tasa de crecimiento es más sensible al crecimiento y la sobrevivencia de los individuos.

Cuadro 6. Matriz de sensibilidad

Categorías (nt+1)	Categorías (nt)				
	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.2062	0.2019	0.0420	0.0123	0.0045
C2	0.3670	0.3594	0.0748	0.0219	0.0081
C3	1.4880	1.4572	0.3034	0.0887	0.0326
C4	1.8577	1.8192	0.3788	0.1108	0.0408
C5	0.9243	0.9051	0.1885	0.0551	0.0203

Los valores más altos de elasticidad se presentan en las entradas del crecimiento de los individuos a la categoría inmediata superior, ya que este crecimiento contribuye en 49.39 % a la elasticidad total (por lo que esta contribuyendo también al valor de λ); la permanencia de los individuos contribuye en 29.44 % al valor de λ . Las elasticidades con menor valor fueron encontradas en las entradas de retrogresión de adultos. Podemos decir que el crecimiento de los individuos es lo más importante y los que tienen los mayores impactos sobre λ (cuadro 7).

Cuadro 7. Matriz de Elasticidades.

Categorías (nt+1)	Categorías (nt)				
	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.0000	0.0000	0.1357	0.0632	0.0073
C2	0.2062	0.1503	0.0029	0.0000	0.0000
C3	0.0000	0.2090	0.0927	0.0017	0.0000
C4	0.0000	0.0000	0.0722	0.0363	0.0023
C5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0096	0.0107

4.4. SIMULACIONES

Se simularon diferentes condiciones mediante cambios en las entradas de fecundidad y sobrevivencia de plántulas de la matriz, esto para determinar los posibles cambios en λ (Cuadro 8).

Cuadro 8. Simulaciones del comportamiento de la Población bajo diferentes regímenes de manejo

Simulación	Valor de λ
Fecundidad (el 90 % de las semillas son depredadas).	1.1447
Fecundidad (el 95 % de las semillas son depredadas).	1.0659
Sobrevivencia de plántulas al 20 %.	1.2664
Sobrevivencia de plántulas al 10 %.	1.1518
Sobrevivencia de plántulas al 5 %.	1.0705
Se reduce en 90% el número de semillas y solo sobreviven el 10 % de las plántulas.	0.9814

El valor más bajo para $\lambda=0.9814$ se obtuvo cuando se simuló que solo el 10% de las semillas sobreviven y que la sobrevivencia de plántulas se reduce hasta el 10%. Todas las demás simulaciones presentaron valores de λ mayor a la unidad, por ejemplo el valor de $\lambda= 1.0705$ es el caso en el que únicamente se redujo la sobrevivencia hasta el 5 %, la condición en la cual el 95 % de las semillas son depredadas muestra $\lambda= 1.0659$. Por otro lado sí el 90 % de las semillas son depredadas, se reduce la sobrevivencia de plántulas al 20 %, o se reduce la sobrevivencia de plántulas al 10 %, la población se podría mantener.

CAPITULO V

DISCUSIONES

Las Semillas de *Mammillaria dixanthocentron* alcanzaron hasta un 90% de germinación en condiciones de laboratorio. Estos porcentajes en general son altos y similares a los obtenidos por Godínez-Álvarez y Valiente-Banuet (1998) al estudiar *Neobuxbaumia tetetzo*; *Coryphantha pallida*; *Ferocactus flavovirens*; *Myrtillocactus geometrizans*; *Pachycereus hollianus*; *Ferocactus latispinus* los cuales observaron porcentajes superiores al 80 % y Flores-Martínez *et al.* (2002) con *Mammillaria kraehenbuehlii* (79%). Martínez-Mendoza (2003) con *Mammillaria kraehenbuehlii* que alcanzó un 84%, y ligeramente inferior al obtenido por Méndez *et al.* (2004) al estudiar a *Pterocereus gaumeri*, (97.3%) respectivamente, con semillas recientes y sin previo tratamiento pregerminativo, mostrándose que la germinación es un proceso rápido y que ocurre en la segunda semana después de la siembra.

Las semillas de esta especie son fotoblasticas positivas, al presentar una diferencia notable entre la germinación de estas bajo condiciones de luz y oscuridad en laboratorio, requiriéndose la presencia de luz. Los resultados concuerdan con estudios recientes, en la mayoría de las especies de cactáceas como *Stenocereus stellatus*, *Neobuxbaumia tetetzo* y tres especies del género *Neobuxbaumia* estudiadas por Rojas-Aréchiga *et al.* (2001); Flores y Briones (2001); Ramírez-Padilla y Valverde (2005) respectivamente.

La incidencia de luz directa no es benéfica para la germinación de estas semillas. Esto es similar a lo reportado por Valverde *et al.* (2004), quienes observaron que no obtuvo germinación en experimentos en campo donde la incidencia de luz solar fue de manera directa en *Mammillaria magnimamma*.

Existe diferencia significativa en la proporción de semillas que germinaron en la cámara de crecimiento y bajo el dosel de arbustos ($F_{5, 31}=9.79$; $P<0.001$) (condiciones de campo), esto concuerda con estudios en los que en campo se presentan porcentajes muy bajos de germinación comparados con los logrados en laboratorio por Steenbergh y Lowe, 1977a al estudiar a *Cereus giganteus*; Jordan y Nobel, 1981, 1982 estudiaron a *Ferocactus acanthoides*; Mandujano *et al.*, 1996 con *Opuntia rastrera*; Ruedas *et al.*, 2000 con *Mammillaria magnimamma*; Contreras y Valverde, 2002 con *Mammillaria crucigera*; Esparza-Olguín *et al.*, 2002 *Neoboubaumia macrocephala*; Valverde *et al.*, 2004 con *Mammillaria magnimamma*.

La diferencia registrada en la proporción de semillas que germinaron bajo la sombra de arbustos (condiciones similares a las del campo) y en el laboratorio, pudo deberse a la influencia de los factores climáticos, puesto que para algunas semillas la humedad y la luz no fue suficiente para inducir la germinación. Se puede decir que en esta etapa de desarrollo (germinación), las condiciones necesarias se relacionan más con la humedad y la luz, siendo estos los factores ambientales que determinan dicho proceso, resultados que concuerdan con lo reportado por Steenbergh y Lowe (1969); Valiente-Banuet y Ezcurra (1991); Flores (1995).

La especie estudiada tiene un gran potencial para la reproducción sexual, que se manifiesta por la alta viabilidad de las semillas bajo condiciones controladas, en su hábitat natural el porcentaje de germinación se reduce drásticamente o puede no presentarse si las condiciones ambientales no son las adecuadas.

La sobrevivencia de plántulas fue superior al 90% en los diferentes tratamientos. La sobrevivencia de plántulas de *Mammillaria dixanthocentron* es muy alta aún en

tratamientos con radiación solar directa, lo que no concuerda con lo reportado por Steenbergh y Lowe, (1969); Turner *et al.* (1966); Contreras y Valverde, (2002); Esparza-Olguín *et al.* (2002); Valverde *et al.* (2004) y Martínez-Mendoza (2003) al estudiar a *Cereus giganteus*, *Carnegia gigantea*, *Mammillaria crucigera*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *Mammillaria magnimamma* y *Mammillaria kraehenbuehlii* en los que la mortalidad de las plántulas durante el primer año de vida fue casi del 100%. Esto puede deberse a que las condiciones de la época del año en que se realizaron los experimentos en *Mammillaria dixanthocentron* se presentaron factores ambientales favorables para la sobrevivencia de las plántulas con un régimen de lluvia no muy intenso y constante donde la radiación solar no fue muy intensa (se presentaron días nublados). El patrón de sobrevivencia fue similar en casi todos los tratamientos, excepto por el tratamiento encontrado en arena en el vivero (curva tipo I y III respectivamente). Lo encontrado en este estudio es similar a lo observado por Valiente-Banuet y Ezcurra (1991) en *Neobuxbaumia tetetzo* que encontraron diferencia entre los tratamientos de sobrevivencia de plántulas sin embargo los resultados del presente estudio muestran que en realidad la diferencia entre los tratamientos es mínima respecto al valor del coeficiente C, puesto que estos valores fueron ligeramente menores de cero, es decir, el comportamiento en la sobrevivencia es prácticamente el de una recta y no una curva bien marcada. Esto difiere de lo encontrado por Flores-Martínez (1995) al estudiar a *Neobuxbaumia tetetzo*, que reporta comportamientos similares entre sus distintos tratamientos. Finalmente la mortalidad de las plántulas es dependiente del efecto de la radiación solar en la temperatura y humedad del ambiente, al estar sus tejidos muy cerca de la superficie del suelo, ser incapaces de evitar la pérdida de agua por transpiración durante el día y poseer el metabolismo CAM (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; León de la Luz y Valiente-Banuet, 1994 y Martínez Mendoza, 2003).

La densidad poblacional observada en *Mammillaria dixanthocentron* fue elevada (10, 416 individuos/ha) es alta comparada con la reportada por Peters y Martorell

(2001), quienes reportan una densidad máxima de 2600 individuos/ha para la misma especie en otra zona de estudio, y también es elevada al compararla con otras especies de *mammillarias* de la región, con densidades entre 5 y 6,738 ind/ha; *M. crucigera* (10.33 indiv/metro lineal), *M. hernandezii* (6,844 indiv/ha), *M. huitzilopochtli* (6,300 indiv/ha), *M. kraehenbuehli* (4,400 indiv/ha), *M. napina* (3,527 indiv/ha), *M. pectnifera* (4,889 indiv/ha), *M. supertexta* (6,368 indiv/ha), y menor a la densidad de *M. sofisoides* (20,800 indiv/ha) especies estudiadas por Peters y Martorell (2001) y también es alto al compararla con *M. oteroi* con 530 conglomerados/ha especie estudiada por Martínez *et al.* (2001), *M. magnimamma* con 600 individuos/ha estudiada por Valverde (1997) y *M. gaumeri* Orcutt con 2300 individuos/ha estudiada por Leirana (1999). Las diferencias entre las densidades pueden deberse a características propias de la especie y a diferentes eventos de perturbación como lo mencionan Olmsted y Álvarez-Buylla (1995). Martínez-Romero (1997) sugiere que la densidad de una población puede variar como consecuencia de los efectos de perturbaciones naturales o artificiales.

El patrón de distribución espacial observado en *Mammillaria dixanthocentron* fue agregado en todos los tamaños de cuadro. Este patrón de distribución ha sido reportado en otras cactáceas como en *Mammillaria kraehenbuehlii* (Flores-Martínez *et al.*, 2002). Este resultado indica que la zona donde se distribuye la especie es un espacio habitable discontinuo con condiciones ambientales heterogéneas (e.i. disponibilidad de agua del suelo, variación en la geoforma), dato que concuerda con lo observado en campo, en donde encontramos la distribución de ésta especie en manchones y no de manera continua.

El no encontrar asociación con ninguna planta (nodriza) probablemente se debe a que las condiciones microambientales y edáficas para esta especie en particular no lo requieren. Los trabajos de Peters y Martorell, (2001) y Martínez-Mendoza (2003) encontraron una asociación positiva de *M. dixanthocentron* y *Mammillaria*

kraehenbuehlii con rocas. La roca tiene la capacidad de acumular el rocío de agua y proyecta una sombra densa que puede no ser igual a la de un Agave. Los estudios sobre la interacción específica entre plantas en zonas áridas son numerosos, en particular los que tratan el fenómeno nodricismo, como los de Jordan y Nobel, 1979; Nobel, 1988; Franco y Nobel (1989); Valiente y Ezcurra (1991); Valiente *et al.* (1991 b); Flores (1995) y Suzán *et al.* (1996); Rodríguez y Ezcurra (2000); De Viana *et al.* (2001). Estos estudios mencionan que en los desiertos más calidos del norte del país, así como en las zonas más cálidas y secas de algunos desiertos sureños existe esta asociación de especies (planta-nodriz). En estos ambientes existen limitaciones impuestas por la escasez de agua, y las altas temperaturas, que son factores críticos importantes para la germinación y establecimiento de las cactáceas. El efecto nodriza reduce la temperatura bajo arbustos, y las rocas (roca nodriza) también cumplen esta función, generan un microambiente favorable para las plantas protegidas, aspecto fundamental en las zonas áridas

En este estudio se sugiere que la roca tendría la función “nodriza”, debido a que *M. dixanthocentron* ha desarrollado una relación estrecha con este tipo de material, con la finalidad de asegurar su persistencia, ya que vivir junto a una roca permite utilizar toda el agua que cae sobre ella y escurre al suelo, al mismo tiempo reduce la temperatura del mismo (Nobel, 1992), la roca puede proteger a la raíz contra temperaturas extremas del suelo a la vez que proporciona una textura más favorable para la germinación (mayor área de contacto con la semilla y mayor retención de humedad), además las rocas suelen ser sitios idóneos para crecer en un ambiente perturbado, donde la radiación y la temperatura se incrementan y la humedad se reduce (Barradas, 1988). Por otro lado en las rocas se encuentra un lugar libre de competencia, donde la aridez edáfica no permite que otras plantas se establezcan (Peters y Martorell, 2001).

Los procesos de desertificación natural, relacionados con la evolución de los suelos, son los factores que determinan la germinación y permanencia de los individuos en unidades geomórficas recientes. Las unidades geomórficas son derivadas de un proceso histórico, debido a procesos de morfogénesis y pedogénesis que repercuten en la cantidad de agua disponible en el suelo (Valiente-Banuet *et al.*, 1995). Por lo tanto la perturbación puede ser un promotor de la asociación con rocas y si además agregamos el factor evolutivo antes mencionado tenemos que *Mammillaria dixanthocentron* tiene mayor éxito de reclutamiento al asociarse con rocas (difiere del patrón comúnmente estudiado que es la asociación con plantas nodrizas y se agrega al fenómeno recientemente observado roca nodriza).

En campo no se vieron plántulas en el año en el que se tomaron los datos. Esto sugiere que hay factores que limitan fuertemente la germinación y establecimiento de las semillas dado que concuerda con varios estudios realizados en cactáceas donde sugieren que bajo condiciones naturales la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas pueden ser muy bajos o no presentarse en años donde las condiciones son severas (Steenbergh y Lowe, 1977a; Jordan y Nobel, 1981, 1982, Nobel, 1994; Mandujano *et al.*, 1996; Montiel y Montaña, 2000; Ruedas *et al.*, 2000; Peters y Martorell, 2001; Contreras y Valverde, 2002; Esparza-Olguín *et al.*, 2002; Martínez-Mendoza, 2003 y Valverde *et al.*, 2004). Puede decirse que uno de los procesos más críticos en el ciclo de vida de ésta cactácea es el reclutamiento de nuevos individuos a la población.

La estructura poblacional observada de *Mammillaria dixanthocentron* esta representada mayormente por las categorías C2, C3 y C4 y la predicha por el modelo por C1y C2. La estructura estable de tamaños observada en campo y la predicha por el modelo difieren significativamente. Esto coincide con el estudio de Valverde y Zavala-Hurtado (2006) quienes encontraron diferencia entre la

estructura estable de tamaños observada y la predicha por el modelo. Por el contrario por Martínez-Mendoza (2003) no observó diferencias entre éstas estructuras.

La fecundidad no parece estar asociada al tamaño de la planta ya que la categoría C3 y C4 presentaron el valor más alto de fecundidad y la C5 presentó el valor más bajo, estos resultados son similares a lo obtenidos por Martínez-Mendoza (2003) donde la fecundidad es independiente del tamaño de la planta.

El valor reproductivo de los individuos es mayor en la categoría C4 y disminuye en la categoría C5, lo que indica que los individuos en esta categoría tienen menor capacidad de reproducción, este resultado no fue similar a lo reportado por Martínez-Mendoza, 2003 que menciona que los individuos que pertenecen a la categoría de adulto viejo tienen el mayor potencial para reproducir semillas.

La tasa de crecimiento poblacional de *Mammillaria dixanthocentron* fue de 1.6732, la población de *Mammillaria dixanthocentron* presenta un valor elevado lo que indica que se mantiene en equilibrio con tendencia al crecimiento (específicamente para el año en el que se realizaron los muestreos). Se observó un buen número de individuos de diferentes edades, excepto por el nulo reclutamiento que se observó en campo. Los valores de λ observados en *Mammillaria dixanthocentron* son altos comparados con otras cactáceas endémicas de México, puesto que en las especies como *Neobuxbaumia tetetzo*, *Mammillaria crucigera* *Neobouxbaumia macrocephala*, *Mammillaria magnimamma*, *Pterocereus gaumeri* estudiadas por Godínez-Álvarez *et al.* (1999); Contreras y Valverde (2002); Esparza-Olguín *et al.* (2002); Godínez-Álvarez *et al.* (2003); Valverde *et al.* (2004) y Méndez *et al.* (2004) respectivamente, se encontraron valores iguales o ligeramente arriba de la unidad. En *Mammillaria pectinífera* estudiada por Valverde y Zavala-Hurtado (2006) se observó un valor de λ muy bajo en comparación de *Mammillaria dixanthocentron*.

El valor alto de λ puede deberse a los elevados valores observados en la germinación de las semillas (valores altos en la fecundidad) y la sobrevivencia de plántulas, debido a que en el año de estudio (2006) se presentaron las condiciones adecuadas para dichos procesos (como se había mencionado con anterioridad).

El valor más bajo para $\lambda=0.9814$ se obtuvo cuando se simuló que solo el 10% de las semillas sobreviven y que la sobrevivencia de plántulas se reduce hasta el 10%, fenómeno que es común en campo ya que existe el factor depredación de semillas y la sobrevivencia es baja por las adversidades del ambiente. El tener un número menor de semillas y bajo porcentaje de sobrevivencia implicaría que la población esté decreciendo. Es probable que la planta contra reste este fenómeno con la producción de semillas en mayor cantidad puesto que serán depredadas en gran número, las pocas semillas que no son consumidas tienen gran capacidad de sobrevivencia. Estos resultados son similares a los encontrados por Valverde y Zavala-Hurtado (2006). En las simulaciones realizadas observamos que al incrementar la fecundidad y el establecimiento de plántulas simultáneamente se incrementa el valor de λ . Sin embargo al modificar la sobrevivencia de plántulas y reducir el número de semillas hasta el 10% el valor de λ se reduce drásticamente, lo cual indica que la población está decreciendo y se ponen en riesgo la permanencia de la misma

El crecimiento y la permanencia de los individuos son los parámetros que tendrían mayor influencia en el mantenimiento de la población, seguidos de la fecundidad. Para especies como ésta es de vital importancia dirigir la mayor parte de sus reservas y energía en sobrevivencia y crecimiento, destinando solo un bajo porcentaje en la producción de nueva descendencia ya sea por semillas o por clones (Martínez-Mendoza, 2003). Esto se ve reflejado en las estructuras poblacionales con un número muy bajo de plántulas según lo estimado por germinación y sobrevivencia de plántulas realizadas en este estudio.

La fase del ciclo de vida de *Mammillaria dixanthocentron* que tiene mayor importancia para la conservación es el pasar de C2 a C3 y C4 ya que las dos últimas son la que contribuyen más al mantenimiento y crecimiento de la especie.

Aunque la población este en equilibrio actualmente, debemos de tomar en cuenta que sólo si las mismas condiciones persisten la población se mantendrá, pero si cambiaran podría disminuir el valor de λ y se pondría en riesgo la persistencia de la misma, puesto que las condiciones que se presentaron en este año es posible que fuesen diferentes a los años anteriores. En la actualidad los hábitats que ocupa esta especie se encuentran amenazados por la perturbación humana, el cambio de uso del suelo y la fragmentación de los mismos.

En caso de que se pretenda comercializar a *Mammillaria dixanthocentron* sería necesario la aplicación de un buen programa de propagación. Se podrían extraer algunos individuos encontrados en la zona de estudio e iniciar una programa de propagación para *Mammillaria dixanthocentron* en viveros por parte de los pobladores encontrados en el área de distribución y Jardines botánicos para la creación de bancos de germoplasma para su conservación.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- § El porcentaje de germinación en *Mammillaria dixanthocentron* se ve afectado por las condiciones de iluminación. La germinación en la cámara de crecimiento (12:12h) fue la mas alta encontrándose arriba del 90%, a nivel de Jardín Botánico en nodrizas fue menor pero superior al 60%, en tratamientos bajo condiciones de oscuridad y luz directa no se presentó germinación.
- § Existe diferencia entre los tratamientos encontrados en la cámara de crecimiento y los encontrados bajo el dosel de arbustos por lo que las condiciones que están determinando el proceso de germinación son la luz y la humedad constante.
- § Si bien la germinación se ve favorecida por la luz, ya que las semillas de *Mammillaria dixanthocentron* son fotoblásticas positivas, caben resaltar que la incidencia de radiación solar directa no promueve la germinación.
- § La sobrevivencia de plántulas muestra porcentajes superiores al 94% en todos los tratamientos, donde la curva de sobrevivencia puede ser de tipo I o tipo III, pero como los valores del coeficiente c son pequeños podemos decir que prácticamente tenemos una recta con ligera inclinación.
- § La distribución espacial de *Mammillaria dixanthocentron* en su hábitat natural es agregada.
- § *Mammillaria dixanthocentron* no se encuentra asociada con ninguna especie vegetal como especie nodriza, sin embargo evolutivamente parece

que puede sustituir esta relación al asociarse con rocas, ya que le trae ciertas ventajas en su hábitat natural.

§ El valor de $\lambda = 1.6732 \pm 0.2919$ indica que la población se mantiene en equilibrio con tendencia al crecimiento, sin embargo, factores como la perturbación humana, la fragmentación de hábitat y el cambio de uso de suelo están latentes y pueden cambiar el valor de λ . Con las simulaciones observamos que al reducir el número de semillas hasta 10% y si al mismo tiempo reducimos la sobrevivencia de plántulas nuestra λ se reduce drásticamente teniendo un valor de 0.9814, lo que indica que la población disminuye.

§ La fecundidad y la mortalidad no están relacionadas con el tamaño de la planta siendo que la C3 y C4 son las que presentan los valores más altos por lo que son las categorías que más contribuyen a la población.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Montes, S., 1993. Cactáceas: Conservación y diversidad en México en Gío-Argáez, R., López-Ochoterena, E. (Eds), Diversidad biológica en México. Sociedad Mexicana de Historia Natural, México. 106-116 pp.
- Arias, M. S, Gama, L. S, Guzmán, C. L.,. 1997. Flora del valle de Tehuacán Cuicatlán. Fascículo 14. Cactaceae A. L. Juss. Instituto de Biología UNAM. México. 146 pp.
- Arizaga, S. E. 1999. Cactáceas y otras plantas suculentas. UNAM. México. 97p.
- Benton, T. G. y Grant, A., 1999. Elasticity análisis as an important tool in evolutionary and population ecology. *Trends in Evolution* 14, 467-471.
- Boyce, M., 1992. Population viability análisis. Annual Review of Ecology and systematics. 23:481-506.
- Bravo-Hollis H., 1978. Las Cactáceas de México. Vol.1 UNAM. México. 743 pp.
- Bravo-Hollis H., 1997. Cactáceas, en Suculentas mexicanas. CVS Publicaciones S.A. de C.V. 142pp.
- Bravo - Hollis H. y M. H. Sánchez, 1991. Las Cactáceas de México. Vol. III Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 501 – 553 p.
- Bravo-Hollis., H y Sánchez M., 1991. Las Cactáceas de México Vol. II, UNAM, México. 404 pp.
- Bullock J. M. , Clear Hill, B, y Silvertown, J., 1994. Demography of *Cirsium vulgare* in a grazing experiment. *Journal of Ecology* 82:101-111.
- Caswell, H., 1978. A general formula for the sensitivity of population growth rate to changes in life history parameters. *Theoretical Population Biology* 14:215–230.
- Caswell, H., 1989. Matrix population models. Construction, analysis, and interpretation. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Caswell, H., 2001. Matrix population models: construction, analysis and interpretation. Sinauer Associates, Sunderland. M. A. 722 p.

- CITES, 1990. Appendices I, II and III to the Convention on International Trade in Endangered. Species of Wild Fauna and Flora. Washington, D.C.: U.S. Department of the Interior. U.S. Fish and Wildlife Service. 23 pp.
- Contreras, C., y T. Valverde, 2002. Evaluation of the Conservation status of rare cactus (*Mammillaria crucigera*) through the analysis of its population dynamics. *Journal Arid Environment*. 51: 89-102.
- De Kroon, H., A. Plaiser, and J. M. van Groenendael, 1986. Elasticity: the relative contribution of demographic parameters to population growth rate. *Plant Ecology* 67:1427–1431.
- De Viana M. L., S. Sohring, Y B. F. J. Manly, 2001. Application of randomization methods to study the association of *Trichocereus pasacana* (Cactaceae) with potential nurse plant. *Plant Ecology* 156: 193–197.
- Esparza- Olgúin L., 1998. Estudio poblacional de *Neobuxbaumia macrocephala*: Análisis Matricial. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de México, México D.F. 68 pp.
- Esparza- Olgúin 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: 349-359.
- Flores-Martínez, 1995. Patrones de Sobrevivencia de plántulas de *Neobuxbaumia tetetzo* (Coulter) Backeberg bajo la sombra de tres especies de arbustos nodriza en una zona semiárida de Puebla (México). 1995. Tesis de Maestría. UNAM. 39 pp.
- Flores-Martínez A.; Manzanero, M. G. I.; Martínez, H. G. C. y Pacheco, V. G. S., 2002. Aspectos sobre la ecología y reproducción de *Mammillaria kraehenbuehlii* (Kraenz) Kraenz en la Mixteca de Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. XLVII. 577-68.
- Flores, J. y Briones, O., 2001. Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environments* 47, 485–497.
- Franco, L. J., De la Cruz, A. G., Flores, M. G., Kato, M. E., Navarrete, S. N., Rocha, R. A., Sánchez, C. S., Bedia, S. C., 1982. Manual de prácticas de Ecología. UNAM. México. 289 pp.
- Franco, A.C. & Nobel, P.S., 1989. Effect of nurse plant on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of Ecology*, 77: 870–866.

- Franco, M., 1990. Ecología de poblaciones. Ciencias número especial: 4-9.
- García, E., 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kopen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Offset Larios, México.
- Gibson, A. C. y P.S. Nobel, 1986. El cactus. Harvard University Press, Cambridge. 286 pp.
- Godínez-Alvarez, H., A Valiente-Banuet, 1998. Germination and early seedling growth of Tehuacán Valley cacti species: the role of soils and seed ingestion by dispersers on seedling growth. *Journal of Arid Environments* 39, 21–31.
- Godínez-Alvarez, H., and L. Valiente-Banuet, 1999. Biotics interactions and the population dynamics of the long-lived columnar cactus *Neobuxbaumia tetetzo* in the Tehuacan Valley, México. *Can. J. Bot.* 77: 203-208.
- Godínez-Álvarez H., Valverde T. y Ortega Baes P. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *Botanical Review.* 69:173-203.
- Gotelli, N. J., 1995. A Primer of Ecology. Sinaeur Associates. Inc., U. S. A.
- Granados Sánchez D. y López Ríos G., 2001. Ecología de Poblaciones Vegetales. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 144 pp.
- Gutterman, Y., 1993. Seed Germination in Desert Plants: Adaptations of Desert Organisms. Berlin: Springer-Verlag. 253 pp.
- Harper, J. L., 1980. Plant demography and ecological theory *oikos* 35(2)244-253.
- Hartmann, H. T., y Kester, E. D. P., 2001. Propagación de plantas. C.E.C.S.A. México. 757 pp.
- 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.
- Hutto, R. L. J. R. McAuliffe and Hogan., 1986. Distributional associates of the saguaro (*Carnegiea gigantea*). *The Southwestern Naturalist*, 31: 469-476.
- Hunt, 1999. CITES Cactaceae Checklist. Royal Botanical Garden and international Organization for Succulent Plant Study, Kew.

- Hutchinson, G. E., 1978. Introducción a la Ecología de Poblaciones. Editorial Blume. Trad. de Joandoménech Ros.
- Jordan, P. W., Nobel, P. S., 1981. Seedling establishment of *Ferocactus acanthoides* in relation to drought. *Ecology* 62: 901-906.
- Jordan, P. W., Nobel, P. S., 1982. Height distributions of two species of cacti in relation to rainfall, seedling establishment, and growth. *Botanical Gazette* 143: 511-517.
- JUMP Versión 5– Windows, 2002. SAS Institute Inc. The Statistical Discovery Software
- Kigel, J., 1995. Seed germination in arid and semi-arid regions. In: Kigel, J. & Galili, G. (Eds), *Seed Development and Germination*, pp. 645-699. NY: Marcel Dekker, Inc. 853 pp.
- Krebs, C.J., 1989. *Ecological methodology*. Harper & Row, Nueva York.
- Larson, J., 1992. Estudio demográfico de *Echeveria gibbiflora* DC (Crasulaceae) en el Pedregal de San Angel: Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Lefkovich, L. P., 1965. The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrics* 21:1–18.
- León de la Luz, J. L. and Valiente-Banuet, A., 1994. Las Cactáceas: un recurso natural diverso y predominante mexicano. *Ciencia y Desarrollo*, 20: 58-65.
- Ludwig, J. A. and Reynolds, J. F., 1988. *Statistical Ecology. A primer methods and computing*. Wiley Interscience Publicaciones. New York. 337 pp.
- Mandujano, M. C., C. Montaña, and L.E., Eguiarte, 1996. Reproductive Ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan desert: Why are sexually derived recruitments so rare?. *American Journal of Botany* 83: 63-70.
- Mandujano M.C., Montaña C., Franco M., Golubov J. and Flores-Martínez A., 2001. Integration of demographic annual variability in a clonal desert cactus. *Ecology* 82: 344-359.
- Martínez, M. D.; Flores-Martínez A.; López, R. F. M y Manzanero, M. G. I, 2001. Aspectos Ecológicos de *Mammillaria oteroi* Glass R. Foster en la Región Mixteca de Oaxaca. México. *Cactáceas y suculentas mexicanas XLVI*. 32-39.

- Martínez-Mendoza D., 2003. Demografía de *Mammillaria Kraehenbuehlii* (Krainz) en la Reserva de la Biosfera de Tehuacan Cuicatlán. Tesis de Maestría. ITAO. 83 pp.
- Martínez-Romero, E., 1997. Estudio demográfico de *Sedum oxypetalum* (Crasulaceae) en Lomas del Seminario, Ajusco Medio, D. F. Tesis de Maestría Facultad de Ciencias U.NA.M.
- Margalef, R., 1982. Ecología. Omega. Barcelona. 951 pp.
- Méndez M., Ruran R., Olmsted I. y Oyama, 2004. Population Dynamics of *Pterocereus gaumeri*, a Rare and Endemic Columnar Cactus of México. *BIOTROPICA* 36(4): 492-505.
- Menges, E.S., 1990 Population Viability Analysis for an Endangered Plant. Demographic Monitoring and modelling. *Natural Areas Journal* 6 (3): 13-25.
- Menges, E.S., 1992. Stochastic modeling of extinction in plant population theory to plants, en Jain J. K. Eds, Conservation Biology: The theory and Management. Chapman and Hall. New York.
- Montiel, S., and Montaña, 2000. Vertebrate frugivory and seed dispersal of a Chihuahuan desert cactus. *Plant Ecology* 143: 221-229.
- Moreno, C. P. 1996. Vida y obra de granos y semillas. México. 205 pp.
- Morris, W., D. Doak, M. Groom, P. Kareiva, J. Fieberg, L. Gerber, P. Murphy, y D. Thomson, 1999. A practical handbook for population viability analysis. *The Nature Conservancy*. 79 pp.
- Muller, C.H., 1953. The association of desert annuals with shrubs. *American Journal of Botany* 40: 53-60.
- Niering, W.A., Whittaker, R.H. y Lowe, C.H., 1963. The saguaro: a population in relation to its environment. *Science* 142:15-23.
- Nobel, P. S., 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nobel, P. S. y Cui, M., 1992. Hydraulic conductances of the soil, the root-soil air gap, and the root: changes for desert succulents in drying soil. *Journal of Experimental Botany*, 43: 319-326.
- Odum E. P., 1985. Fundamentos de ecología. Edit. Interamericana. México D.F.

- Oldfield, S., 1997. Status survey and conservation action plan: Cactus and Succulent plants. IUCN, Gland, Suiza. 213 pp.
- Olmsted, I., and E. Álvarez-Buylla, 1995. Sustainable harvesting of tropical trees: Demography and matrix models of two palm species in México. *Ecol. Appl.* 5: 484-500.
- Picó, F. X., 2002. Desarrollo, análisis e interpretación de los modelos demográficos matriciales para la Biología de la Conservación. *Ecosistemas*.3 (URL:<http://www.aeet.org/ecosistemas/023/investigación2.htm>).
- Peters E. y Martorell, C., 2001. Conocimiento y conservación de las *mamiliarias* endémicas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Universidad Autónoma de México, Instituto de Ecología. 38 pp.
- Primack, R. B., 1993. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts. U.S.A.
- Ramírez-Padilla C. A. y Valverde T., 2005. Germination responses of three congeneric cactus species (*Neobuxbaumia*) with differing degrees of rarity *Journal of Arid Environments* 61: 333–343
- Reyes-Santiago J; Brachet I.; Pérez-Crisanto y Gutiérrez de la Rosa, 2004. *Cactáceas y otras plantas nativas de la Cañada Cuicatlán–Oaxaca*. UNAM. 186 pp.
- Rojas-Aréchiga, Casas A., and Vásquez-Yanes C., 2001. Seed germination of wild and cultivated *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) from the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Central México. *Journal of Arid Environments* 44: 85-104.
- Rojas-Aréchiga, M. and Vázquez-Yanes, C., 2000. Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*, 44: 85-104.
- Rodríguez-Ortega, C. E. y Ezcurra, E., 2000. Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45: 4-14.
- Ruedas, M., Valverde, T y Castillo, S., 2000. Respuesta germinativa y de crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 pp.

- SEMARNAP, 2001. Norma Oficial Mexicana. NOM-059- ECOL -2001. Diario Oficial de la Federación. 2ª sección. México, D. F.
- Silvertown, J., M. Franco, I. Pisanty, and A. Mendoza, 1993. Comparative plant demography—relative importance of lifecycle components to the finite rate of increase in woody and herbaceous perennials. *Journal of Ecology* 81:465–476.
- Silvertown, J.W. and Lovett-Doust, J., 1993. *Introduction to Plant Population Biology* Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Steenbergh, W.F. and Lowe, C.H., 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument. *Ecology* 50: 825-834.
- Steenbergh, W.F. and Lowe, C.H., 1977a. Ecology of Saguaro: II Reproduction, Germination, Establishment, Growth, and Survival of the Young Plant. National Park Service Scientific Monograph Series, 8. Washington, DC: U.S. Government Print Office.
- Suzan H.,G. Nabhan, D. T. Patten, D.T., 1994. Nurse Plant and Floral Biology of a Rare Night-Blooming Cereus, *PeMocereus striams* (Brandeggee) F. Buxbaum. *Conservation Biology*. 8:461-470.
- Triola F. M. 2004. Estadística. 9ª edición. Pearson educación. México. 872 pp.
- Turner, R.M., Alcorn, S.M., Olin, G. and Booth, J.A., 1966. The influence of shade, soil and water on saguaro seedling establishment. *Botanical Gazette*, 127: 95–102.
- Valiente-Banuet A., 1991. Dinámica del establecimiento de Cactáceas: patrones generales y consecuencias de los procesos de facilitación por plantas nodriza en desiertos. Tesis (Doctor en Ecología). Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Valiente-Banuet A. and Ezcurra, E., 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse-plant *Mimosa luisana* in the Tehuacán Valley. Mexico. *Journal of Ecology*, 79: 961–971.
- Valiente-Banuet, A., Vite, F., Zavala-Hurtado, J. A., 1991b. Interaction between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse shrub *Mimosa luisana*. *J. Veg. Sci.* 2, 11–14.
- Valverde, T., 1995. Metapopulation dynamics of *Primula vulgaris*. Tesis de doctorado. Biología. Theopen University, Milton Keynes. U. K.

- Valverde, T., and J. Silvertown, 1998. Variation in the demography of a woodland understorey herb (*Primula vulgaris*) along the forest regeneration cycle: projection matrix analysis. *Journal of Ecology* 86:545–562.
- Valverde, T., Quijas, S., López-Villavicencio, M., Castillo, S., 2004. Population dynamics of *Mammillaria magnimamma* Haworth (Cactaceae) in a lava-field in Central Mexico. *Plant Ecology* 170, 167–184.
- Valverde P. L. y Zavala-Hurtado J. A., 2006. *Journal of Arid Environments* 64: 193-208.
- Villaseñor, J.L., Dávila, P., Chiang, F., 1990. Fitogeografía del Valle de Tehuacan-Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 50, 135–149.
- Went, F.W., 1948. Ecology of Desert Plants. I. Observations on germination in the Joshua Tree National Monument, California. *Ecology*, 29: 242-253.
- Went, F.W., 1949. Ecology of Desert Plants. II. The effect of rain and temperature on germination and growth. *Ecology*, 30: 1-13.