

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS



“Caracterización de relaciones espaciales y aclimataciones morfológicas de *Ferocactus viridescens* como base técnica para programas de rescate y reubicación de individuos”.

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Presenta

ARIANA GUADALUPE PALOMINO MEDINA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD EN CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

“CARACTERIZACIÓN DE RELACIONES ESPACIALES Y ACLIMATAIONES
MORFOLÓGICAS DE *Ferocactus viridescens* COMO BASE TÉCNICA PARA PROGRAMAS
DE RESCATE Y REUBICACIÓN DE INDIVIDUOS.

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

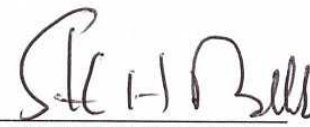
Presenta

ARIANA GUADALUPE PALOMINO MEDINA

Aprobado por



Dr. Martín Escoto Rodríguez
Director de tesis


Dr. Hugo Riemann González
Sinodal
Dr. Stephen H. Bullock
Sinodal
Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera
Sinodal

Ensenada, Baja California

Julio del 2014

ÍNDICE

ÍNDICE.....	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Descripción biológica de <i>Ferocactus viridescens</i> (Torrey & A. Gray) Britton & Rose var. <i>viridescens</i>	4
2.2 Distribución	5
2.3 Estructuras reproductivas	6
2.4 Semillas: dispersión y germinación.....	7
2.5 Establecimiento y relaciones espaciales	9
2.6 Crecimiento	9
2.7 Aclimatación en plantas.....	10
2.8 Aclimatación en la orientación e inclinación de los tallos.....	10
2.9 Aclimatación en espinas	12
2.10 Índice y densidad estomática.....	12
2.11 Dinámica poblacional	13
2.12 Problema de conservación de la especie.....	14
2.13 Manejo de la especie.....	14
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4. ÁREA DE ESTUDIO	18
4.1 Desarrollo urbano y agrícola de la región	18
4.2 Clima	18
4.3 Vegetación	19
4.4 Caracterización de los seis sitios de estudio.....	20
San Miguel (SM)	21
Cerro Trinidad (CT).....	21
Cerro del Cetys (CC)	21
Vegueño ladera (VL)	21
Vegueño cima (VC)	22
Punta Banda (PB)	22
5. METODOLOGÍA.....	25
5.1 Pruebas de germinación.....	25
Experimento 1	25
Experimento 2	26
5.2 Levantamiento de campo.....	27
5.3 Dimensiones de los individuos y estructuras reproductivas.....	28
5.4 Orientación e inclinación de los tallos de <i>Ferocactus viridescens</i>	28
5.5 Juveniles adyacentes.....	29

5.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos	29
5.7 Índice y densidad estomática y tamaño de espinas en individuos en sombra y expuestos al sol.....	30
6. RESULTADOS	32
6.1 Germinación	32
Experimento 1	32
Experimento 2	33
6.2 Dimensión de los individuos	33
6.3 Orientación e inclinación de los tallos.....	34
6.4 Estructuras reproductivas	36
6.5 Juveniles adyacentes.....	37
6.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos	38
6.7 Espinas en individuos de sol y de sombra	44
6.8 Densidad e índice estomático bajo dos condiciones.....	45
7. DISCUSIÓN.....	47
7.1 Germinación	47
7.2 Dimensión de los individuos y estructuras reproductivas	48
7.3 Orientación e inclinación de los tallos.....	48
7.4 Juveniles adyacentes.....	49
7.5 Ubicación topográfica.....	50
7.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos	50
7.7 Espinas en individuos de sol y de sombra	51
7.8 Densidad e índice estomático bajo dos condiciones.....	52
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
9. BIBLIOGRAFIA	54

DEDICATORIA

*A mis padres:
Alicia & Javier por su gran apoyo en cada uno de mis sueños a lo
largo de mi vida y por darme la oportunidad de estar aquí.*

*A mis hermanos: Tichel, Cateto & Guisito
Gracias por creer en mí*

*A mis bellas sobrinas:
Ale & Victoria*

A mi amado Abuelito Pancho

*A Dios, porque sin él las cosas
no hubieran tomado su rumbo*

AGRADECIMIENTOS

A México, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada para cursar mis estudios y la realización de mi proyecto de tesis de Maestría, CVU/Becario 412021/319967.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Facultad de Ciencias, principalmente a la coordinación de la maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, por darme la oportunidad.

A mi director de tesis al Dr. Martín Escoto Rodríguez por el apoyo, por darme ánimo en todo momento, por creer en mí y reconocer cada uno de mis logros. Gracias por haber compartido conmigo la idea del estudio de los infinitos *Ferocactus viridescens*, sobre todo por las enseñanzas en cada salida de campo, su paciencia en las revisiones, por enseñarme a hacer una tesis, por enseñarme a darle calidad a mi trabajo y por hacer un espacio siempre que necesité su asesoría.

Al Dr. Hugo Riemann González por sus acertadas observaciones y corrección de este trabajo y por apoyarme en tiempo.

Al Dr. Stephen H. Bullock por el apoyo recibido en tiempo para el trabajo de investigación.

A la Dra. Claudia Leyva Aguilera por el tiempo brindado en la revisión y apoyo a esta tesis.

A la M.C. Blanca Escamilla por apoyarme en alguna parte de mis análisis estadísticos, por su paciencia, por la amistad que me brindaste durante estos años, por los abrazos que me diste cuando más los necesitaba y sobre todo por sus observaciones a mi tesis.

A la M.C. Haydee Girón Arizmendi por su apoyo incondicional y por estar conmigo siempre en mis momentos de estrés, por la compañía en los días y las veladas de estudio... gracias.

A Gustavo, por ser un cómplice siempre en mi estancia en Ensenada y por las veces que me alimentaste y por los días y noches de estudio compartidas. Por apoyarme a tomar algunas fotografías que fueron de apoyo a mi tesis. Gracias por hacerme sentir siempre que valgo mucho como mujer y que puedo lograr todo cuanto me proponga.

A Idalia, Vero, Maricela, Eunice, Cristian, Hannani, Danna, Yuriria, Mariana, Marco & Oscar por los gratos momentos compartidos durante estos dos años en la hermosa ciudad de Ensenada, por sus comentarios durante los seminarios que me hacían preguntarme más y más acerca de la vida de *Ferocactus viridescens*, gracias por sus críticas constructivas.

A la apreciable Familia de mi director de tesis por el apoyo recibido, por las veces que nos acompañaron a campo y por recibirme en su hogar... Gracias

A mi incondicional tío Julio por apoyarme durante mi mudanza a Ensenada, gracias por tu apoyo, un logro más en mi vida y va dedicado para ti también.

A mis familiares y amigos que siempre estuvieron al pendiente de mí en todo momento, muchas gracias por sus oraciones y buenos deseos.

A Efraín por todo su apoyo, por estar presente en Ensenada cuando lo necesite y por cuidarme en mis momentos de enfermedad. Gracias por apoyarme en todas y cada una de mis mudanzas durante mi estancia en esta ciudad. Gracias por creer en mí, contigo a mi lado la vida en Ensenada fue maravillosa.

A quienes se adelantaron y ya no están conmigo, va dedicada para ustedes también.

A Diego por creer en mi calidad como profesionista, por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa y por su incondicional apoyo durante mi formación.

A Emma, Daniela & Fernando por transmitirme esa paz espiritual durante mi estancia en estos horizontes lejanos, por su apoyo incondicional, por adoptarme como parte de ustedes y por ser como mi familia sustituta.

A la Sra. Lupe y familia por brindarme su amistad durante mi estancia en Ensenada.

A Perlita Esquer, su marido & apreciable familia por su apoyo y por recibirme tan calurosamente cada que regresaba de vacaciones a Sonora.

A mi querido Abuelo por soportar mis ausencias, gracias por tu apoyo en todo momento, te amo abuelo y esta tesis es tuya también.

A Herminio por apoyarme en la mudanza a Ensenada y por creer siempre en mí.

A las personas laboratoristas y bibliotecarias de la UABC por su apoyo para lograr la culminación de esta tesis.

A las personas que siempre me apoyaron durante mi estancia en Ensenada: a Anahoughy, Mary Carmen, Alejandra y Familia, Compañeros MEZA generación 2012-2014.

“No podemos saber qué puede ocurrirnos en la extraña mezcla de la vida. Pero sí podemos decidir lo que ocurre en nosotros, cómo tomamos las cosas, que hacemos al respecto, lo cual, al fin y al cabo, es lo que realmente cuenta”.

Joseph Fort Newton

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Orientación de cactus con tallo cilíndrico retomado de Nobel (1981).

Cuadro 2. Ubicación y características de los sitios de estudio de *Ferocactus viridescens* en los alrededores de Ensenada, Baja California.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Tukey para el experimento de Germinación en charolas de plástico con turba.

Cuadro 4. Resultados de prueba de Tukey para el experimento de Germinación en caja de Petri.

Cuadro 5. Inclinación y orientación de los tallos de los individuos de cada sitio de estudio. El total de plantas analizadas fue de 156. La inclinación fue con respecto a la vertical del eje del ápice del tallo y la orientación azimutal. Tanto en inclinación como en orientación se proporciona el promedio del ángulo ($^{\circ}$) y desviación angular.

Cuadro 6. Resultados de la Prueba de Tukey en juveniles adyacentes de *Ferocactus viridescens* en los alrededores de Ensenada.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de correlación entre la relación entre la altura del vecino más cercano al norte de *Ferocactus viridescens* vs distancia de ese vecino al *Ferocactus*. Asimismo, relación entre la altura del vecino más cercano al sur vs distancia del vecino al *Ferocactus*, en seis sitios de estudio en los alrededores de Ensenada, BC.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama para la resolución de una evaluación de impacto ambiental.

Figura 2. Patrón de precipitación y temperatura media mensual en la Ciudad de Ensenada, Baja California con datos históricos de 1971-2000 en la estación de Ensenada del Servicio meteorológico nacional (SMN).

Figura 3. Ecorregiones de la península de Baja California, donde se ubican los matorrales costeros y matorrales costeros rosetófilos, mapa tomado de González-Abraham *et al.* 2010.

Figura 4. Mapa de sitios de muestreo para *Ferocactus viridescens* en Baja California, México.

Figura 5. Experimento de germinación con *Ferocactus viridescens* en un invernadero de la Facultad de Ciencias de la UABC; se observan los tres tratamientos y seis repeticiones cada uno distribuidos aleatoriamente; también se observan las charolas de plástico con 20 cavidades que representan las unidades experimentales.

Figura 6. Experimento de germinación con *Ferocactus viridescens* en un invernadero de la Facultad de Ciencias de la UABC; se observan los tres tratamientos y seis repeticiones cada uno distribuidos aleatoriamente; también se observan las cajas de Petri que representan las unidades experimentales.

Figura 7. Delimitación con cintas de un cuadrante de 15x15 m para estudiar *Ferocactus viridescens*, el sitio es San Miguel y está sobre la cima de un cerro. Nótese la presencia de pastos exóticos en el primer plano de la fotografía. Al fondo se observan casas justo en las cimas de los cerros de enfrente.

Figura 8. Aro construido para ubicar cada punto cardinal sobre el ápice de *Ferocactus viridescens*.

Figura 9. Toma de impresiones de los tallos de *Ferocactus viridescens* para conocer densidad e índice estomático, en los alrededores de Ensenada, Baja California.

Figura 10. Porcentajes de germinación de *Ferocactus viridescens*, en charolas de plástico con turba sujetas a tres tratamientos: 1) expuesto, 2) aluminio+plástico y 3) plástico. El experimento se llevó a cabo en un invernadero sin control de temperatura. Las barras representan el promedio \pm error estándar de 6 réplicas de 20 semillas cada una.

Figura 11. Porcentajes de germinación de *Ferocactus viridescens*, en cajas de Petri con papel servilleta sujetas a tres tratamientos: 1) malla sombra, 2) aluminio y 3) expuestos. El experimento se llevó a cabo en el invernadero sin control de temperatura. Las barras representan el promedio \pm error estándar de 6 réplicas de 20 semillas cada una.

Figura 12. Correlación entre la altura vs diámetro de los tallos en *Ferocactus viridescens*, con una n= 156 individuos en los alrededores de Ensenada Baja California.

Figura 13. Frecuencia circular de distribución en la orientación en los tallos de *Ferocactus viridescens* en seis sitios de estudio de Ensenada, Baja California.

Figura 14. Correlación de la altura del tallo vs la presencia de estructuras reproductivas (botones, flores y frutos) en *Ferocactus viridescens*, en los alrededores de Ensenada, Baja California (n= 156 individuos).

Figura 15. Juveniles adyacentes observados y esperados en cada uno de los puntos cardinales alrededor de plantas maduras de *Ferocactus viridescens*: $X^2= 17.88$, $p < 0.05$ (n= 36 individuos).

Figura 16. Juveniles adyacentes localizados en la parte este, sur y oeste de la planta madre de *Ferocactus viridescens*.

Figura 17. Planta de *Ferocactus viridescens* bajo la sombra de *Simmondsia chinensis* y algunas ramas secas. El sitio se ubica en Punta Banda, en la parte sur de la ciudad de Ensenada, BC.

Figura 18. Porcentaje de individuos de *Ferocactus viridescens* según como fueron encontrados, ya sea en espacios abiertos o bajo el dosel de arbustos de los cuales se indica la especie. Esto datos representan el total de seis sitio de estudio cercanos a Ensenada, Baja California.

Figura 19. Número de *Ferocactus* observados y esperados ubicados bajo y fuera de los arbustos. Los datos esperados fueron obtenidos por números aleatorios muestreados dentro del mismo cuadrante.

Figura 20. Relación entre la altura del vecino más cercano al norte de *Ferocactus viridescens* vs distancia de ese vecino al *Ferocactus* asimismo, relación entre la altura del vecino más cercano al sur vs distancia del vecino al *Ferocactus*, en seis sitios de estudio en los alrededores de Ensenada, BC. Los números negativos son cactus creciendo bajo un arbusto.

Figura 21. Longitud de las espinas en *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Mediciones realizadas en dos tipos de espinas. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra

Figura 22. Densidad estomática en tallos de *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra con dos observaciones microscópicas en cada una.

Figura 23. Ejemplo de individuos expuestos en sol e individuos encontrados en sombra, nótese la diferencia en cobertura por espinas. Se muestran también los estomas en una impresión de la epidermis del tallo.

Figura 24. Índice estomático en tallos de *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra.

RESUMEN

Ferocactus viridescens es una especie cuasi endémica de Baja California y tiene estatus de amenazada en la Norma Oficial Mexicana 059 de Semarnat 2010. Habita en una transición del matorral rosetófilo costero y el matorral costero. Su hábitat está siendo destruido debido al cambio de uso de suelo hacia desarrollo urbano y agrícola. Cuando hay cambio de uso de suelo la normatividad mexicana obliga a que los individuos sean rescatados y reubicados. Sin embargo, no hay muchos estudios sobre las condiciones específicas en que viven los individuos con respecto a sus vecinos y no hay recomendaciones puntuales sobre como reubicarlos. En seis sitios cercanos a Ensenada, Baja California, México se estudiaron aclimataciones como la inclinación y orientación de los tallos de *Ferocactus viridescens*, la longitud de espinas y densidad estomáticas en individuos creciendo bajo sombra y a cielo abierto. Asimismo, se estudiaron las relaciones espaciales con juveniles adyacentes y arbustos vecinos. También se estudió la germinación en relación con gradientes lumínicos. Para el levantamiento de campo se usó un cuadrante de 15x15m en cada sitio y se midieron mínimo 20 individuos por cuadrante. La inclinación del tallo promedio con respecto a la vertical fue de 20° para los seis sitios. Asimismo, el análisis con estadística circular mostró que la orientación del tallo no fue al azar sino hacia los 185° en promedio para los seis sitios de estudio. Del total de las plantas estudiadas solo el 19% se encontró bajo arbustos mientras que el 81% en espacios abiertos, sugiriendo predilección por los espacios abiertos. Se encontró que los individuos tienden a establecerse a mayores distancias de sus vecinos al sur cuando éstos son grandes, sugiriendo que evitan sus sombras. En cambio esas tendencias no son tan obvias para vecinos al norte. Los juveniles tienden a establecerse en los lados este, sur y oeste de una planta madura pero no en el norte de ésta. Esto sugiere que se evita la sombra proyectada por la planta grande. Cuando los individuos se encontraron debajo de un arbusto éste fue principalmente caducifolio. Asimismo, los individuos bajo sombra presentaron menor longitud de sus espinas que individuos completamente expuestos. La germinación fue similar a completa exposición y a media sombra, pero mucho menor a mayor oscuridad. Con base en estos resultados se concluye que *Ferocactus viridescens* se ve limitado en su supervivencia por una baja luminosidad. Los resultados de esta investigación serán un apoyo para los programas de rescate y reubicación de individuos. Por ejemplo, durante las labores de rescate se recomienda marcar la orientación del ápice de los individuos para reubicarlos con la misma orientación. Al reubicarlos se debe evitar la presencia de vecinos grandes hacia el sur que proyecten mucha sombra. Asimismo, por el tamaño de las espinas es fácil reconocer organismos recolectados bajo la sombra de arbustos de aquellos recolectados en espacios abiertos, y se recomienda reubicarlos en condiciones de luminosidad pertinentes.

1. INTRODUCCIÓN

México es el centro más importante del mundo en concentración de cactáceas. Los cactólogos reconocen la existencia de 913 taxones, conformado por 669 especies, las cuales se encuentran agrupadas en 63 géneros, y se reconocen 244 subespecies (Guzmán *et al.* 2003). La diversidad de la familia Cactaceae en la península de Baja California, incluyendo sus islas, está representada por 13 géneros, 104 especies y 129 taxa infraespecíficos; de ellos, 71 (68%) especies y 92 (71%) taxa infraespecíficos son endémicos de la región. Los géneros con mayor cantidad de especies son *Mammillaria* (32), *Opuntia* (32) y *Ferocactus* (11) (Rebman, 1999). El alto endemismo en especies de cactáceas y la alta especificidad ambiental de sus poblaciones, es la causa de que muchas poblaciones y especies se encuentren en alguna categoría de riesgo de extinción. Además, el lento crecimiento de estos organismos, hace que sus poblaciones se recuperen muy lentamente de los disturbios poblacionales, ocasionados de manera natural o como consecuencia de la actividad humana (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999).

El género *Ferocactus* es un taxa casi endémico de la República Mexicana, ya que de las 25 a 30 especies que contiene el género (según la autoridad que se consulte; Cota y Wallace, 1997), solo cinco de ellas se extienden más allá del territorio mexicano; las restantes son endémicas de nuestro país (Hernández y Godínez, 1994). Diez especies del género *Ferocactus* están registradas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-Semarnat-2010, cuatro en estado de amenazadas y seis bajo categoría de protección; ocho de las diez son endémicas de México (Semarnat, 2010). El resto de las especies no están registradas en la norma porque aún conservan poblaciones que resguardan su pool genético. Según Robbins y Bárcenas-Luna (2003) de los organismos que más se manejan dentro del tráfico ilegal de especímenes, son los del género *Ferocactus* y ocupan el tercer lugar en el número de especímenes recuperados de las colectas furtivas. Esto sugiere que el género es atractivo para los coleccionistas tal vez debido a sus características distintivas, además de ser raro y no fácil de conseguir. En México varias especies del género *Ferocactus*, están dentro de áreas naturales protegidas (ANP). De las seis especies bajacalifornianas que están dentro de la NOM-059, solo *Ferocactus viridescens* no se encuentra dentro de un Área Natural Protegida (ANP) que la proteja (Delgadillo, 2002). *Ferocactus viridescens* por su

distribución costera y por limitarse a altitudes menores de 400 msnm (González-Abraham *et al.* 2010) queda fuera de dos ANP's interiores y cuyas altitudes son mayores a 1500 msnm: Parque Nacional Constitución 1857 (Laguna Hanson) y Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir. Asimismo, por distribuirse de Tijuana a San Quintín queda fuera del ANP del Área de Protección de Flora y Fauna Valle de los Cirios que sí incluye zona costera pero que inicia al sur de San Quintín.

El cactus de barril (*Ferocactus viridescens*) es considerada cuasi endémica del estado de Baja California ya que el 95 % de sus poblaciones se encuentran en el estado y solo existen pequeñas y aisladas poblaciones en San Diego, California, E.U.A. La especie se distribuye en el Noroeste de Baja California en una transición entre el matorral costero y el matorral rosetófilo costero justo en la zona mediterránea de Baja California (González-Abraham *et al.* 2010). Su distribución es discontinúa en pequeños parches de manera natural y de forma litoral desde San Diego hasta San Quintín (Delgadillo, 2002; Vanderplank, 2011).

La zona que abarcan las ciudades de Tijuana, Tecate, Rosarito y Ensenada ha concentrado un crecimiento tanto en población humana y económica debido al desarrollo geopolítico y al clima mediterráneo que permite el aprovechamiento de los recursos naturales; tales como turístico y agrícola en esta región (Bringas-Rábago, 1995 y 1999). Estas zonas de gran presión por el desarrollo coinciden con la distribución de *Ferocactus viridescens*. Y es probable que el conjunto de estos factores (endemismo, población discontinua en pequeños parches y distribución coincidente con zona de gran presión de desarrollo) hayan motivado su registro, con categoría de Amenazada, en la Norma Oficial Mexicana (NOM 059-SEMARNAT-2010). Debido a este registro en la NOM, la autoridad ambiental (i.e. SEMARNAT) condiciona los permisos de cambio de uso de suelo a que se rescate y reubique a los individuos de *Ferocactus viridescens* localizados en el área.

Los programas de rescate y reubicación de individuos requieren de información técnica para seleccionar los micrositios en donde se pueden reubicar los individuos sobre todo en aquellos en donde se pronostique mayor establecimiento y supervivencia. Esta información es necesaria tanto para el técnico que realiza las labores de rescate y reubicación, como para la autoridad que inspecciona el proceso. Sin embargo, no existe información técnica sobre este tema para *F. viridescens*. Los actores locales utilizan información sobre cactáceas en

general tanto para trasplantar como para reubicar a los individuos de esta especie. Sin embargo, se requiere conocimiento específico de la especie en particular, por ejemplo, si se establece bajo la sombra de los arbustos o en los claros. También puede existir aclimatación morfológica cuyas variaciones podrían indicar cómo y dónde creció el individuo y por lo tanto la forma específica en que se debe reubicar. El reconocer esas características por parte de los actores locales podría facilitar y mejorar el manejo de la especie. En este trabajo se estudian algunas características morfológicas que pueden variar según la posición del individuo con respecto al sol y las sombras de los vecinos. Asimismo, también se estudia su presencia en espacios abiertos en comparación con espacios cerrados ya que esto indica en qué micrositios se establece mejor el individuo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Descripción biológica de *Ferocactus viridescens* (Torrey & A. Gray) Britton & Rose var. *viridescens*

Ferocactus viridescens (Torrey & A. Gray) Britton & Rose es un cacto de tallo globoso, es decir con altura similar al diámetro (Vázquez-Sánchez *et al.* 2012), generalmente de 10 a 20 cm de altura y diámetro, pero en algunas localidades puede ser cilíndrico (observación personal), es decir con altura hasta dos veces mayor que el diámetro (Vázquez-Sánchez *et al.* 2012). El tallo es de color verde oscuro algo brillante. Tiene de 13 a 25 costillas obtusas algo tuberculadas, es decir con una protuberancia carnosa debajo de cada areola. La areola es la zona donde crecen las espinas y flores de las cactáceas (Arreola-Nava, 1997; Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). En esta especie las areolas son ovaladas en la parte espinífera, de unos 8 a 12 mm de longitud y de 5 a 8 mm de anchura. Hay dos tipos de espinas: radiales y centrales. En cada areola se desarrollan de 8 a 15 espinas radiales, las cuales son subuladas, en algunos especímenes las superiores setosas y radiadas. Hay cuatro a nueve espinas centrales las cuatro más grandes dispuestas en forma de cruz; son aplanadas de hasta 5 cm de longitud y 5 mm de anchura, la central superior encorvada hacia arriba, redondeada o aplanada no tan fuerte como la inferior, las dos laterales redondeadas. El nombre del género, *Ferocactus*, significa “cacto feroz” y proviene de las características de las espinas centrales que son duras y grandes (Britton y Rose, 1922; Rebman y Roberts, 1989). Entre la porción espinífera y la florífera existen espinas glandulares rojizas, circulares, de 2 mm de longitud, persistentes y volviéndose más conspicuas en las areolas viejas, estas espinas modificadas producen néctar extrafloral (LeVan *et al.* 2013). Las flores se desarrollan solamente en las areolas jóvenes del ápice del tallo, de 5 cm de longitud y 6 cm de diámetro, anchamente campanuladas, de color amarillo verdoso, rojizo a los lados; es este color verdoso de la flor lo que le da el nombre a la especie: *viridescens* que proviene del latín, significando que se pone verde (Mecham, 1967). Los segmentos exteriores del perianto elípticos hasta obovados, rojos, con el borde amarillo verdoso, los superiores amarillos con franja media roja, con el margen ciliado y el ápice obtuso; segmentos inferiores de perianto de 3 cm de longitud y 8 mm de anchura, margen aserrado, amarillos con la franja media roja; estambres de 1 a 2 cm de longitud; estilo de 2.5 cm de diámetro,

amarillos, 15 lóbulos del estigma extendidos. Sus frutos van de 3.5 cm de longitud a 2.5 cm de diámetro, al principio de color verde o rojizo, cuando maduran amarillo, provistos de escamas con forma de luna, al principio carnosas y después membranosas. Semillas anguladas, de 1.5 mm de longitud y 0.7 mm de espesor, con testa hundida, negra, hilo pequeño, blanco y circular (Benson, 1969). El número cromosómico de *Ferocactus viridescens* es de 11 (Pinkava *et al.* 1973).

Existen dos variedades de *Ferocactus viridescens*: var. *viridescens* y var. *littoralis*. *Ferocactus viridescens* (Torrey & A. Gray) Britton & Rose var. *littoralis* (Lindsay) F. & R. Wolf se distribuye principalmente en la costa de Santo Tomas y en el sur de Eréndira, aunque ha sido reportado en otras localidades al norte de Ensenada y en los alrededores de la Misión de Santo Domingo. Crecen a los 800-1000 m de altitud. Difícilmente está presente y se conoce muy poco de ella, pero comparativamente es más robusto y resistente que la var. *viridescens*. Distinguido por su mayor altura, por su mayor número de costillas y espinas centrales, su espinación es más cerrada y su color más dorado. Su tallo es solitario y en raras ocasiones se ramifica en la base, tiene 30 cm de altura y 18 cm de diámetro, la var. *littoralis* suele ser más largo y espinosa que la var. *viridescens*. Se pueden apreciar cerca de 21 a 34 costillas que no son tuberculadas. Tiene de 15 a 24 espinas radiales que van de amarillentas a blancas; cerca de siete a nueve espinas centrales de coloración amarillenta a rosácea, con cuatro espinas principales en forma de cruz, con 3-5 espinas adicionales. Sus flores son más pequeñas en diámetro y longitud comparados con la var. *viridescens*, sin embargo los estigmas de la var. *littoralis* pueden ser amarillos y rojos y en la otra subespecie solo de color amarillo. Sus frutos también son de menor tamaño, pero ambas subespecies comparten las mismas características en el tamaño y color de la semilla (Pilbeam y Bowdery, 2005).

2.2 Distribución

Ferocactus viridescens se distribuye en el noroeste de la península de Baja California, desde San Diego, California, hasta San Quintín, Baja California (Benson, 1969). En el condado de San Diego se encuentra en laderas arenosas y gravosas dentro del chaparral a una elevación de 10 a 150 msnm, a todo lo largo de la costa desde el sur de Del Mar (Ludka, 2009) hasta Otay. Bravo-Hollis & Scheinvar (1999) mencionan que *Ferocactus viridescens* crece sobre suelos arcillosos y de tipo adobe, sobre laderas con pastos y sobre

mesetas. En Baja California se distribuye en zonas mediterráneas dentro del matorral costero rosetófilo (González-Abraham *et al.* 2010), también se halla en la transición de chaparral y matorral costero rosetófilo (Delgadillo, 2002). Se restringe a laderas con orientación sur-este (Ehleringer y House, 1984) y en las mesetas de los cerros. Se presenta de forma discontinua, de manera natural y pocas veces tierra adentro. La especie se puede localizar en el corredor turístico Tijuana-Rosarito-Ensenada y hasta San Quintín a línea de costa (Bringas-Rábago, 1995; Frejomil *et al.* 1997 y Carmona-Mares y Correa-Miranda, 2008). Nobel (1982) estudió la tolerancia a bajas temperaturas y endurecimiento en las cuatro especies de *Ferocactus* en el Suroeste de E.U., concluye que *Ferocactus viridescens* es la especie más sensible al frío tolerando solo -6.1 ± 0.7 °C, por lo que sugiere se limita a regiones menos frías como las costeras del sureste de California y Baja California. Smith *et al.* (1984) investigaron la tolerancia a altas temperaturas en las mismas cuatro especies de *Ferocactus*, concluyeron que *Ferocactus viridescens* no tolera altas temperaturas (solo de 45° a 55° C) y presentó desecación del tallo y muerte del tejido al tercer día de un experimento a 50°/60° C, en contraste con las otras especies que habitan en regiones desérticas que soportaron hasta una semana. Esto sugiere que *F. viridescens* tolera temperaturas templadas como las de la región mediterránea de Baja California, justo donde se distribuye, pero no los extremos de temperatura más pronunciados como los de regiones desérticas aledañas.

2.3 Estructuras reproductivas

La floración en *Ferocactus* es determinada (es decir solo una flor por aréola), y delimitada hacia el ápice por la limitación de meristemas (producción de nuevas areolas) (McIntosh, 2002). Martínez (1997) encontró que *Ferocactus viridescens* florece de mayo a junio y produce pequeños frutos a finales del verano. Por otra parte LeVan *et al.* (2013) señala los mismos meses de floración pero encontraron que los frutos se producen a partir de julio y hasta principios de otoño. Los nectarios extra florales en *F. viridescens* se forman a partir de las areolas en el meristemo apical y suelen ser más activos durante la etapa de botón (Ludka, 2009). El número de flores encontrado por Martínez (1997) fue de 10-17 por individuo y halló 11-17 frutos por individuo. Mientras tanto, LeVan *et al.* (2013) encontró que el número de flores dependió de las interacciones biológicas siendo entre 19-20 flores por individuo. Y un promedio de 12-14 frutos por individuo. Las precipitaciones de

invierno y de verano en el desierto de Sonora, permiten florecer dos veces a los cactus de barril (McIntosh, 2002), mientras que las lluvias de invierno del sur de California son seguidas por una larga sequía en verano, que posiblemente limite a un solo evento reproductivo en *Ferocactus viridescens*.

Los polinizadores importantes para *Ferocactus viridescens* son las abejas, LeVan *et al.* (2013) mencionan tres categorías: las abejas de los cactus [*Diadasia* spp. (*australis* complex)], abejas de la miel (*Apis mellifera*), y pequeñas abejas nativas [*Anthophorula* spp. (Apidae), *Halictus tripartitus* (Halictidae), *Lasioglossum* spp. (Halictidae) y *Macrotera tristella* (Andrenidae)].

Se han estudiado algunas interacciones presentes en *Ferocactus viridescens* principalmente con hormigas, y chinches. En *F. viridescens* usualmente llegan *Narnia wilsoni* y *Leptoglossis* (Chinches) que se alimentan principalmente de brotes y frutos inmaduros. Los daños ocasionados por estos herbívoros reducen la masa de semillas de cada espécimen; se conoce que el daño causado por herbívoros afecta el éxito del reclutamiento durante las sequías en otras especies de cactus, incluyendo al cactus barril (Bowers y Pierson, 2001). Por otra parte, los nectarios atraen hormigas que protegen contra estos herbívoros. Si hay presencia de la hormiga Argentina (*Linepithema humile*) que es invasora, ésta presenta una mayor ocupación en los cactus y estructuras reproductivas del individuo que las nativas. La hormiga nativa *Crematogaster californica*, disminuye sus visitas florales en presencia de la hormiga Argentina. Los polinizadores realizan menores visitas florales al cactus cuando son ocupados por hormigas Argentinas (*L. humile*) que cuando son visitados por *C. californica* (LeVan *et al.* 2013). Otras especies presentes en las interacciones hormiga-planta son: *Dorymyrmex insanus*, *Pseudomyrmex apache*, *Camponotus* sp., *Formica* sp., *Prenolepis imparis*, *Solenopsis molesta*, *Solenopsis xyloni* y *Temnothorax nevadensis* (Ludka, 2009).

2.4 Semillas: dispersión y germinación

El número de semillas por fruto de *Ferocactus viridescens* varía de 700-1000 semillas/fruto (Martínez, 1997). LeVan *et al.* (2013) encontraron de 500 a 700 semillas/fruto.

Los animales frugívoros son los más importantes dispersores de semillas en hábitats áridos y semiáridos, estos pueden ser pájaros, roedores, hormigas, lagartos y algunos mamíferos (Rojas Aréchiga y Vázquez-Yanes, 2000, LeVan, 2013). Los frutos que poseen pulpa

(frutos carnosos) los consumen principalmente frugívoros, los cuales dispersan las semillas al regurgitar o al defecar, así mismo aceleran su germinación en contraste con las obtenidas directamente del fruto (Traveset, 1998; Escobar y Huerta, 1999). Vargas-Mendoza, M.C. y González-Espinosa, M. (1992) dicen que los roedores destruyen completamente la semilla. Las semillas de *Ferocactus* pueden resistir ser consumidas, regurgitadas y defecadas por animales, pues se caracterizan por tener testa gruesa que les permite resistir los ácidos gástricos y enzimas de los animales (Del Castillo RF, 1988). LeVan *et al.* (2013) estudiaron la interacción que hay entre las hormigas y *Ferocactus viridescens* y encontraron que *Linepithema humile* y *Crematogaster californica* actúan como dispersores de semillas.

La germinación de semillas se define como una serie de eventos metabólicos y morfogenéticos que inician la transformación de un embrión en una plántula capaz de valerse por sí sola y convertirse en una planta adulta. El proceso de la germinación se cumple justo en el momento en que la testa se rompe y la radícula emerge. Una vez fuera, la radícula penetra en el suelo, construye pelos absorbentes e inicia la absorción de nutrientes del suelo (Barceló-Coll *et al.* 2005).

En las semillas de cactus, la temperatura favorable para la germinación oscila entre 17 y 34°C, con valores óptimos frecuentemente en 25° C (Del Castillo, 1988; Nobel, 1988; Rojas-Aréchiga *et al.* 1998). Rojas-Aréchiga *et al.* (1997) sugiere que los cactus de barril pueden germinar en la superficie del suelo donde la luz y altas temperaturas están presentes mientras que las cactáceas columnares pueden germinar subterráneas donde las temperaturas no son tan altas y la luz puede estar ausente. Romero-Schmidt *et al.* (1992) encontraron que *Ferocactus peninsulae* presentó mayor germinación a la luz que cuando sus semillas se transfirieron de la oscuridad a la luz, aunque no investigaron si esto fue debido a daños en la semilla o si la oscuridad induce latencia en ellas. Cota-Sánchez (1984) germinó *Ferocactus latispinus var. spiralis* obteniendo >70 % de germinación a 40° C. Martínez (1997) realizó ensayos de germinación con semillas de *Ferocactus viridescens* en cajas de Petri en un ambiente controlado con una temperatura de 25° C y fotoperiodo de 16 h luz/8 h oscuridad; de 950 semillas obtuvo el 40 % de germinación entre los 10 y 15 días tras su siembra.

2.5 Establecimiento y relaciones espaciales

Se conoce como nodricismo al proceso de facilitación que ocurre cuando una planta, la protegida, se establece debajo del dosel de otra especie, la nodriza, creando relaciones espaciales nodriza-protégida (Muñoz-Urías *et al.* 2012). La planta nodriza proporciona micro ambientes edáficos y climáticos menos limitantes para el crecimiento de la protegida, reduciendo las máximas temperaturas en tejidos de plántulas hasta de 15° C (Ellner y Shmida, 1981 y Nobel, 1998); el micro ambiente debajo del dosel de los arbustos es más fresco en días calurosos y resguarda a las plántulas de heladas durante noches frías, asimismo, existe menor radiación solar y mayor disponibilidad de humedad (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991 y Flores y Jurado, 2003). Esta interacción le permite a las plántulas una mayor supervivencia en contraste con las que se localizan fuera de su nodriza (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Esto ocurre en la etapa más sensible de una planta a las condiciones ambientales: el establecimiento de plántulas. (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991 y Muñoz-Urías *et al.* 2012).

El nodricismo es una respuesta común en zonas áridas y semiáridas (Franco y Nobel, 1989; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Flores y Jurado (2003) mencionan que las familias que habitualmente funcionan como nodrizas son *Fabaceae*, *Asteraceae* y *Mimosaceae* mientras que las familias que contienen el mayor número de especies que requieren nodricismo son *Cactaceae*, *Poaceae* y *Asteraceae*. Sin embargo, no todas las cactáceas requieren nodricismo, es decir existen individuos que toleran condiciones ambientales sin protección, pueden establecerse sin estar asociadas con plantas nodrizas (Nobel, 1986 y Rodríguez y Ezcurra, 2000). No se han realizado estudios sobre la posibilidad de nodricismo en *Ferocactus viridescens*.

2.6 Crecimiento

En las cactáceas el crecimiento se origina por la actividad de los meristemas vegetativos que se localizan en las aréolas de los tallos. (Bravo-Hollis & Scheinvar, 1999).

En *Ferocactus* en general las plantas constan de un solo tallo cubierto con areolas y el crecimiento vegetativo tiene lugar solo en el tallo; no presentan reproducción clonal. La región apical es muy importante pues es allí donde se localiza el meristemo apical que da origen al crecimiento de todo el tallo (McIntosh, 2002). Martínez (1997) observó areolas

nuevas de color rojo intenso en la parte apical de *F. viridescens* en los meses de febrero y marzo lo que indica el periodo en que se inicia su crecimiento vegetativo.

Ferocactus viridescens llega a crecer hasta los 30 cm de altura y 30 cm de diámetro (Benson, 1969) sin embargo, se han encontrado especímenes de mayor altura. Pilbeam y Bowdery (2005) mencionan individuos que alcanzan 1.4 metros de altura y 40 cm de diámetro.

2.7 Aclimatación en plantas

Las aclimataciones son cambios fisiológicos, anatómicos y morfológicos que le suceden al individuo para soportar el estrés o cambios ambientales (Lambers *et al.* 1998). Los cambios ambientales causan varios efectos observados en diferentes procesos específicos como el crecimiento, la fotosíntesis, la morfología de los órganos de la planta, cambios fisiológicos en los individuos y en la tolerancia a factores como salinidad y radiación dando como resultado un ajuste homeostático (Lambers *et al.* 1998; Salisbury y Ross, 2000).

2.8 Aclimatación en la orientación e inclinación de los tallos

Algunas especies de cactáceas inclinan los tallos hacia el ecuador, por ejemplo, *Cephalocereus columna-trajani* (Zavala-Hurtado *et al.* 1998), *Carnegiea gigantea* (Yeaton *et al.* 1980; Geller y Nobel, 1986); *Myrtillocactus geometrizans* (Rosas, 2010).

Nobel (1981) encontró que los cactus de barril con un solo tallo cilíndrico *Ferocactus* y *Copiapoa* tiende a inclinarse hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur lo que les confiere claros beneficios en términos de intensidad de la luz (Cuadro 1). De hecho a *Ferocactus cylindraceus* (antes *Ferocactus acanthodes*) se le conoce como “cacto brújula” por la manera de inclinarse (Nobel, 1981). Por su parte *Ferocactus viridescens* tiene una marcada aclimatación en su inclinación y orientación hacia el sur como otros cactus de barril de su género (Nobel, 1981).

Cuadro 1. Orientación de cactus con tallo cilíndrico retomado de Nobel (1981).

Especies	Sitio Latitud, Longitud, elevación (m)	Inclinación respecto a la vertical (°)	Orientación azimutal (°)
<i>Copiapia cinerea</i>	26°09'S, 70°38'W, 70	37±4	12±6
<i>C. lembckeii</i>	26°50'S, 70°48'W, 60	43±6	10±6
<i>Ferocactus cylindraceus</i>	33°39'N, 116°23'W, 300	8±5	171±17
<i>F. covillei</i>	32°00'N, 111°40'W, 1100	12±4	208±15
<i>F. viridescens</i>	32°55'N, 117°15'W, 70	8±3	204±19
<i>F. wislizenii</i>	32°59'N, 111°22'W, 520	17±6	199±14

Nobel (1981) propone que el calentamiento del sol puede secar más la parte expuesta hacia el ecuador mientras que el lado opuesto continua su crecimiento, ocasionando la inclinación del tallo. Sin embargo, la inclinación puede simplemente ser una respuesta del fototropismo al sol. El autor mencionó las consecuencias benéficas de la inclinación: 1) decrece la temperatura del tallo en el verano, 2) incrementa la temperatura del tallo en el invierno, primavera u otoño e 3) incrementa la radiación fotosintéticamente activa (RFA) sobre el tallo. Aunque los efectos de la temperatura mínima serían pequeños, la inclinación podría tener un efecto sustancial en las temperaturas máximas del tallo durante el día (Nobel, 1981).

Las cactáceas están a menudo limitadas por las temperaturas bajas en invierno y temperaturas altas en verano (Zavala-Hurtado *et al.*, 1998). Ehleringer y House (1984) encontraron que en la región apical durante invierno y orientada hacia el sur las temperaturas fueron más cálidas en el tejido durante el día que las del tejido con orientación este-oeste. Se observó una tendencia opuesta en el verano. Este patrón es explicado por el cambio en la declinación del sol entre las dos estaciones. En el invierno, cuando el sol se encuentra más bajo en el cielo, la región apical del tejido y orientada al sur recibe más radiación solar directa y por lo tanto se calienta más durante el día (Ehleringer y House, 1984).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) no sólo puede ser una limitante sino también puede variar marcadamente debido a la trayectoria del sol (Geller y Nobel, 1987; Nobel, 1981). Los niveles de RFA durante el invierno en promedio son bajos y en verano altos, sin embargo debido a la trayectoria del sol la RFA tiende a ser distribuida de forma heterogénea sobre la superficie de un cactus; por ejemplo en la cara sur durante el solsticio de invierno recibe mayor RFA (Geller y Nobel, 1987). Algunas superficies, consecuentemente, reciben

más fotones, mientras que otros son severamente limitados por RFA. Por lo tanto, durante la época del crecimiento vegetativo cuando otros factores como el agua o temperatura no limitan la productividad, características morfológicas que incrementan o interceptan RFA o la distribuyen uniformemente pueden incrementar la absorción de CO₂ por plantas CAM (Nobel, 1977).

2.9 Aclimatación en espinas

Las espinas son órganos característicos de algunas cactáceas. Las espinas son hojas modificadas, sus tejidos se atrofian y una porción de ellas se endurece (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). Las espinas cumplen varias funciones: defensa-protección a herbívora (Arreola-Nava, 1997; Lev-Yadun, 2001), captura de neblina (Ju *et al.* 2012), sombra y regulación de temperatura en el tallo (Nobel, 1978; Arreola-Nava, 1997; Santini *et al.* 2007) y dispersión de propágulos (Arreola-Nava, 1997).

La densidad y tamaño de las espinas pueden disminuir el grado de insolación en el tallo de las cactáceas. Puesto que las plantas nodrizas proporcionan el mismo efecto es posible que cactus muy espinosos no requieran nodricismo (Santini *et al.* 2007). Santini *et al.* (2007) encontró que cactáceas, como *Mammillaria elongata*, *Neolloydia conoidea* y *Cylindropuntia leptocaulis* con mayor densidad de espinas se establecían bajo el dosel de plantas caducifolias como *Acacia constricta* y *Croton mazapensis*; en contraste, las que contenían un menor número de espinas como *Lophophora diffusa* se ubicaban bajo plantas perennifolias como *Larrea tridentata*. Asimismo, en una misma especie el grado de cobertura por las espinas es una característica que se puede aclimatar dependiendo de la irradiación en que se encuentre el individuo (Rodríguez-Ortega 1998, citado en Santini *et al.* 2007). Esto no se ha estudiado en *Ferocactus viridescens*.

Se han realizado muy pocos estudios sobre espinas en *Ferocactus viridescens*. Según Nobel (1980, 1984) esta especie no desarrolla numerosa cantidad de pubescencia apical lo cual le perjudica en la tolerancia a máximas y mínimas temperaturas (65°/1.9° C), también contribuye un pobre desarrollo de sus espinas en el ápice que podrían proteger ante ambientes extremos.

2.10 Índice y densidad estomática

El intercambio de gases en las plantas se lleva a cabo a través de las estomas en la epidermis. Los estomas son responsables de la toma de CO₂ y de la pérdida de agua durante

la transpiración (Barceló-Coll *et al.* 2005). En el caso de las biznagas el intercambio de gases se realiza principalmente durante la noche, es decir los estomas se abren en la noche mientras que en el día permanecen cerrados. Esto es debido a que poseen fotosíntesis CAM (Barceló-Coll *et al.* 2005).

La densidad estomática es el número de estomas por área mientras que el índice estomático es la relación entre el número de células epidérmicas y el número de estomas. Ambas características están fuertemente influenciadas por la especie (Tel-Zur *et al.* 2010). Sin embargo, esas características también pueden ser ajustadas en una misma especie de acuerdo a condiciones ambientales específicas lo que se conoce como aclimatación. Por ejemplo, al aumentar los niveles de CO₂ o disminuir la irradiación disminuye la densidad e índice estomático en *Arabidopsis thaliana* (Lake *et al.* 2001). También se ha encontrado que hojas de sombra tienen menor densidad estomática que hojas de sol en una misma planta de manglar (Kao, 2006). El rango de densidad estomática en cactáceas es de 15 a 60 estomas por mm² (Nobel, 1998). En cactáceas se ha observado que la densidad estomática puede variar entre poblaciones de la misma especie (Hernández *et al.* 2007) pero no se conoce si puede haber aclimatación en un mismo sitio. Sin embargo, hasta donde sabemos no existe información acerca de la densidad e índice estomático para *Ferocactus viridescens*.

El tipo, tamaño y posición de los estomas son características que se usan para la clasificación taxonómica de géneros y tribus (Loza y Terrazas, 2003). Eggli (1984) investigó el tipo de estomas en la familia de las cactáceas, encontró que *Ferocactus townsendianus* presenta estomas de tipo paralelocítico, con 4-6 células subsidiarias, con ubicación topografía superficial sobre el tallo y orientación aleatoria con respecto al eje del tallo. No hay información para *F. viridescens*, sin embargo, por pertenecer al mismo género, es probable que las características de los estomas podrían ser muy parecidas.

2.11 Dinámica poblacional

Se han realizado dos estudios poblacionales en Baja California, el primero fue de Martínez (1997) quien estudió la estructura poblacional y dinámica de la reproducción de *Ferocactus viridescens* durante tres años en dos sitios en los alrededores de Ensenada. Martínez (1997) encontró que a partir de los 3cm de altura los especímenes de *Ferocactus viridescens* ya cuentan con estructuras reproductivas. Menciona que las poblaciones que estudió no

presentan curva tipo J, que representaría la población estable, encontró mayor número de individuos juveniles y adultos. Sin embargo, menciona que en uno de los sitios de estudio la especie podría perdurar debido al éxito en reclutamiento observado, a diferencia del otro sitio en donde se presentó un incendio.

Delgadillo (2002) estudió la densidad y estructura poblacional de *Ferocactus viridescens* muestreando dieciséis sitios en Baja California. El total de individuos registrados fueron 314, los cuales se encontraron desde una densidad de cinco individuos en 400 m² en poblaciones sureñas de San Quintín hasta 60 especímenes en 100 m² al norte de Tijuana. Encontró mayor número de individuos con diámetros entre 5 a 20 cm y un menor número de ellos en diámetros mayores a 20 cm. Este autor no observó establecimiento de plántulas debido a la falta de precipitaciones en su año de estudio.

2.12 Problema de conservación de la especie

El principal problema de conservación de *Ferocactus viridescens* es que gran parte de su distribución coincide con la zona de mayor crecimiento en Baja California. Coincide con los centros de población de Tijuana, Tecate, Rosarito y Ensenada. El desarrollo de estos no respeta valles, cimas o laderas de cerros. Las partes altas de los cerros y sus laderas son especialmente atractivas para la construcción de casas de lujo con vista al mar. En las partes bajas se realizan desmontes para usos agrícolas e industriales. La creación de la carretera escénica Tijuana-Rosarito-Ensenada trajo consigo una carga turística elevada la cual, desató un cambio de uso de suelo regional intensivo en la zona litoral, se han realizado construcciones a los alrededores del corredor aumentando el valor del uso de suelo y a largo plazo se verá reflejado en afectaciones negativas para el medio ambiente (Bringas-Rábago, 1995; Frejomil *et al.* 1997 y Carmona-Mares y Correa-Miranda, 2008). Otro problema al que se enfrenta la especie es la colecta furtiva de especímenes con fines de ornato (Robbins y Bárcenas-Luna, 2003), así como para la elaboración de dulce conocido como acitrón (comunicación personal de al menos tres familias que solían coleccionar biznagas para este propósito).

2.13 Manejo de la especie

En la actualidad la SEMARNAT es la institución rectora de la conservación y del buen uso de los recursos naturales renovables de nuestro país en tanto que la PROFEPA es la

instancia que vigila el cumplimiento de las medidas de control sobre el uso de los recursos. Según la Ley general del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) para permitir un cambio de uso de uso de suelo requiere que se haga un estudio de impacto ambiental (Semarnat, 1988). Al momento en el que un promovente solicita un permiso para cambio de uso de suelo, las leyes y reglamentos estipulan que se debe presentar un informe preventivo de la zona que será afectada, así como un estudio de impacto ambiental de ser necesario. Este estudio de impacto ambiental como estipula la LGEEPA debe contener entre otros: *“una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente”* (Semarnat, 1988). Además su reglamento determina que contenga la identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional; estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional (Semarnat, 2012). Conforme a la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2003), si se encuentran especies enlistadas de la NOM 059 se debe de hacer un programa de Rescate de especies en el área afectada: *“Las autorizaciones que se emitan deberán integrar un programa de rescate y reubicación de especies de la vegetación forestal afectadas y su adaptación al nuevo hábitat. Dichas autorizaciones deberán atender lo que, en su caso, dispongan los programas de ordenamiento ecológico correspondiente, las normas oficiales mexicanas y demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables”* (LGDFS, 2003).

Basado en el reglamento de LGEEPA (Semarnat, 2012) y en algunos apartados del reglamento de la ley forestal sustentable (Semarnat, 2005) el promovente hace entrega de documentos, y después de una serie de pasos resumidos en la figura 1, se emite la resolución y las medidas preventivas y de mitigación para el promovente. Se tienen tres opciones de resolución: se le autoriza en los términos manifestados, se autoriza condicionadamente o se niega la autorización. Generalmente una de las condicionantes es que se rescaten y reubiquen los individuos de las especies enlistadas en la NOM-059.

Debido al problema de conservación anteriormente descrito, *Ferocactus viridescens* posee estatus de amenazada en la Norma Oficial Mexicana 059 de Semarnat (2010). Al estar

enlistada en esta norma, cuando existe cambio de uso de suelo la normatividad mexicana obliga a que los individuos sean rescatados y reubicados. Como esta normatividad no es exclusiva para la especie, las leyes no detallan ni se dan lineamientos de la forma en que se debe reubicar a los organismos. La forma y detalles de la reubicación la definen entre los consultores ambientales y la autoridad ambiental.

TRÁMITE PARA LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

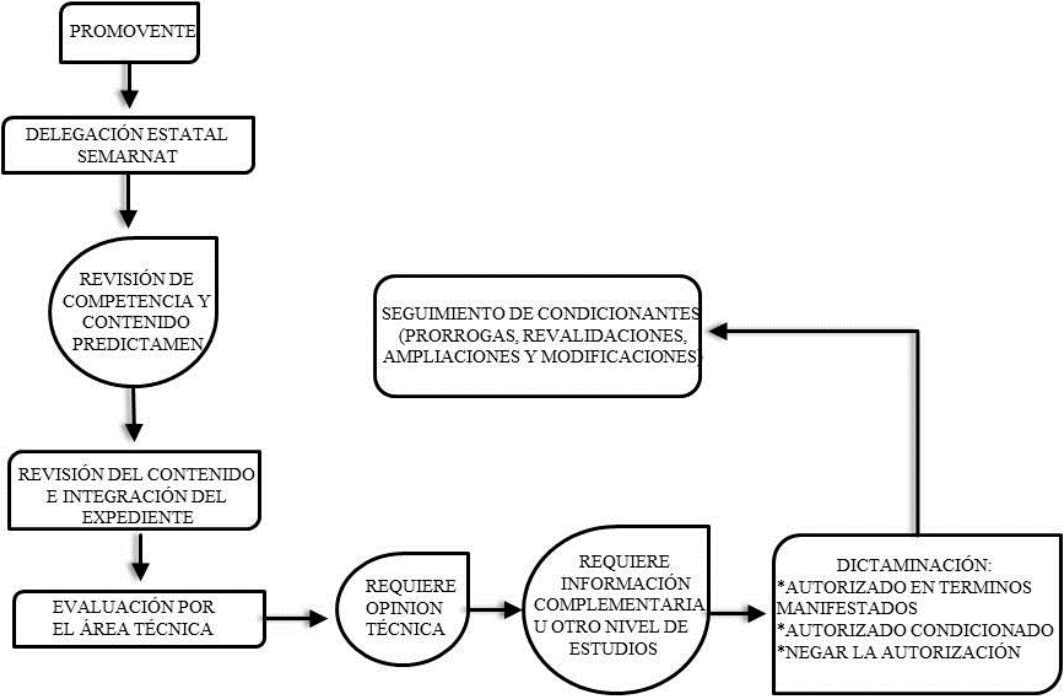


Figura 1. Diagrama para la resolución de una evaluación de impacto ambiental.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Aportar información técnica para el apoyo a programas de rescate y reubicación de individuos de *Ferocactus viridescens* en los alrededores de Ensenada, Baja California, México.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de la exposición a la luz natural y sombra en la germinación de *Ferocactus viridescens*.
- Determinar la mejor técnica de germinación para *Ferocactus viridescens*.
- Analizar las relaciones espaciales de *F. viridescens* con sus vecinos arbustivos.
- Identificar aclimataciones con respecto a la orientación de los individuos.
- Identificar aclimataciones en individuos expuestos al sol e individuos en sombra.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Desarrollo urbano y agrícola de la región

Los seis sitios de estudio se localizan en los alrededores de la Ciudad de Ensenada, Baja California, ubicada a 31°52' latitud norte y a 116°37' longitud oeste a unos 100 km de la frontera México-Estados Unidos. La ciudad de Ensenada cuenta con una población de 279,765 habitantes (INEGI, 2010). Su mancha urbana se localiza principalmente en zonas de baja pendiente que corresponde a las planicies costeras (PDUCPE-2030, 2009), sin embargo, el crecimiento se identifica cada vez más en terrenos elevados (IMIPE, 2008). En cimas y laderas de cerros hay dos tipos contrastantes de desarrollo urbano uno se da en los cerros más costeros con vista al mar, este suele ser atractivo para personas de alto poder adquisitivo (Observación personal), el otro tipo es en cerros alejados de la costa, colindando con colonias populares, este es accesible para personas de bajo poder adquisitivo. Existen también casos extremos en que laderas pronunciadas han sido invadidas, es decir, se construyen viviendas sin permiso del dueño del terreno ni del gobierno; al paso de los años se regularizan los terrenos y se proporcionan servicios (electricidad, agua, drenaje) a la zona. Por otra parte, hacia el sur de la ciudad existe una planicie costera que se expande a zonas agrícolas. Tanto el desarrollo urbano como el agrícola han originado el desmonte excesivo y desordenado de la vegetación para el cambio de uso de suelo (IMIPE, 2008). Así, el resultado final es que todas las zonas planas de Ensenada ya están desmontadas y ocupadas por desarrollos urbanos y agrícolas; por ahora, los cerros, principalmente de la periferia, son los que conservan parches de vegetación natural.

4.2 Clima

El clima de Ensenada de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen es: BSK(s) (e), perteneciente al grupo de climas secos y áridos, el cual es templado con lluvias en invierno, conocido como mediterráneo con una temperatura media anual de 17.3° C (modificado por García, 1981). Precipitación anual de 302 mm presentándose lluvias fuertes de enero a marzo (Figura 2). La neblina costera es una cualidad de la zona, representada por un promedio anual de 22.5 mm (SMN, 2000).

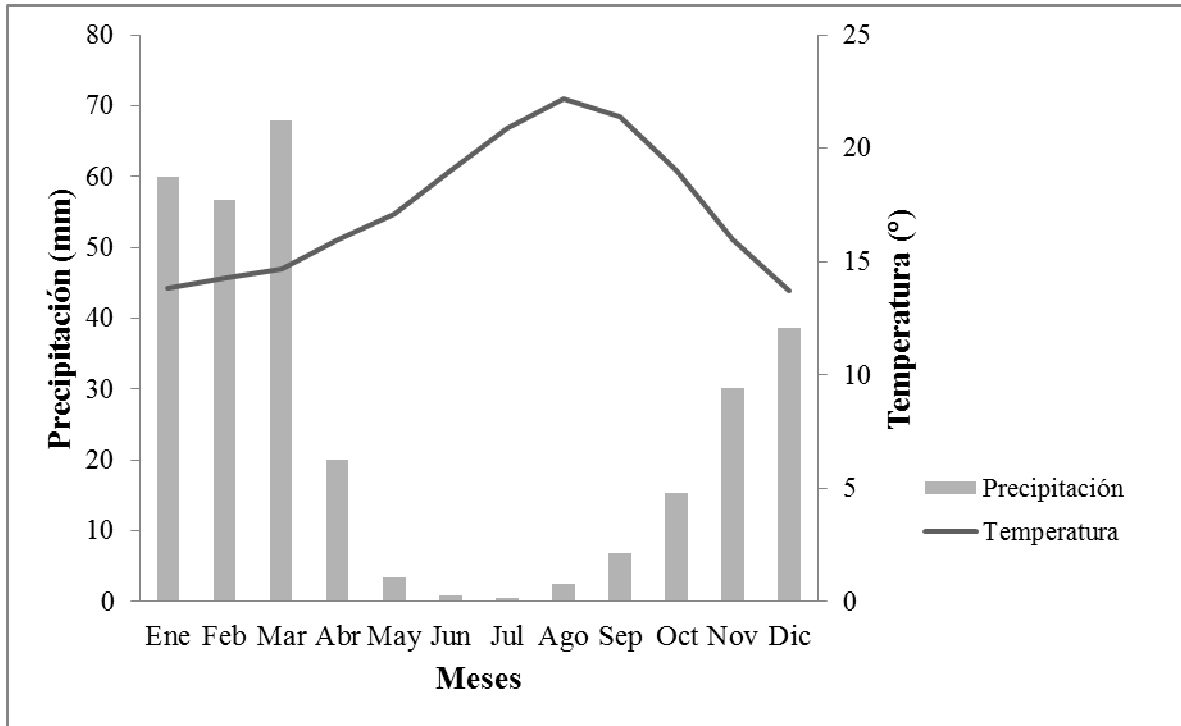


Figura 2. Patrón de precipitación y temperatura media mensual en la Ciudad de Ensenada, Baja California con datos históricos de 1971-2000 en la estación de Ensenada del Servicio meteorológico nacional (SMN).

4.3 Vegetación

La vegetación circundante es principalmente matorral costero y matorral costero rosetófilo (Figura 3). El primero se caracteriza por tener en su mayoría arbustos aromáticos. Se localiza en las pendientes bajas de las montañas, llegando hasta los 600 msnm. Tiene preferencia por acantilados marinos, terrazas fluviales y dunas costeras. Las especies representativas son *Artemisia californica*, *Eriogonum fasciculatum*, *Salvia apiana*, *Hazardia spp*, *Opuntia littoralis* así como algunos arbustos perennifolios como *Rhus integrifolia*, *Malosma laurina* y *Simmondsia chinensis* (González-Abraham *et al.* 2010). El segundo tipo de matorral se identifica por ser más rico en especies. La neblina marina favorece a especies capaces de captar niebla y almacenar su humedad, como las plantas arrosetadas *Agave shawii* y *Duddleya spp*. (González-Abraham *et al.* 2010). Su flora es muy distintiva, conformada por *Ferocactus viridescens*, *Bergerocactus emoryi*, *Cylindropuntias*, *Mammillarias*, *Opuntias* y algunos arbustos como *Hazardia spp* y *Euphorbia misera*. Ambos matorrales se caracterizan por tener un estrato menor a 1.5 metros de altura y con presencia de plantas herbáceas. La diferencia entre ellos es la

presencia notable de plantas suculentas en el matorral costero rosetófilo mientras que no hay, o son muy escasas, en el matorral costero. Un tercer tipo de vegetación que puede estar en las cercanías formando algunos parches, es el chaparral que tiene un estrato mayor de 3 m de altura y con espacios más cerrados, así como la presencia de plantas perennifolias; lo cual contrasta con los matorrales costeros que se caracterizan por tener espacios más abiertos entre sus arbustos, así como la presencia de plantas caducifolias (González-Abraham *et al.* 2010).

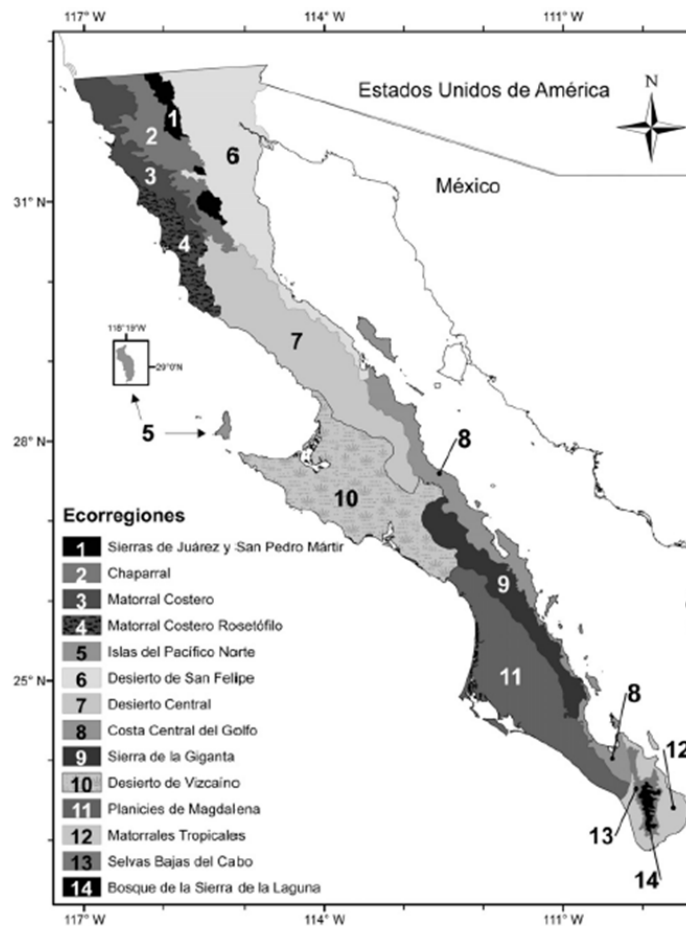


Figura 3. Ecorregiones de la península de Baja California, donde se ubican los matorrales costeros y matorrales costeros rosetófilos, mapa tomado de González-Abraham *et al.* 2010.

4.4 Caracterización de los seis sitios de estudio

Los muestreos fueron realizados sobre cimas y laderas de cerros en las cercanías de Ensenada, Baja California. Se analizaron características para cada uno de los sitios con base en su ubicación y el apoyo de mapas edafológicos y geológicos de INEGI (Cuadro 2).

San Miguel (SM)

El primer sitio de muestreo se ubica en las cercanías de un fraccionamiento exclusivo de Ensenada conocido como Cíbulas del mar a una altitud de 60 msnm a unos 5 km al norte de El Sauzal (Figura 4). Es una zona que no tiene fácil acceso aunque está como a 120 m de la carretera federal 1 Ensenada-Rosarito, para llegar al sitio se requiere caminar por una pendiente pronunciada. El sitio está un poco alterado como lo evidencia la presencia de pastos exóticos. A este sitio le denominamos San Miguel (SM) por estar ubicado en las cercanías de la zona costera de San Miguel. Es un lugar cercano a desarrollos urbanos, la conservación de la vegetación nativa en este espacio parece depender de los planes de ampliación del fraccionamiento Cíbulas del Mar.

Cerro Trinidad (CT)

El segundo sitio de muestreo se localiza en las cercanías del cerro llamado Trinidad a una altitud de 191 msnm, está como a 60 m de caminos de terracería y a 300 m de un fraccionamiento exclusivo colindante del CICESE (Figura 4). Es una zona de cerros que no está urbanizada, los caminos que la atraviesan sirven de senderismo para personas que viven cerca de allí, estos también son usados como rutas de ciclistas y motociclistas. Por el momento la distancia que hay entre las zonas de acceso a servicios como agua y electricidad se considera que el sitio no se desmontará muy pronto. Sin embargo, en el mediano plazo el nuevo libramiento carretero de Ensenada hará que se desarrolle la zona.

Cerro del Cetys (CC)

El tercer sitio de muestreo se localiza en un cerro con una pendiente pronunciada. Está a 600 m de una colonia popular (Figura 4). El sitio se encuentra a un lado de una terracería por la que caminan los habitantes de la colonia popular. Por ello, la zona presenta daño antropogénico visible, contaminación por residuos plásticos, latas y vidrio. Por la cercanía a la colonia popular existe un gran riesgo de que el sitio sea desmontado en el mediano plazo. Este sitio se encuentra cercano al campus del Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS).

Vegüeño ladera (VL)

El cuarto sitio de estudio se sitúa a las afueras del centro de la ciudad de Ensenada aproximadamente a 5 km de Chapultepec y a 4.5 Km de Maneadero al sur por la carretera transpeninsular y girando rumbo al cañón de San Carlos (Figura 4); este sitio se localiza a

una altitud de 250 msnm, el camino para llegar hacia allí es solo de terracería que está a unos 30 m del lugar de muestreo. Por el grado de pendiente que presenta se podría decir que no será desmontado en el largo plazo, de los seis sitios de estudio este es el que presenta las mejores posibilidades de conservación a pesar de que terrenos cercanos al lugar están siendo vendidos y desmontados. Este sitio se encuentra dentro del Rancho “El Vegueño”.

Vegueño cima (VC)

El quinto sitio de estudio está cercano al sitio anterior, solo que con otras características topográficas: se encuentra en una cima con pendiente suave (Figura 4). Se localiza a una altitud de 205 msnm, y hay un camino de terracería a unos 15 metros del cuadrante de muestreo. Al otro lado de la terracería el cerro se encuentra desmontado y es ocupado por pastos exóticos. Está a 600 m de una zona desmontada y lotificada, también en la misma cima del cerro. Por esta cercanía, se considera que será impactado a mediano plazo.

Punta Banda (PB)

Finalmente el sexto sitio de muestreo está ubicado a 43 m de la carretera que dirige hacia el atractivo turístico “La Bufadora”, se encuentra a 130 msnm y a unos 30 km a las afueras de Ensenada (Figura 4). Es de fácil acceso pues se localiza adyacente a la carretera. Es un sitio plano con matorral costero suculento en buen estado de conservación. Sin embargo, a diferencia de los otros sitios de muestreo éste se localiza en una zona de desarrollo turístico y se considera que del total de los sitios estudiados éste podría ser el primero en ser desmontado para convertirse en un área turística o habitacional. A este lugar de muestreo se le denominó Punta Banda (PB) por estar situado dentro de la península del mismo nombre.

Cuadro 2. Ubicación y características de los sitios de estudio de *Ferocactus viridescens* en los alrededores de Ensenada, Baja California.

	SM	CT	CC	VC	VL	PB
Coordenadas	31°54'30"N 116°43'46"W	31°52'52"N 116°39'13" W	31°52'52"N 116°39'13"W	31°44'47"N 116°32'27"W	31°44'53"N 116°32'14"W	31°42'53"N 116°43'45"W
Altura (msnm)	60	191	188	205	250	130
Pendiente del terreno (°)	10	10	16	5	20	10
Exposición del sitio (°)	256	204	140	280	249	180
Tipo de suelo ¹	Regosol	Regosol	Regosol	Regosol	Regosol	Regosol
Textura ¹	Gruesa	Media	Media	Gruesa	Gruesa	Media
Tipo de roca ²	Ígnea extrusiva, basalto de coloraciones rojizas	ígnea extrusiva, andesita de coloraciones gris oscuro	ígnea extrusiva, andesita de coloraciones gris oscuro	Ígnea extrusiva, basalto de coloraciones rojizas	Ígnea extrusiva, basalto de coloraciones rojizas	ígnea extrusiva, andesita de coloraciones gris oscuro

¹Fuente INEGI, carta Edafológica H11B12, 1:250,000

²Fuente INEGI, carta Geológica H11B12, 1:250,000



Figura 4. Mapa de sitios de muestreo para *Ferocactus viridescens* en Baja California, México.

5. METODOLOGÍA

5.1 Pruebas de germinación

Se realizaron dos experimentos de germinación para evaluar los efectos de luz y sombra en la germinación de *Ferocactus viridescens*. Las semillas utilizadas en los experimentos de germinación fueron colectadas de individuos donados de un programa de rescate y reubicación y que yacen en el jardín botánico del Herbario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California campus Ensenada. Para obtener semillas se realizó una colecta de frutos en diciembre del 2011, se anotó la identificación del individuo, sitio de colecta y número de frutos por individuo. Las semillas de cada individuo fueron extraídas del fruto y colocadas en bolsas de papel. Todas las bolsas con las semillas fueron almacenadas en oscuridad por varios meses hasta llevar a cabo los experimentos de germinación.

Experimento 1

El experimento se llevó a cabo en marzo-abril del 2012 en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California, el cual no tiene control de temperatura. El promedio de temperatura mínima y máxima durante el experimento fue de 12° C y 27° C respectivamente. Se utilizaron charolas de plástico para germinación de 200 cavidades que fueron recortadas en pedazos de 20 cavidades. Cada pedazo fue una unidad experimental y en cada cavidad se sembró una semilla. La cavidad representó la unidad observacional. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 18 unidades experimentales (UE) distribuidas en tres tratamientos: 1) plástico, cada unidad experimental se metió dentro de una bolsa de plástico para resguardar la humedad, 2) plástico+aluminio, la UE se tapó con bolsa y sobre ésta papel aluminio provocando oscuridad y por último 3) expuesto, no se le colocó ni bolsa de plástico ni papel aluminio (Figura 5). Cabe destacar que en el tratamiento con aluminio diariamente hubo un minuto de exposición a la luz dispersa del invernadero al momento de contabilizar la germinación. Los pedazos de charola se desinfectaron con cloro al 10% previo a la siembra. Las semillas se dejaron en remojo por 4 horas en una solución con fungicida (Captán al 2.5 g/L). Se utilizó como sustrato turba (peat moss), la cual se humedeció e inmediatamente se mezcló hasta quedar en una aglomeración homogénea. Seguidamente la turba se colocó dentro de las cavidades de las UE. Posteriormente se sembró a una profundidad superficial (de 1 a 2 mm): primero

se depositó una semilla por cavidad y se empujó con la yema suavemente, enseguida se cubrió con una capa de sustrato de poco espesor y se suministró un poco de agua a cada unidad experimental. En cada tratamiento se asignaron al azar seis unidades experimentales. Se observó el desarrollo de la germinación de las semillas durante 30 días para determinar el porcentaje de germinación y el número de días transcurridos tras su siembra. Se usó ANOVA de una vía para evaluar el efecto de los tratamientos en la germinación de semillas. Una vez que se detectaron diferencias significativas se usó una prueba de Tukey para conocer donde estaba la diferencia. Previo a los análisis estadísticos los datos fueron transformados con arcoseno como se recomienda para proporciones (Zar, 1999).



Figura 5. Experimento de germinación con *Ferocactus viridescens* en un invernadero de la Facultad de Ciencias de la UABC; se observan los tres tratamientos y seis repeticiones cada uno distribuidos aleatoriamente; también se observan las charolas de plástico con 20 cavidades que representan las unidades experimentales.

Experimento 2

El segundo experimento de germinación se realizó en julio de 2012. Las semillas se colocaron en remojo durante 2 horas en una solución con fungicida (Captán al 2.5 g/L). Este experimento de germinación también se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California, consistió en un diseño experimental completamente al azar con 18 unidades experimentales. Cada unidad experimental fue una caja de Petri con 20 semillas distribuidas en tres tratamientos con seis réplicas cada uno. Se colocaron dos capas de papel absorbente “Downty” como sustrato dentro de las cajas. Se agregaron 10 mililitros de agua destilada por caja de petri. Encima

del papel se pusieron 20 semillas distribuidas aleatoriamente dentro de la unidad experimental. Los tratamientos fueron: 1) expuesta, caja de Petri sin cubrir con malla sombra o papel aluminio, 2) aluminio, tapadas con papel aluminio provocando oscuridad y 3) malla sombra, tapadas con malla sombra de coloración verde que genera un 90% de sombra y solo permite pasar un 10% de luz (Luna, 2010) (Figura 6). Cabe destacar que tanto en el tratamiento aluminio como en el de malla sombra diariamente hubo un minuto de exposición a la luz dispersa del invernadero al momento de contabilizar la germinación. Durante 15 días se registró la germinación de las semillas de *Ferocactus viridescens* y el número de días transcurridos después de su siembra. El criterio para considerar germinada una semilla fue la emergencia de la radícula. Se midió la temperatura y se obtuvieron promedios mínimos y máximos de 15° y 29° C durante 15 días del experimento. Se usó ANOVA de una vía para evaluar el efecto de los tratamientos en la germinación de semillas. Una vez que se detectaron diferencias significativas se usó una prueba de Tukey. Previo a los análisis estadísticos los datos fueron transformados con arcoseno (Zar, 1999).



Figura 6. Experimento de germinación con *Ferocactus viridescens* en un invernadero de la Facultad de Ciencias de la UABC; se observan los tres tratamientos y seis repeticiones cada uno distribuidos aleatoriamente; también se observan las cajas de Petri que representan las unidades experimentales.

5.2 Levantamiento de campo

En cada uno de los seis sitios de estudio se trazó un cuadrante de 15x15 m cubriendo un área total de 1350 m² (Figura 7). Dentro de cada cuadrante se ubicaron todos los cactus de barril presentes y de ellos se eligieron 20 a 30 individuos al azar. En la parte sur de cada

uno de los individuos se colocó una ficha de aluminio como etiqueta fijada al suelo con un clavo lo más cercano posible al individuo, asimismo, se tomaron sus coordenadas geográficas con un GPS (12 Garmin Olathe, KS, USA) con un datum de WGS84, esto con el fin de llevar un control y poder ubicarlos para mediciones posteriores.



Figura 7. Delimitación con cintas de un cuadrante de 15x15 m para estudiar *Ferocactus viridescens*, el sitio es San Miguel y está sobre la cima de un cerro. Nótese la presencia de pastos exóticos en el primer plano de la fotografía. Al fondo se observan casas justo en las cimas de los cerros de enfrente.

5.3 Dimensiones de los individuos y estructuras reproductivas

La altura se midió con una regla y una escuadra, a la escuadra se le colocó un nivel para poder obtener datos más precisos. La regla fue colocada sobre la cabeza del clavo de forma vertical, posteriormente de manera horizontal se puso la escuadra sobre la parte superior del ápice de los individuos, sujetando ambas piezas alineadas, cuidando la nivelación horizontal de la escuadra y con ello la vertical de la regla. La punta de la escuadra se introducía por entre las espinas, justo sobre el tallo, evitando estar por encima de las espinas del ápice de la planta. El diámetro de la planta se midió con una regla que se colocó horizontalmente sobre el ápice, y se visualizó el ancho de cada planta sin considerar las espinas. Se contabilizó el número de flores, frutos y botones.

5.4 Orientación e inclinación de los tallos de *Ferocactus viridescens*

La orientación del ápice se midió con una brújula magnética de numeración azimutal. La medida se corrigió según la declinación magnética de cada sitio. Asimismo se midió la inclinación de los individuos con respecto a la vertical con un clinómetro rústico elaborado con un transportador de 180° al que se le ató un hilo con una plomada. Para tomar las

lecturas el clinómetro se posicionó con su superficie plana de forma paralela sobre un extremo de una tabla recta y rígida. El otro extremo de la tabla se colocaba paralelo al costado del cactus de barril y se ajustaba conforme a la inclinación representada por el ápice de la planta; puesto que la tabla se mantenía paralela tanto al transportador como al cacto, entonces la lectura en el transportador indicaba la inclinación en el cacto. Los datos obtenidos fueron analizados con estadística circular (Zar, 1999).

5.5 Juveniles adyacentes

Se estudió si la planta medida tenía a su alrededor juveniles adyacentes, así como su ubicación a los cuatro puntos cardinales de la planta. Para ello se utilizó una brújula magnética para ubicar el sur de la planta. Posteriormente se colocó en el ápice del individuo un aro con una marca hacia el sur y con cuatro divisiones en su interior delimitadas con dos cables perpendiculares. Las divisiones correspondían a los cuadrantes de 45° cada uno (Figura 8). Una vez orientados los cuadrantes del aro encima de la planta, el sistema permitió ubicar los cuatro puntos cardinales N, S, E y O para *Ferocactus viridescens*. A partir de esto, se contaron los juveniles adyacentes en cada punto cardinal de la planta. Se usó la prueba Chi cuadrado (Zar, 1999) para probar la hipótesis nula de que el número de juveniles es similar en las cuatro orientaciones.



Figura 8. Aro construido para ubicar cada punto cardinal sobre el ápice de *Ferocactus viridescens*.

5.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos

Se llevaron a cabo mediciones de campo para conocer la relación espacial entre *Ferocactus viridescens* con respecto a sus vecinos arbustivos. Se colocó un aro dividido por cuadrantes sobre el ápice del cactus para ubicar a los vecinos más cercanos en cada punto cardinal. Se

midió la distancia del ápice del tallo de *Ferocactus viridescens* hacia la orilla del arbusto, así como a su parte central. Para determinar el diámetro de los arbustos se midió el eje mayor y eje menor de la misma copa. Asimismo, la altura de los arbustos se midió con una cinta métrica de 3 metros. Cuando hubo pendientes del terreno un tanto pronunciadas éstas se midieron posicionando una caja en el suelo como patrón y sobre ella se colocó el clinómetro. Para comparar y determinar si *Ferocactus viridescens* tiene una distribución al azar o no con respecto a sus vecinos, se eligieron 20 puntos aleatoriamente dentro del cuadrante y se tomaron las mismas mediciones espaciales que para *Ferocactus viridescens*. Es decir, en cada punto se colocó el aro perfectamente orientado y se midió la distancia al vecino más cercano en cada orientación, asimismo, a esos vecinos se les midió la altura, eje mayor, eje menor y pendiente. Se usó la prueba Chi cuadrado (Zar 1999) para probar la hipótesis nula de que la orientación azimutal del vecino más cercano es aleatoria. Asimismo, se usó la misma prueba cuando los cactus fueron encontrados debajo de un arbusto y se analizó si el cacto se ubicaba aleatoriamente debajo de la copa. Se usó análisis de correlación para probar si existe relación entre la distancia al arbusto y el tamaño del mismo arbusto, tanto para arbustos hacia el sur como para arbustos hacia el norte.

5.7 Índice y densidad estomática y tamaño de espinas en individuos en sombra y expuestos al sol.

Se tomaron muestras en 24 individuos de *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones: plantas encontradas bajo arbustos (sombra) y plantas expuestas al sol (luz). Se eligieron cuatro individuos por sitio, de los cuales dos fueron en luz y dos en sombra. Por cada individuo encontrado en la sombra se seleccionó un individuo expuesto al sol que tuviera un tamaño parecido al individuo de sombra. Para poder estudiar los estomas se retiraron espinas completamente desarrolladas de la parte más cercana al ápice, en una de las costillas ubicada al lado sur del individuo. Se aplicó esmalte de uñas sobre la cutícula del cactus en un área aproximada a 1 cm^2 y se dejó secar por 5 minutos. Posteriormente se tomó la muestra con cinta adhesiva, para ello, se colocó la cinta sobre el esmalte presionando un poco para que se pegara correctamente de tal manera que al ser desprendida llevara consigo el esmalte. En cada laminilla se colocaron 2 muestras (Figura 9). Se observaron todas las laminillas con un microscopio óptico a un aumento de 40x; en cada impresión foliar se seleccionó un campo con muchos estomas y con el apoyo de un contador manual se registró

el número de estomas y el número de células epidérmicas; se seleccionó otro campo y se repitió el mismo procedimiento para sacar un promedio. Con un portaobjetos con escala micrométrica se midió el diámetro del campo de observación para el objetivo 40x con ello se calculó el área en mm^2 del campo de observación. Para calcular el índice y la densidad estomática se utilizaron las siguientes ecuaciones: Índice estomático (%) = $[\# \text{ Estomas por campo} / (\# \text{ células epidérmicas por campo} + \# \text{ estomas por campo}) \times 100]$ y Densidad estomática ($\text{estomas}/\text{mm}^2$) = $(\# \text{ Estomas por campo} / \text{área del campo})$.

En los mismos individuos en que se estudiaron los estomas, se midió la longitud de dos tipos de espinas: centrales que son gruesas y duras, y la radiales que son delgadas y flexibles (Bravo-Hollis, 1999; Gibson y Nobel, 1986). Se midieron dos espinas de cada tipo por cada individuo y se usó el promedio de las dos para el análisis de datos. Los datos se analizaron con prueba t student (Zar, 1999).



Figura 9. Toma de impresiones de los tallos de *Ferocactus viridescens* para conocer densidad e índice estomático, en los alrededores de Ensenada, Baja California.

6. RESULTADOS

6.1 Germinación

Experimento 1

Hubo diferencias altamente significativas en la germinación de semillas entre los tratamientos con turba (ANOVA de una vía $F= 12.39$, $p < 0.001$). El tratamiento sin tapar “expuesto” tuvo un porcentaje de germinación de 57%, seguido del tapado con aluminio + plástico con un 47% y el más bajo fue el tratamiento tapado con plástico con 16% de germinación (Figura 10). La prueba de Tukey mostró que el tratamiento tapado con plástico es significativamente diferente a los otros dos ($p < 0.01$) (Cuadro 3).

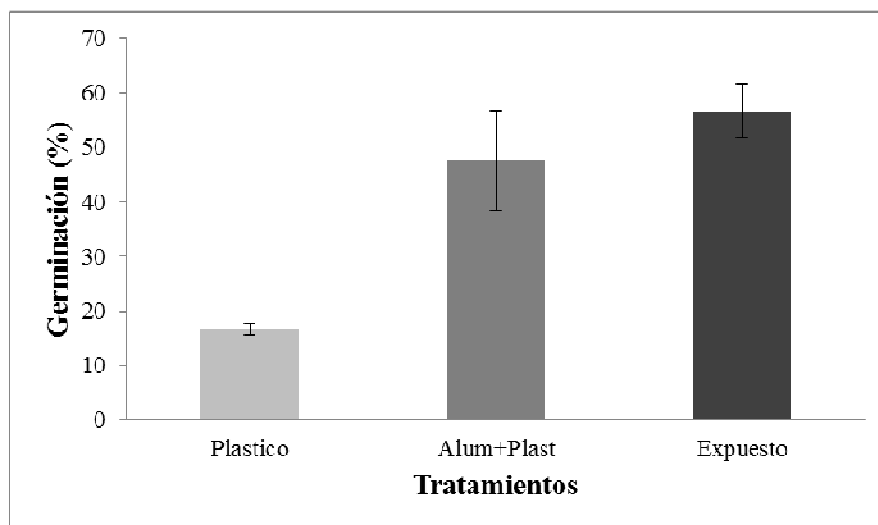


Figura 10. Porcentajes de germinación de *Ferocactus viridescens* en charolas de plástico con turba sujetas a tres tratamientos: 1) expuesto, 2) aluminio+plástico y 3) plástico. El experimento se llevó a cabo en un invernadero sin control de temperatura. Las barras representan el promedio \pm error estándar de 6 réplicas de 20 semillas cada una.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Tukey para el experimento de Germinación en charolas de plástico con turba.

TRATAMIENTO	VALOR DE p
Expuesto vs Aluminio + plástico	0.55
Plástico vs Aluminio + plástico	0.005
Plástico vs Expuesto	0.0007

Experimento 2

En el experimento de germinación en cajas de Petri se obtuvo germinación a partir del tercer día. Hubo diferencias entre tratamientos (ANOVA de una vía $F= 4.78$, $p= 0.024$). Los porcentajes de germinación fueron similares en los tratamientos de malla sombra (63%) y sin tapar (58%), en cambio el de aluminio hubo poca germinación (32%) pero con etiolación en las plántulas (Figura 11). La prueba Tukey ($p= 0.028$), evidenció diferencias significativas entre los tratamientos de malla sombra y aluminio (Cuadro 4).

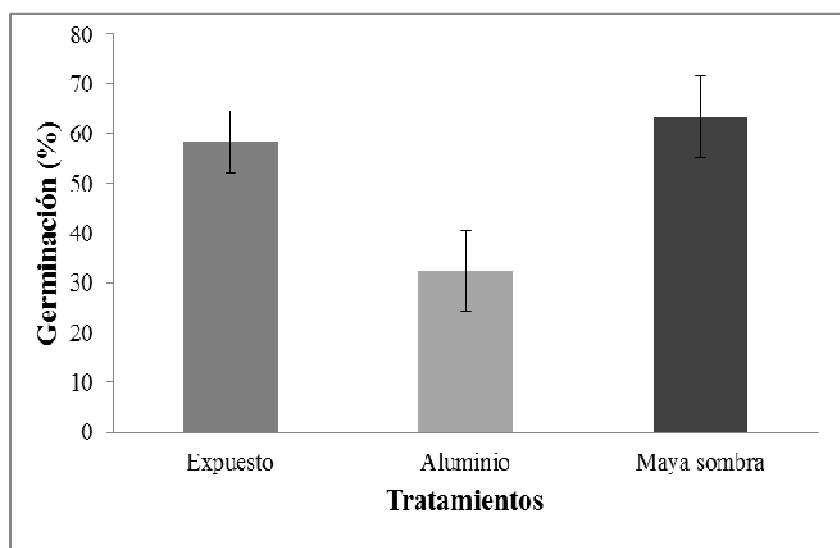


Figura 11. Porcentajes de germinación de *Ferocactus viridescens*, en cajas de Petri con papel servilleta sujetas a tres tratamientos: 1) malla sombra, 2) aluminio y 3) expuestos. El experimento se llevó a cabo en un invernadero sin control de temperatura. Las barras representan el promedio \pm error estándar de 6 réplicas de 20 semillas cada una.

Cuadro 4. Resultados de prueba de Tukey para el experimento de Germinación en caja de Petri.

TRATAMIENTO	VALOR DE p
Malla sombra vs Aluminio	0.028
Expuestos vs Aluminio	0.074
Expuestos vs Malla sombra	0.867

6.2 Dimensión de los individuos

El individuo más grande encontrado en este estudio fue de 55.6 cm de altura y diámetro máximo de 23.7 cm. Es decir de forma evidentemente cilíndrica. Existe una fuerte correlación entre el crecimiento en altura y el diámetro del individuo (Figura 12). La altura

de la planta parece aumentar a lo largo de la vida del individuo, mientras que el diámetro del tallo parece detenerse a los 24 cm formando una asíntota. En la figura 12 se observa que la relación altura-diámetro presenta una relación lineal hasta llegar a 28.5 cm de altura y a un diámetro de 21 cm, después hay unos individuos altos pero cuyo diámetro no aumentó en la misma proporción que la altura. Se usó la misma función matemática que usó Martínez (1997) pero se ajustaron sus valores de acuerdo al método de mínimos cuadrados. La ecuación resultante fue: $\text{Diámetro} = (29.56 * H) / (H + 17.12)$. Donde, el valor 29.56 corresponde al diámetro máximo estimado y 17.12 es la constante.

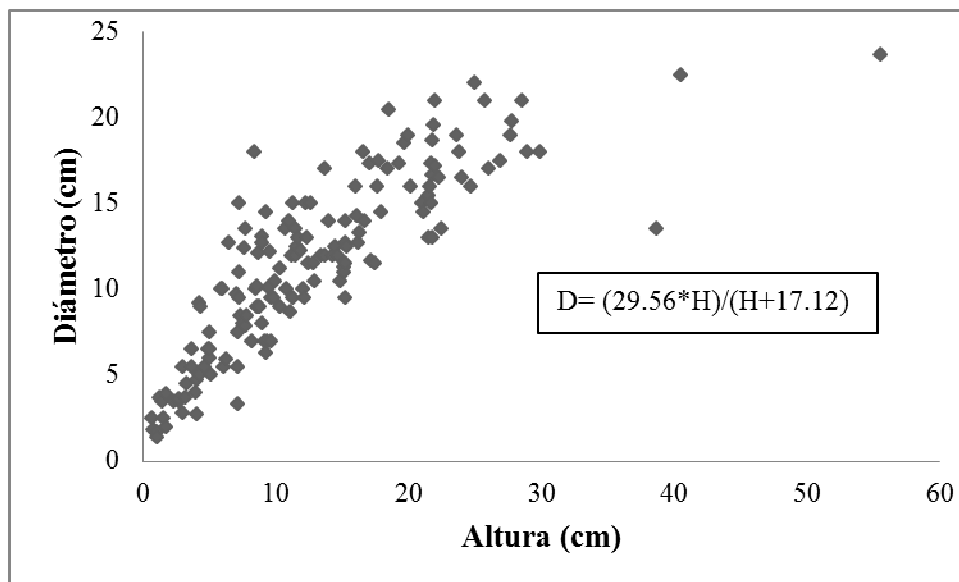


Figura 12. Correlación entre la altura vs diámetro de los tallos de *Ferocactus viridescens*, en los alrededores de Ensenada Baja California (n= 156 individuos).

6.3 Orientación e inclinación de los tallos

Se usó la prueba de Rayleigh de uniformidad circular, para determinar si existe una orientación preferente de los individuos de *Ferocactus viridescens* para cada uno de los seis sitios de estudio. La orientación de los tallos no es uniforme, existe una preferencia de orientación hacia el sur, con una orientación promedio general de $185 \pm 26^\circ$ (Figura 13), y con un resultado altamente significativo para cada sitio ($p < 0.001$, cuadro 5). Para comparar la orientación de los tallos entre sitios, se usó una prueba de Watson-Williams para muestras múltiples. Hubo diferencias significativas entre las orientaciones de los tallos por sitios ($F = 4.02$, $p = 0.002$).

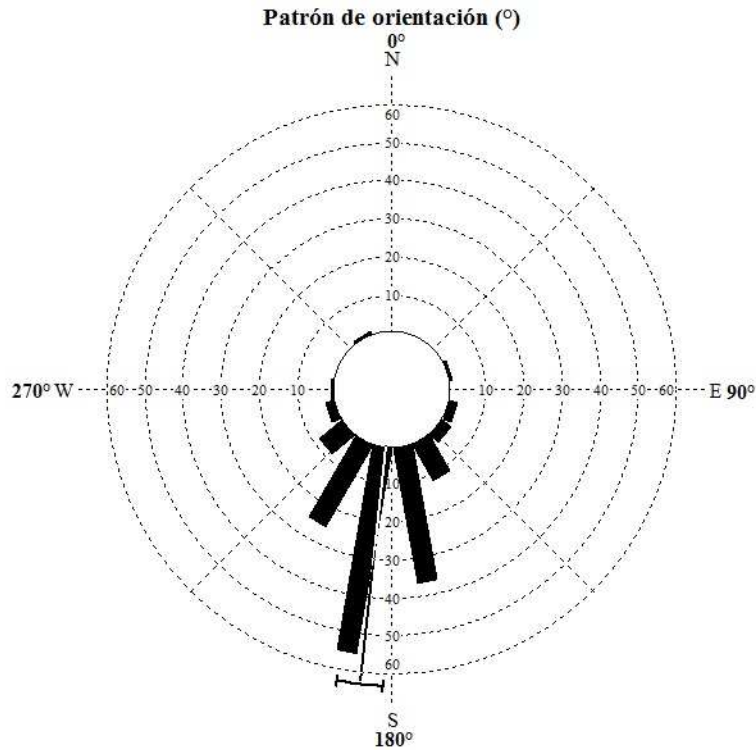


Figura 13. Frecuencia circular de distribución en la orientación en los tallos de *Ferocactus viridescens* en seis sitios de estudio de Ensenada, Baja California.

Las mismas pruebas estadísticas fueron empleadas para analizar la inclinación de los tallos. La inclinación del tallo de los individuos en cada sitio de estudio no fue aleatoria ($p < 0.001$, cuadro 5). Hubo una inclinación promedio general de $20 \pm 8^\circ$. Para obtener la comparación entre sitios, empleamos una prueba de Watson-Williams para muestras múltiples. Se obtuvo diferencias altamente significativas en las inclinaciones de los tallos de individuos entre los sitios ($F = 25.94$, $p < 0.001$).

Cuadro 5. Inclinación y orientación de los tallos de los individuos de cada sitio de estudio. El total de plantas analizadas fue de 156. La inclinación fue con respecto a la vertical del eje del ápice del tallo y la orientación azimutal. Tanto en inclinación como en orientación se proporciona el promedio del ángulo (°) y desviación angular.

Sitios	Inclinación respecto a la vertical (°)	Valor de p	Orientación azimutal (°)	Valor de p
SM	15±9	<0.001	191±48	<0.001
CT	17±6	<0.001	201±37	<0.001
CC	21±7	<0.001	192±26	<0.001
VL	25±6	<0.001	170±22	<0.001
VC	21±15	<0.001	171±48	<0.001
PB	18±9	<0.001	189±32	<0.001

6.4 Estructuras reproductivas

Aunque los sitios se visitaron de manera esporádica se logró observar una gran cantidad de estructuras reproductivas. Se encontró un máximo de 21 estructuras reproductivas por planta. La planta más pequeña con estructuras reproductivas fue de tan solo 2.3 cm de altura (Fig. 14). Aunque hay mucha dispersión en los datos se encontró una correlación no lineal entre altura del individuo y la presencia de estructuras reproductivas ($r= 0.55$). Conforme el individuo adquiere mayor altura, éste presenta mayor cantidad de estructuras reproductivas (botones, flores y frutos).

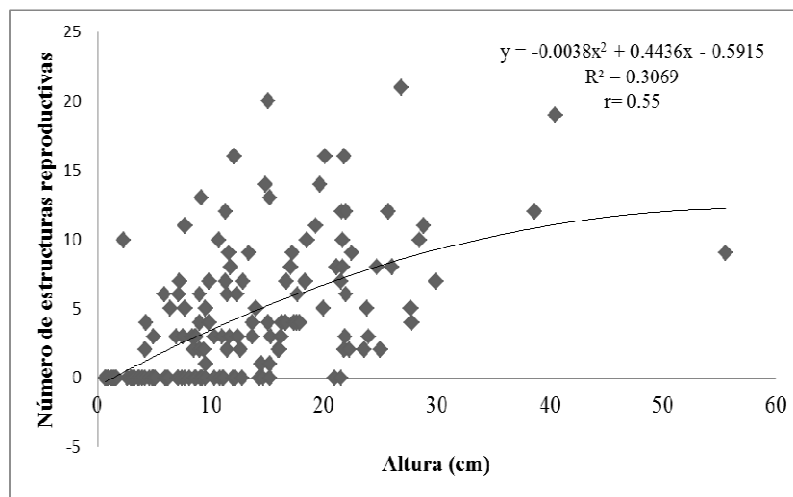


Figura 14. Correlación de la altura del tallo vs la presencia de estructuras reproductivas (botones, flores y frutos) en *Ferocactus viridescens*, en los alrededores de Ensenada, Baja California (n= 156 individuos).

6.5 Juveniles adyacentes

En todos los sitios de estudio solamente 36 plantas maduras de *Ferocactus viridescens* presentaron juveniles adyacentes en su alrededor. La distribución de juveniles adyacentes alrededor de la planta madre no es uniforme ($X^2= 17.88$, $df= 3$, $p <0.05$) se encontró mayor número de juveniles adyacentes en el lado sur de la planta madre con 27 individuos, seguido del este y oeste con 19 individuos cada uno y finalmente el lado norte con tan solo 3 juveniles adyacentes. Es decir los juveniles pueden establecerse en los lados orientados al sur, este y oeste, pero evitan el lado norte de la planta (Figura 15).

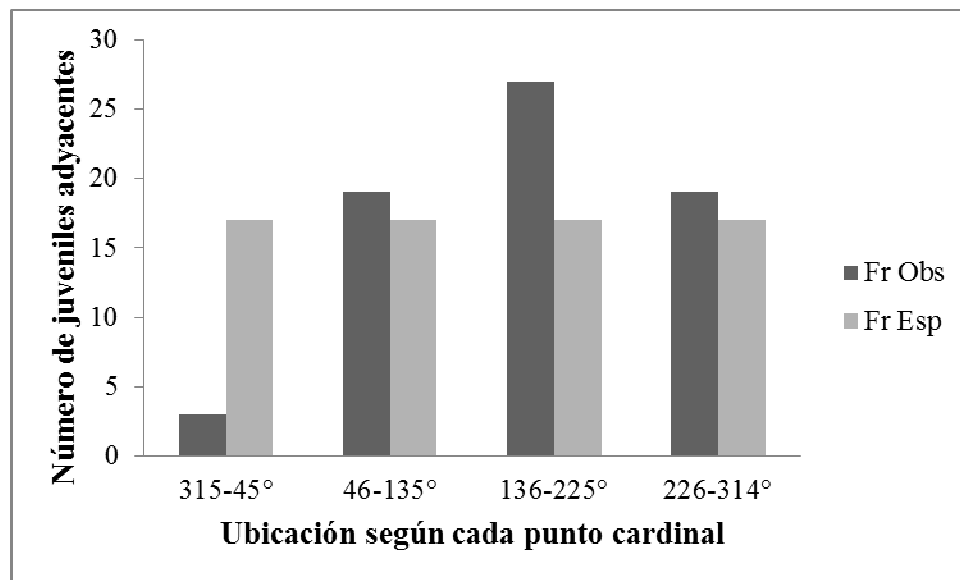


Figura 15. Juveniles adyacentes observados y esperados en cada uno de los puntos cardinales alrededor de plantas maduras de *Ferocactus viridescens*: $X^2= 17.88$, $p <0.05$ (n= 36 individuos).

Se obtuvo diferencias significativas en la ubicación de los juveniles adyacentes con respecto a cada punto cardinal de la planta madre de *Ferocactus viridescens* (Figura 16) (ANOVA de una vía, $F= 3.89$, $p <0.05$). Con una prueba de Tukey se encontró que la diferencia significativa es entre el lado sur y norte ($p= 0.006$) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados de la Prueba de Tukey en juveniles adyacentes de *Ferocactus viridescens* en los alrededores de Ensenada.

Ubicación	diff	lwr	upr	p
N-E	-0.420	-0.900	0.050	0.100
O-E	-0.030	-0.520	0.440	0.990
S-E	0.190	-0.290	0.670	0.720
O-N	0.380	-0.090	0.860	0.160
S-N	0.610	0.130	1.090	0.006
S-O	0.230	-0.250	0.710	0.590



Figura 16. Juveniles adyacentes localizados en la parte este, sur y oeste de la planta madre de *Ferocactus viridescens*.

6.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos

Solamente el 19% de las biznagas se encontraron bajo un arbusto mientras que el 81% en espacios abiertos, sugiriendo predilección por los espacios abiertos. Las especies de arbustos que más frecuentemente se encontraron con biznagas fueron *Euphorbia misera* (6 %), *Eriogonum fasciculatum* (4 %), pastos, ramas y tallos secos (3 %, Fig. 17) y *Artemisia Californica* (2%) (Figura 18). La prueba Chi cuadrada (X^2) demostró que 3 (SM, CT y PB) de los 6 sitios estudiados presentaron individuos significativamente asociados a espacios abiertos mientras que en dos sitios (VL y VC) la distribución fue similar a la esperada por

puro azar (Fig. 19). Solamente en un sitio hubo mayor establecimiento bajo arbustos que lo sugerido por el azar (CC). De los 9 individuos encontrados bajo un arbusto en ese sitio (CC) se establecieron bajo la especie *Euphorbia misera* (Fig. 19).

En la mayoría de los sitios hubo menor relación entre las distancias y alturas de los arbustos vecinos del lado norte de *F. viridescens* en comparación con la relación distancia-altura del vecino al sur. En el sur los vecinos altos generalmente se presentan a mayor distancia de *F. viridescens*, mientras que los vecinos pequeños pueden estar a menor distancia. En cambio hacia el norte esta relación es menos evidente (Figura 20, cuadro 7).



Figura 17. Planta de *Ferocactus viridescens* bajo la sombra de *Simmondsia chinensis* y algunas ramas secas. El sitio se ubica en Punta Banda, en la parte sur de la ciudad de Ensenada, BC.

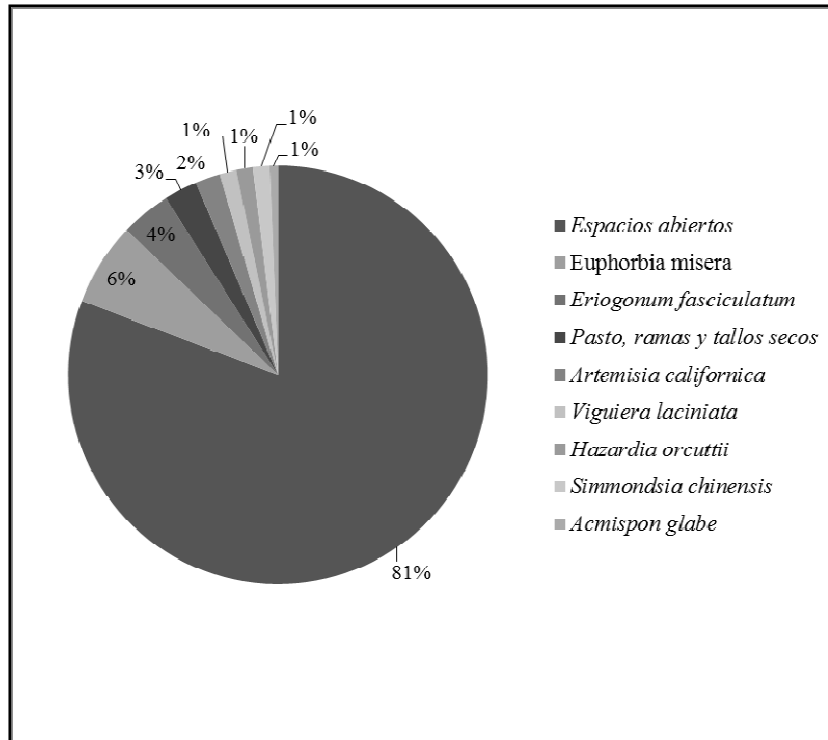


Figura 18. Porcentaje de individuos de *Ferocactus viridescens* según como fueron encontrados, ya sea en espacios abiertos o bajo el dosel de arbustos de los cuales se indica la especie. Esto datos representan el total de seis sitio de estudio cercanos a Ensenada, Baja California.

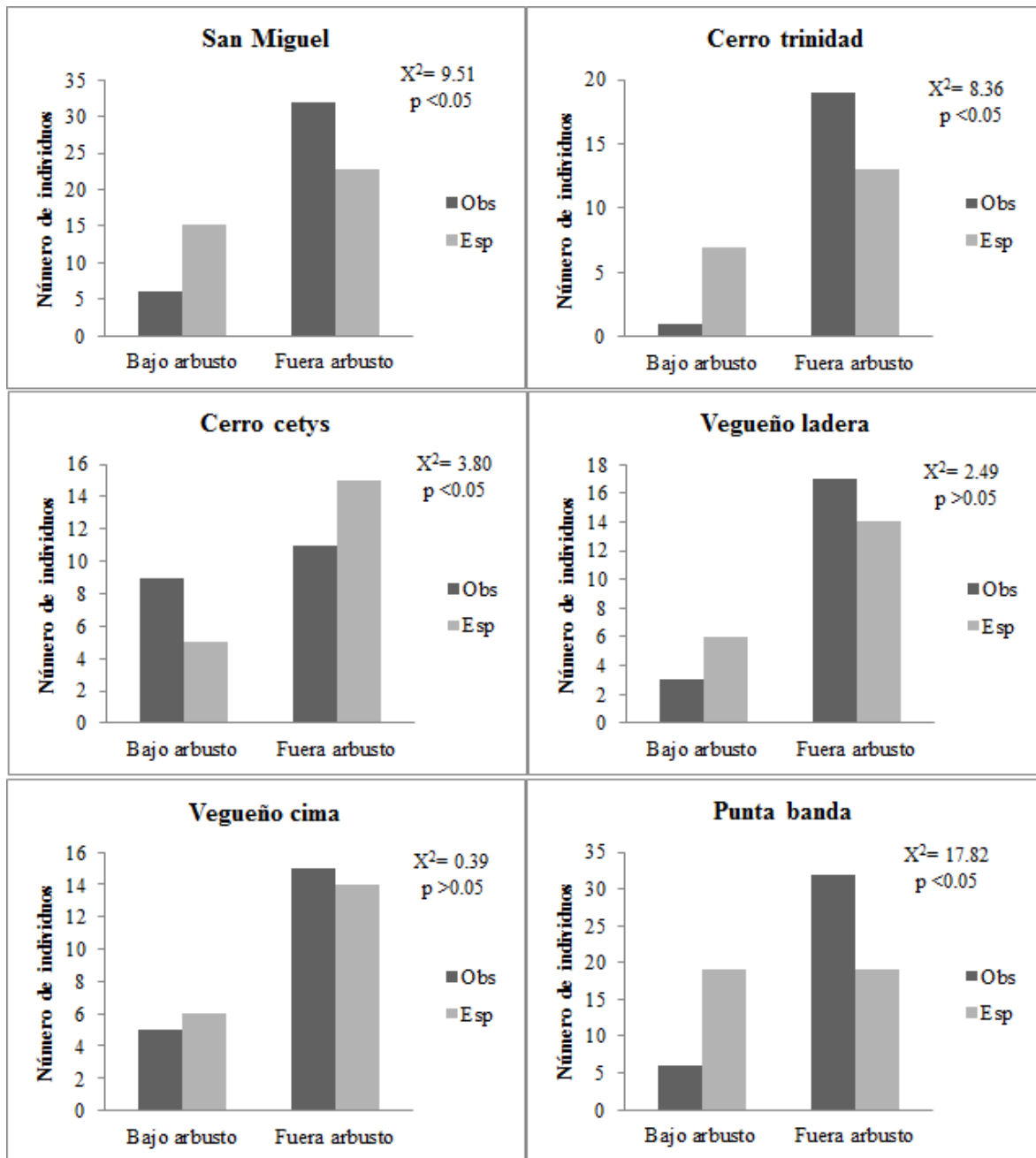
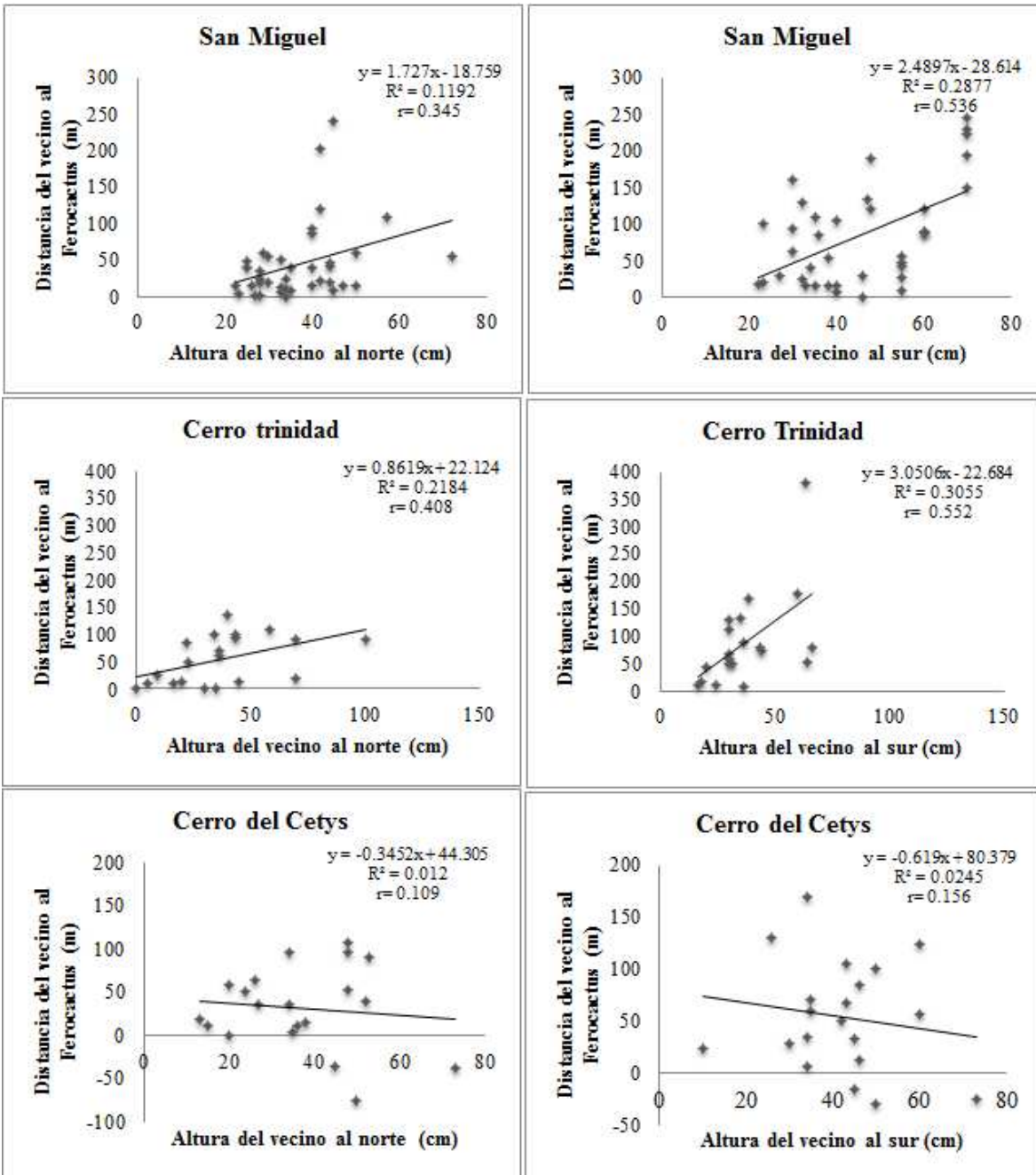


Figura 19. Número de *Ferocactus* observados y esperados ubicados bajo y fuera de los arbustos. Los datos esperados fueron obtenidos por números aleatorios muestreados dentro del mismo cuadrante.



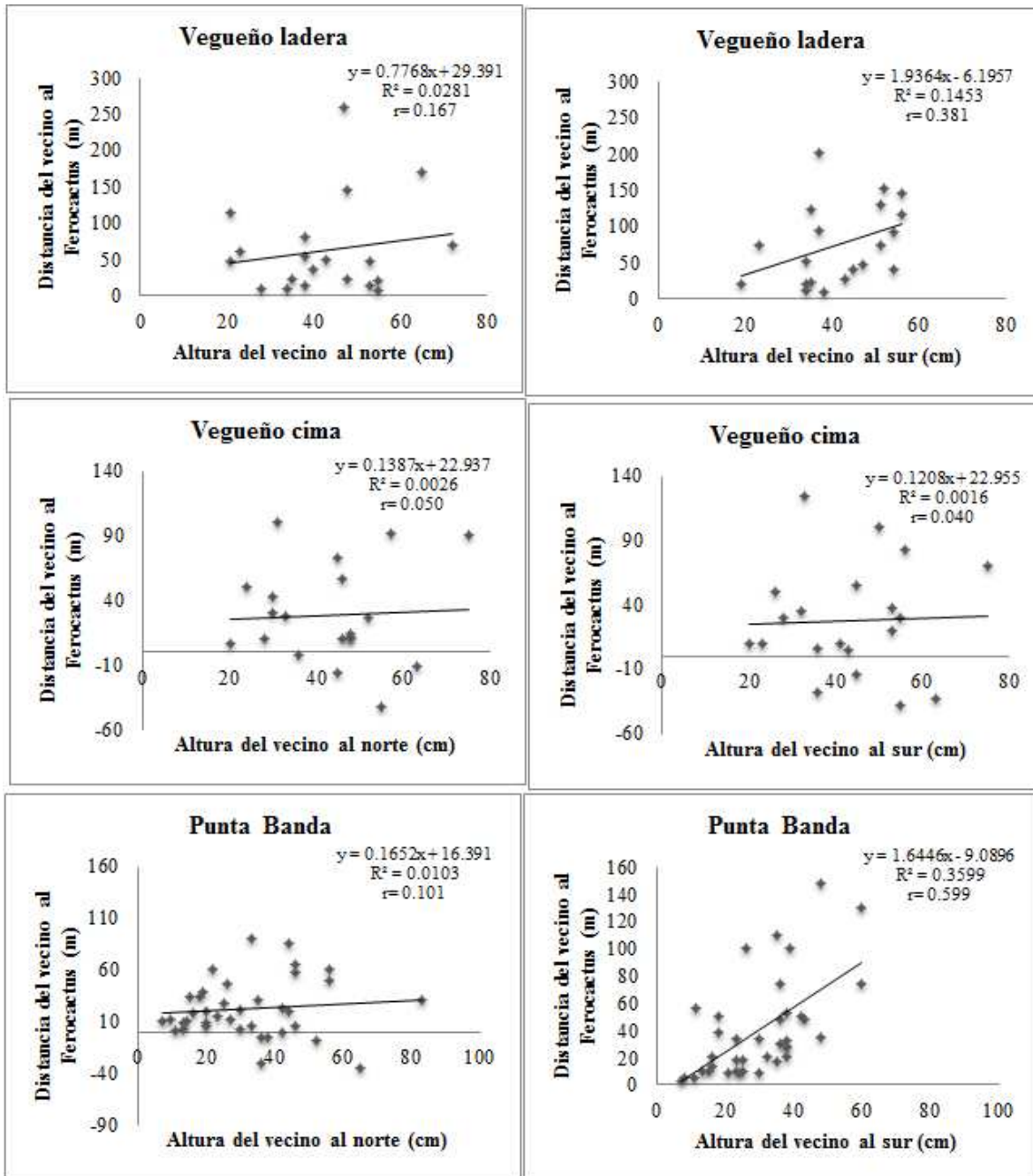


Figura 20. Relación entre la altura del vecino más cercano al norte de *Ferocactus viridescens* vs distancia de ese vecino al *Ferocactus*. Asimismo, relación entre la altura del vecino más cercano al sur vs distancia del vecino al *Ferocactus*, en seis sitios de estudio en los alrededores de Ensenada, BC. Los números negativos son cactus creciendo bajo un arbusto.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de correlación entre la relación entre la altura del vecino más cercano al norte de *Ferocactus viridescens* vs distancia de ese vecino al *Ferocactus*. Asimismo, relación entre la altura del vecino más cercano al sur vs distancia del vecino al *Ferocactus*, en seis sitios de estudio en los alrededores de Ensenada, BC.

SITIO	n	Vecinos al norte			Vecinos al sur		
		R ²	r	p	R ²	r	p
San Miguel	38	0.12	0.35	0.03	0.29	0.54	< 0.001
Cerro trinidad	20	0.22	0.47	0.04	0.31	0.55	0.01
Cerro del Cetys	20	0.01	0.11	0.65	0.02	0.16	0.51
Vegüeño ladera	20	0.03	0.17	0.48	0.15	0.38	0.10
Vegüeño cima	20	0.00	0.05	0.83	0.00	0.04	0.87
Punta banda	38	0.01	0.10	0.55	0.36	0.60	< 0.001

6.7 Espinas en individuos de sol y de sombra

Se encontraron diferencias significativas en el tamaño de las espinas de los individuos que estaban expuestos a la luz en comparación con los encontrados bajo sombra. Las espinas centrales (gruesas) tuvieron una mayor longitud (3.5 ± 1.1 cm) en individuos completamente expuestos a la luz que en individuos de sombra (2.8 ± 0.2 cm) (prueba t student, $p=0.039$; Figura 21). Las espinas radiales (delgadas) también fueron más largas (2.2 ± 0.1 cm) en el caso de individuos expuestos a la luz que en individuos que se establecieron en sombra (1.6 ± 0.2 cm) (prueba t student, $p= 0.019$; Figura 21).

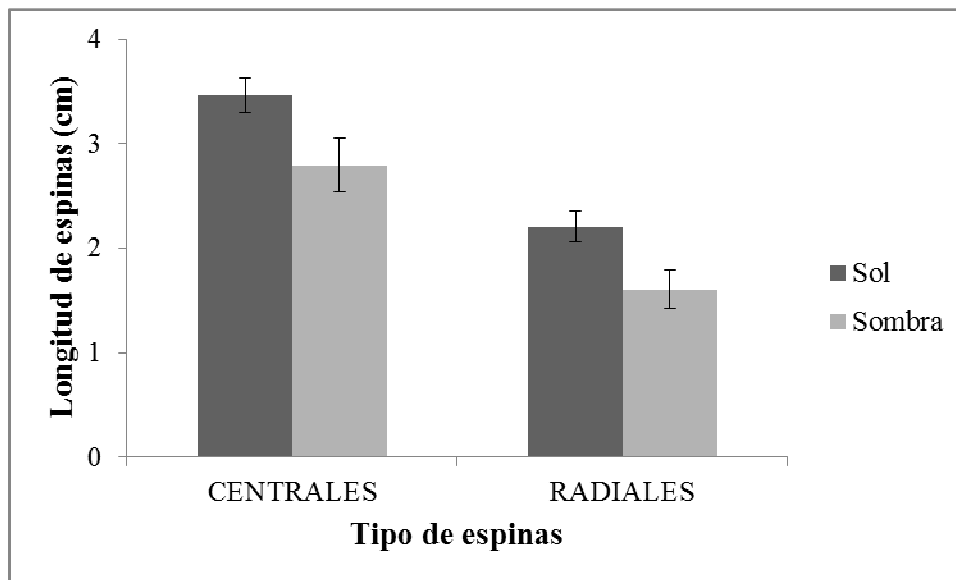


Figura 21. Longitud de las espinas en *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Mediciones realizadas

en dos tipos de espinas. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra

6.8 Densidad e índice estomático bajo dos condiciones

No hubo diferencias significativas en la densidad estomática de *Ferocactus viridescens* para los individuos tanto de luz como de sombra (prueba t student $p= 0.77$) (Figura 22); se encontró un promedio y error estándar de $53.9\pm 3.2 \text{ mm}^2$ para los primeros y $52.4\pm 4.3 \text{ mm}^2$ para el segundo (Figura 23). Tampoco se obtuvieron diferencias significativas en el índice estomático entre los tallos de las plantas de luz ($13.1\pm 0.9\%$) y sombra ($14.5\pm 1.0\%$) (Prueba t student $p= 0.30$) (Figura 24).

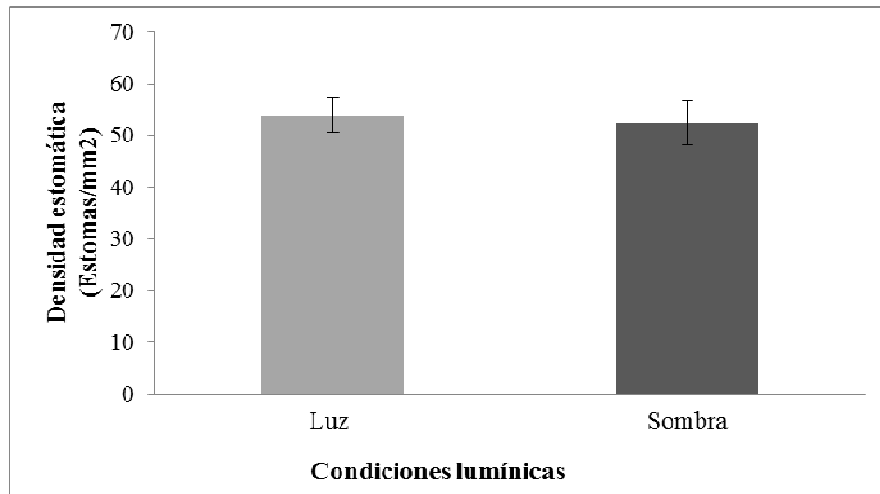


Figura 22. Densidad estomática en tallos de *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra con dos observaciones microscópicas en cada una.

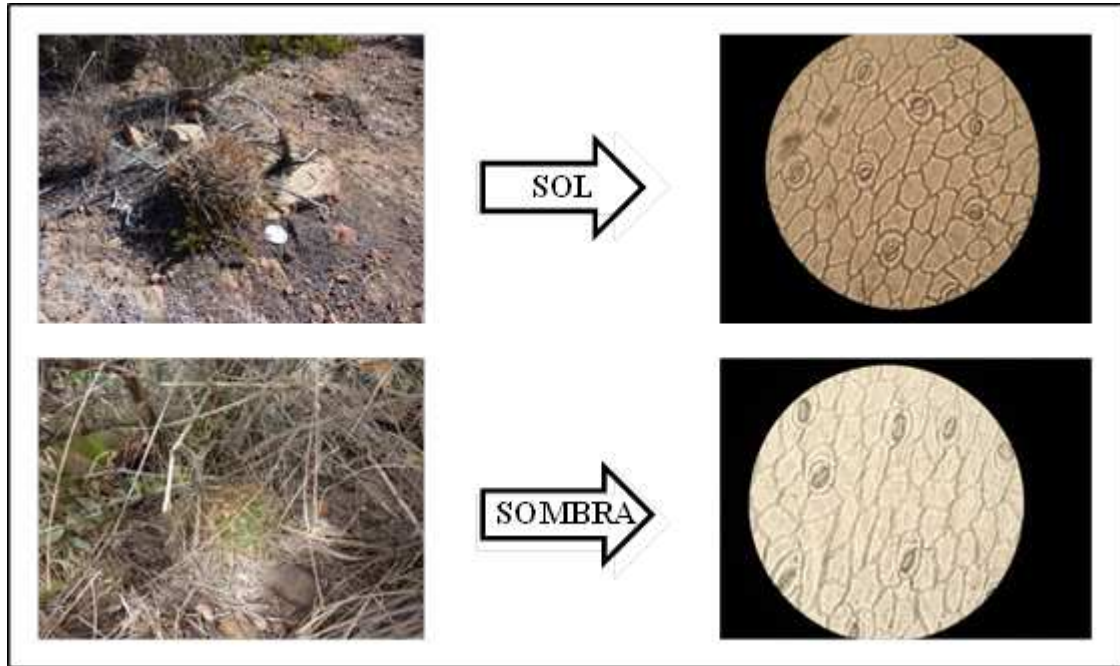


Figura 23. Ejemplo de individuos expuestos en sol e individuos encontrados en sombra, nótese la diferencia en cobertura por espinas. Se muestran también los estomas en una impresión de la epidermis del tallo.

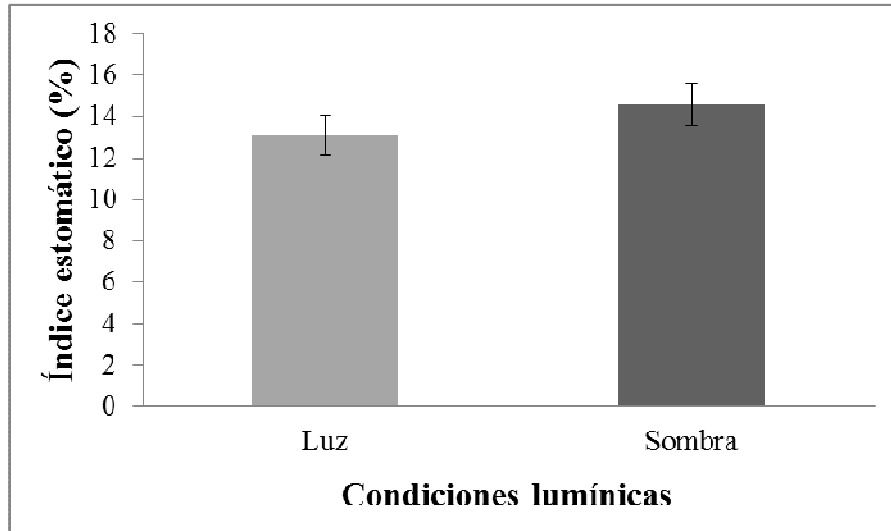


Figura 24. Índice estomático en tallos de *Ferocactus viridescens* bajo dos condiciones lumínicas en los alrededores de Ensenada, Baja California. Se presenta el promedio \pm error estándar. Se muestrearon 2 individuos de cada condición en seis sitios, en total fueron 12 muestras en luz y 12 en sombra.

7. DISCUSIÓN

7.1 Germinación

Los porcentajes de germinación en *Ferocactus viridescens* fueron más altos (63 %) comparados con el estudio de Martínez (1997) que obtuvo el 40 % de germinación. Cabe destacar que Martínez experimentó con semillas colocadas sobre papel húmedo dentro de cajas de Petri expuestas a luz artificial y hubo control de temperatura. En cambio aquí utilizamos luz natural y no hubo control de temperatura. Esto sugiere que no se requiere un ambiente controlado para lograr buena germinación.

En esta tesis se observó similar porcentaje de germinación en el tratamiento cubierto por maya sombra y en el que no estaba cubierto. En cambio, la germinación fue menor en el que se cubrió con aluminio. Esto sugiere que las semillas de *Ferocactus viridescens* pueden germinar en sitios expuestos al sol, bajo la sombra de los arbustos, en pequeñas grietas, pero no muy enterrados en el suelo ni en una sombra muy pronunciada. Esto coincide con Rojas-Aréchiga et al. (1997) quienes sugieren que los cactus de barril pueden germinar en la superficie del suelo donde la luz y altas temperaturas están presentes. Algunas semillas sí podrían germinar en mayor oscuridad pero la plántula tienden a etiolarse, es decir adquieren una coloración pálida y son de mayor longitud que las que crecieron en presencia de luz que adquieren una apariencia verde y vigorosa (Barceló et al. 2005).

En general se encontró que no hace falta un ambiente controlado ni se requiere pretratamientos de la semilla para obtener buenos porcentajes de germinación para *Ferocactus viridescens*. Se puede germinar sobre papel húmedo en una caja de Petri o en un sustrato como turba pero con la semilla enterrada someramente. La semilla germina desde el tercer día. Este conocimiento es útil para el manejo de la especie, específicamente para propagar con fines de conservación. *Ferocactus viridescens* es una especie amenazada y se requiere que las personas involucradas en su manejo conozcan las mejores técnicas para su propagación tales como: 1) las semillas germinan a poca profundidad en el sustrato, 2) no necesita régimen estricto de temperaturas para estimular su germinación, 3) logra germinar a poca luz pero no a oscuridad, se podría generar algo de sombra con hojarasca, ramas y piedras.

7.2 Dimensión de los individuos y estructuras reproductivas

Se encontró una relación entre la altura del cacto y el engrosamiento del tallo, similar a lo que encontraron Martínez (1997) y Delgadillo (2002). Martínez (1997) encontró un diámetro máximo de 22.8 cm a una altura de 15 cm, concluyendo que los individuos dejan de crecer en diámetro a partir de los 16 cm pero el crecimiento en altura continua hasta llegar a un máximo de 25 cm. Por otra parte, Delgadillo (2002) reporta haber encontrado individuos de diámetros mayores a 50 cm entre alturas de 15 a 20 cm, sin embargo, esto pudiera tratarse de un error ya que la mayoría de sus datos muestran que los individuos empiezan a detener su crecimiento en un diámetro promedio de 20 cm. Nosotros encontramos que un diámetro máximo en *Ferocactus viridescens* de 23.7 cm y a una altura máxima de 55.6 cm y los especímenes empiezan a detener su crecimiento a 19 cm de diámetro y en alturas entre 20 a 30 cm.

Se encontró una relación entre la altura y la presencia de estructuras reproductivas en *Ferocactus viridescens*. Uno de los individuos más altos (40.5 cm) presentó 19 estructuras reproductivas y el individuo que presentó mayor número de ellas 21 estructuras reproductivas tenía 26.9 cm de altura. Se encontraron varios individuos menores a 9 cm de altura con estructuras reproductivas, destaca uno de 2.3 cm que presentó 10 estructuras. Esto extiende a individuos más pequeños lo sugerido por Martínez (1997) quien encontró que a partir de los 9 cm de altura los individuos presentan estructuras reproductivas y había sugerido que los individuos menores a esa altura están limitados en recursos y no pueden lograr un esfuerzo reproductivo.

7.3 Orientación e inclinación de los tallos

Se observó un patrón de orientación en los tallos de *Ferocactus viridescens* con preferencia al sur, específicamente a $185 \pm 26^\circ$. Esto coincide con estudios realizados por Nobel (1981), quien encontró el mismo patrón de orientación a $204 \pm 19^\circ$ en una población de San Diego, California. Asimismo, se han encontrado orientaciones similares en otros *Ferocactus* como *F. cylindraceus*, *F. covillei* y *F. wislizenii*: 171° , 208° y 199° respectivamente (Nobel, 1981). Patrones similares se han encontrado en cactáceas columnares, por ejemplo, Drezner (2003) encontró que *Carnegiea gigantea* también tiene una dirección preferencial hacia el sur y relacionó ésta con la necesidad de maximizar la captación de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y la captura de CO_2 durante la etapa de crecimiento. Todas

las orientaciones coinciden con exponer el ápice durante la época de crecimiento a una mayor incidencia de radiación solar y a temperaturas más elevadas (Gibson y Nobel, 1986). La orientación es una aclimatación del individuo, la cual adquiere durante su desarrollo. Independientemente de la exposición del terreno de los sitios, la orientación del ápice de los tallos es en su mayoría al sur e incluso en sitios planos logra orientarse con este patrón. El poder orientarse de esta manera le facilita no solo su crecimiento vegetativo sino también puede relacionarse con su reproducción. Esta aclimatación puede ser fundamental para el desarrollo reproductivo de la planta puesto que es alrededor del ápice donde se desarrollan las estructuras reproductivas (botones, flores, frutos y semillas).

La inclinación de los tallos de *Ferocactus viridescens* en Ensenada, Baja California fue de $20\pm 8^\circ$ que es mayor a los $8\pm 3^\circ$ encontrado por Nobel, (1981) en una zona de San Diego, California. Asimismo, al comparar la inclinación, se encontraron variaciones entre los sitios esto probablemente se debe a la influencia de la pendiente del terreno más pronunciada en algunos sitios que en otros así como a la cobertura y altura de los arbustos vecinos. El grado de inclinación se puede relacionar con ajustar el ápice hacia la ubicación del sol a finales de invierno y durante la primavera cuando los rayos del sol llegan a la superficie terrestre un poco inclinados; esto le permitiría captar mayor radiación y temperatura al ápice de los tallos.

La inclinación permite un óptimo crecimiento porque ajusta niveles adecuados de radiación solar. El mejor momento de radiación solar para estos cactus sería justo al pasar las lluvias y cuando comienza a subir la temperatura, es allí cuando el ápice capta mayor calor y todavía se tiene humedad en el suelo y la planta. Esto podría ser aproximadamente en los meses de mayo y junio.

7.4 Juveniles adyacentes

Se encontró que los juveniles creciendo al lado de la planta madre tienen preferencia por establecerse en la parte sur, este y oeste del tallo que es la zona donde se percibe mayor radiación solar, en cambio se evita el lado norte de la planta madre donde siempre es sombreado. Este resultado también puede ser evidencia de la necesidad de la planta de exponerse a los rayos del sol durante invierno y primavera. Las semillas germinadas en el

norte de la planta madre tendrían una fuerte limitación lumínica y de temperatura, no así las plántulas establecidas en los otros lados.

7.5 Ubicación topográfica

Durante la realización de este estudio solamente se localizó *Ferocactus viridescens* en la cima de los cerros o en laderas con exposición sur, este y oeste, pero nunca en laderas norte. Esto también puede relacionarse con una limitación a la exposición al sol puesto que las laderas norte presentaban cubiertas densas de vegetación en contraste a las demás que eran de vegetación más abierta. Esto coincide con estudios en otras especies de *Ferocactus* como Ehleringer y House (1984) quienes encontraron que *Ferocactus acanthodes* se limita a pendientes con exposición sur y Jiménez-Sierra y Jiménez-González (2003) encontraron que *Ferocactus latispinus* evitaba laderas con exposición norte ubicándose en ladera sur.

7.6 Relaciones espaciales con vecinos arbustivos

La evidencia en este trabajo sugiere que *Ferocactus viridescens* no requiere nodricismo para su establecimiento. Los individuos de *F. viridescens* tienen predilección por espacios donde la vegetación es abierta además de ubicarse alejados de sus vecinos arbustivos situados al lado sur del cacto quienes les proyectan sombras y limitan su establecimiento. Cuando se encontraron bajo el dosel de las plantas fueron principalmente en arbustos caducifolios como *Euphorbia misera*. Existen estudios con otras especies del mismo género donde sí se encontró la relación nodriza-protégido. Por ejemplo: Valiente-Banuet y E. Ezcurra (1991) encontraron que *Ferocactus wislizenii* mostró una asociación con plantas nodrizas, los individuos se establecen bajo la sombra pero con una distribución uniforme alrededor del centro de la planta. Golubov *et al.* (2000) encontraron que *Ferocactus hamatacanthus* presentó una asociación de tipo nodriza con los pastizales de *Hilaria mutica*. Matías-Palafox y Jiménez-Sierra (2004) encontraron que *Ferocactus latispinus* se presentaba exclusivamente bajo el dosel de los árboles. Franco y Nobel (1989) encontraron que *Ferocactus acanthodes* se asocia a una hierba perenne *Hilaria rigida*, observaron 30 especímenes protegidos por la hierba mientras que solo 12 creciendo a cielo abierto. Franco y Nobel (1989) concluyen que las plantas nodrizas facilitan el establecimiento de plántulas no solo porque reducen la temperatura máxima del suelo sino también porque pueden aportar nitrógeno al suelo. Todas estas especies se distribuyen en regiones desérticas, esto explicaría el hecho de que requieran de una planta nodriza para protegerse de los excesos

de temperatura e irradiación solar. En cambio, *Ferocactus viridescens* es propio de clima mediterráneo; se distribuye en una zona influenciada por brisa marina y frecuentes neblinas durante el verano por lo que las temperaturas no son tan altas en el verano. Franco y Nobel (1989) explican que *Ferocactus acanthodes* se ve limitado en RFA cuando crece bajo una nodriza. En el caso de *F. viridescens* puede pasar lo mismo por ello la preferencia por los espacios abiertos. Además, ciertas aclimataciones, como la inclinación del tallo y la longitud de las espinas, le permiten ajustarse a su ambiente lumínico.

Son muchas las especies de cactáceas en las que se ha encontrado nodricismo por ejemplo en algunas globosas como Peyote (*Lophophora diffusa*), *Mammillarias*, además cactáceas columnares como Sahuaro (*Carnegiea gigantea*) y *Neobuxbaumia tetetzo* (Nobel, 1980; Valiente-Banuet *et al.* 1991 y García y Mandujano *et al.* 2010). Sin embargo, también se han encontrado cactáceas que prefieren los espacios abiertos. Por ejemplo, Cortes Figueira *et al.* (1994) encontraron que hábitats sombreados restringían la supervivencia de *Melocactus violaceus*, pues la mayoría de los individuos se observaron en espacios abiertos.

7.7 Espinas en individuos de sol y de sombra

Las espinas de las plantas de sol de *Ferocactus viridescens* fueron más largas que las de las plantas de sombra. Es posible que las espinas de las plantas expuestas al sol tienden a desarrollarse más para proteger el tallo de los excesos de radiación; en cambio las plantas de sombra es posible que estén limitadas en luminosidad debido al dosel de los arbustos, por lo tanto tienden a presentar espinas de menor tamaño que les permitan captar una mayor radiación solar. Estas características no habían sido medidas para *F. viridescens*, ni habían sido estudiadas como aclimatación en otras cactáceas. En cambio, sí hay estudios que comparan la longitud de las espinas en diferentes especies, por ejemplo: Santini *et al.* (2007) encontraron que algunas cactáceas con una mayor densidad de espinas se localizaban bajo arbustos caducifolios, en contraste las especies que presentaron menor densidad de espinas se hallaron bajo el dosel de arbustos tipo perennifolio.

Las aclimataciones de las espinas pueden ser muy bien observadas en campo y con ellas se pueden identificar los especímenes que se desarrollaron bajo arbustos y los que se ubicaban a cielo abierto. Con esta información los consultores ambientales y la autoridad ambiental podrían conocer las condiciones en las que deberán ser colocados los individuos tras su rescate. Esto favorecería una mayor supervivencia de los individuos.

7.8 Densidad e índice estomático bajo dos condiciones

Eggli (1984) encontró que los estomas en *Ferocactus townsendianus* son de tipo paralelocíticos, presentan células accesorias que los acompañan, 4-6 células subsidiarias por estoma, también observó que los estomas son de tipo superficial, no hundidos y ocultos como en otras cactáceas. Esto coincide con lo observado para *Ferocactus viridescens* donde las características estomáticas fueron las mismas.

La densidad e índice estomático son características que pueden aclimatarse en las plantas. Por ejemplo, Kao (2006) en hojas de *Kandelia obovata* encontró que la densidad estomática fue mayor en hojas expuestas que en hojas sombreadas del mismo árbol; concluyendo que las plantas se aclimatan a la variabilidad de la intensidad de la luz en su entorno. Asimismo, Lake *et al.* (2001) hallaron que el número de estomas en hojas jóvenes de *Arabidopsis thaliana* se ajustaba de acuerdo a la intensidad de la luz y a la concentración de CO₂ que percibían las hojas maduras; concluyendo que tanto el índice como la densidad estomática varían con las condiciones ambientales. En *Ferocactus viridescens* es la primera vez que se estudian estas características, y tanto la densidad como el índice estomático se mantienen similares en dos ambientes distintos: en plantas ubicadas bajo el dosel de los arbustos y en plantas expuestas al sol. Quizá no hay variación en el número de estomas debido a que estos se encuentran en el tallo y no en hojas, las hojas por ser modulares y temporales pueden ajustar el número de estomas y parece que no es así en un tallo que es único y permanente. Otra posibilidad es que las plantas CAM tengan menos plasticidad en estas características por realizar el intercambio gaseoso en la noche. Una tercera explicación es que con la plasticidad que se tiene en las espinas sea suficiente para ajustarse a las diferencias en microclima.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. *Ferocactus viridescens* es fácil de germinar. Para lograr una mayor germinación se recomienda: se siembre a poca profundidad en el sustrato utilizado, no son necesarios estrictos regímenes de temperatura para la germinación de semillas, además se recomienda colocar a media luz pero no en oscuridad total, la germinación podría darse bien con algo de hojarasca, ramas y piedras.

2. Los individuos de *F. viridescens* se inclinan y orientan hacia el sur. Puesto que esta aclimatación la desarrollan durante toda la vida y probablemente se relacione con mayor crecimiento y reproducción, se recomienda orientarlos de la misma manera cuando éstos sean reubicados. De esta manera se ajustaría a una RFA similar a la que tenían en su ambiente natural y los individuos tendrán los beneficios que presentan en su medio natural.

3. Algunas plantas maduras presentan juveniles adyacentes con una distribución hacia el sur, este y oeste de la planta madre, pero evitando el lado norte. Durante las labores de rescate es recomendable recolectar toda la colonia en su conjunto. Al momento de reubicar los organismos, se recomienda orientar la colonia de tal manera que los juveniles no queden en el norte de la planta madre.

4. *Ferocactus viridescens* es una especie que no requiere de nodricismo para su establecimiento. Por ello se recomienda que aquellas plantas que sean rescatadas y reubicadas se coloquen fuera de los arbustos que les proyecten sombras, evitando colocarlas en el lado norte de arbustos altos puesto que les proyectarían sombra limitando la captación de RFA necesaria, en contraste aquellas que sean ubicadas en el lado sur no se verían afectadas.

5. *Ferocactus viridescens* se aclimata al exceso de radiación produciendo espinas largas mientras que al déficit con espinas cortas. Esto hace que se note una diferencia entre individuos que crecieron bajo sombra y expuestos al sol. Por ello se recomienda que los individuos con espinas cortas sean reubicados en un lugar similar al que se les encontró en campo (bajo arbustos) pero se debe considerar que esta especie se localiza principalmente bajo arbustos de tipo caducifolio, que les proporcionan poca sombra; en cambio, los individuos con espinas largas deben de reubicarse a cielo abierto.

6. *Ferocactus viridescens* no presenta aclimataciones en densidad e índice estomático en las dos condiciones estudiadas.

9. BIBLIOGRAFIA

- Arreola-Nava, H.J. (1997) Formas de vida y características morfológicas. Suculentas mexicanas-cactáceas. Instituto de botánica Universidad de Guanajuato. CUS Publicaciones.
- Barceló Coll, J., Nicolás Rodrigo, G., Sabater García, B., & Sánchez Tamés, R. (2005). Fisiología Vegetal. Madrid, España: Pirámide. 568pp
- Benson, Lyman (1969). The Navie Cacti of California. Stanford University Press. 243pp
- Bowers, J.E. and E. A. Pierson. (2001). Implications of seed size for seedling survival in *Carnegiea gigantea* and *Ferocactus wislizeni* (Cactaceae). The Southwestern Naturalist 46(3): 272-281.
- Bravo- Hollis & Scheinvar (1999). El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de cultura económica, Conacyt. México
- Bringas-Rábago N.L. (1995). Desarrollo turístico y dinámica de evolución de usos de suelo en el Corredor Costero Tijuana-Rosarito-Ensenada (COCOTREN). El Municipio y el desarrollo social en la frontera norte. COLEF-Fundación
- Bringas-Rábago N.L. (1999). Políticas de desarrollo turístico en dos zonas costeras del Pacífico mexicano. *Región y Sociedad* 11 (17.1999).
- Britton, Nathaniel L., y Joseph Nelson Rose. (1922). *Cactaceae: Descriptions and Illustrations of Plants of the Cactus Family*. Courier dover publications.
- Carmona-Mares R. y Olga Correa M. (2008). Estructura territorial del turismo en el corredor Tijuana-Rosarito-Ensenada. *Revista teoría y praxis*, 5: 359-375.
- Cortes Figueira, J.E., Vasconcellos-Nieto, J., Alice García M. & Teixeira de Souza, A.L. (1994). Saurocory in *Melocactus violaceus* (Cactaceae). *Biotropica*, 26: 295–301.
- Cota, J. Hugo, y Robert S. Wallace. (1997). Chloroplast DNA evidence for divergence in *Ferocactus* and its relationships to North American columnar cacti (Cactaceae: Cactoideae). *Systematic Botany* 22.
- Cota Sánchez, J.H. (1984). Influencia de la luz, temperatura y sustancias químicas sobre la Germinación de semillas de *Ferocactus latispinus* (Haw.) Brito and Rose (Cactaceae). Tesis, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 82 pp.
- Del Castillo, R.F. (1988). Fenología y remoción de semillas en *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 33: 5–14.
- Delgadillo Rodríguez, J. (2002). Estatus poblacional de *Ferocactus viridescens* y *Echinocereus lindsayi* en el estado de Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. R179. México D.F.
- Drezner, Taly Dawn (2003). Revisiting Bergmann's rule for saguaros (*Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britt. and Rose): stem diameter patterns over space. *Journal of Biogeography* 30 (3): 353-59.
- Eggl, U (1984). Stomatal types of Cactaceae. *Plant Systematics and Evolution*, 146:197–214
- Ehleringer, James y Donna House (1984). Orientation and slope preference in barrel cactus (*Ferocactus Acanthodes*) at its northern distribution limit. *Western North American Naturalist* 44: 133–139.
- Ellner, Stephen, y Avi Shmida (1981). Why are adaptations for long-range seed dispersal rare in desert plants? *Oecologia* 51 (1): 133-44.

- Escobar-Santos, V. E., & Huerta-Martínez, F. M. (1999). Relaciones ecológicas de *Ferocactus histrix* (DC.) Lindsay en los llanos de Ojuelos, Jalisco-Zacatecas. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 44(2), 40-48.
- Flores, J. y Jurado E. (2003). Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* 14: 911-916.
- Franco, A. C., y P. S. Nobel (1989). Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of Cacti. *The Journal of Ecology* 77: 870.
- Frejomil, E. P., Sánchez-Crispín, Á., y López, A. L. (1997). Situación geográfico-económica del turismo en el extremo norte de América Latina: el corredor Tijuana-Rosarito-Ensenada. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24: 257-261.
- García Naranjo Ortiz de la Huerta Alejandra y Mandujano María del Carmen (2010). Patrón de distribución espacial y nodricismo del peyote (*Lophophora williamsii*) en Cuatrociénegas, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*.
- Geller, G. N., y P. S. Nobel (1986). Branching patterns of columnar Cacti: Influences on PAR Interception and CO² Uptake. *American Journal of Botany* 73: 1193–1200.
- (1987). Comparative cactus architecture and PAR Interception. *American Journal of Botany* 74: 998–1005.
- Gibson, Arthur C., y Park S. Nobel (1986). *The cactus primer*. Harvard University Press. 277pp
- Golubov, Jordan, M. Mandujano, y Carlos Montaña (2000). Cactáceas asociadas a pastizales de *Hilaria mutica* (Bucal.) Benth. en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 45 (4): 84-89.
- González-Abraham Charlotte E., Pedro P. Garcillán, Exequiel Ezcurra Y el grupo de trabajo de Ecorregiones (2010) Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 87: 69-82
- Guzmán Ulises, & Salvador Arias (2003). *Catálogo de Cactáceas Mexicanas*. UNAM.
- Hernández, Héctor M., and Héctor Godínez A (1994). Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana* no. 26: 33–52.
- Hernández Marianel, Teresa Terrazas, Adriana Delgado Alvarado, y Mario Luna Cavazos (2007). Los estomas de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex. Pfeiff.) Console (Cactaceae): variación en su área de distribución. *Revista Fitotecnica Mexicana* 30 (3): 235-40.
- IMIPE (2008). Estudio de localización de la Industria de Ensenada, Programa de desarrollo urbano del centro de población de Ensenada, y fortalecimiento Institucional del IMIP Ensenada.
- INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 23 de Abril de 2012, de principales resultados por localidad.
- Jiménez-Sierra, C., y C. Jiménez-González. 2003. Heterogeneidad ambiental y distribución de cactáceas en una zona semiárida. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 48 (1): 1-14.
- Ju, Jie, Hao Bai, Yongmei Zheng, Tianyi Zhao, Ruochen Fang, and Lei Jiang (2012). A multi-structural and multi-functional integrated fog collection System in Cactus. *Nature Communications* 3: 1247.
- Kao, W. (2006). Photosynthesis Related Characteristics of Upper and Lower Canopy Leaves of *Kandelia obovata*, a Mangrove Species in Taiwan.TAIWANIA-TAIPEI-51(3): 181.
- Lake, J. A., Quick, W. P., Beerling, D. J., & Woodward, F.I. (2001). Plant development: signals from mature to new leaves. *Nature*, 411(6834), 154-154.

- Lambers, H., Francis Stuart Chapin (III.), y Thijs Leendert Pons (1998). *Plant Physiological Ecology*. Springer New York. 576pp
- LeVan, Katherine E., Keng-Lou James Hung, Kyle R. McCann, John T. Ludka, and David A. Holway (2013) Floral Visitation by the Argentine Ant Reduces Pollinator Visitation and Seed Set in the Coast Barrel Cactus, *Ferocactus viridescens*. *Oecologia*: 1–9.
- Lev-Yadun, Simcha (2001). Aposematic (warning) coloration associated with thorns in higher Plants. *Journal of Theoretical Biology* 210, no. 3: 385–388.
- LGDFS (2003) Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Publicado en el Diario oficial de la federación. México, DF.
- Loza-Cornejo, Sofía, y Teresa Terrazas (2003). Epidermal and hypodermal characteristics in North American Cactoideae (Cactaceae). *Journal of Plant Research* 116 (1): 27-35.
- Ludka, John T. (2009). Protection and reliability: an examination of the quality and quantity of ant protection in the food-for- protection mutualism between *Ferocactus viridescens*, *Crematogaster californica* and the invasive *Linepithema humile*. Universidad de San Diego California. Tesis de Maestría.
- Luna, J. (2010). Avance y tecnología en plásticos. Recuperado el 10 de Mayo de 2013 de Avance y tecnología en plásticos: <http://avanceytec.com.mx/index.php?seccion=lonas/mallasombra>
- Martínez Leal, J.E. (1997). Estructura poblacional y dinámica de la reproducción de *Ferocactus viridescens var viridescens* en Baja California. Ensenada, BC, México: Universidad Autónoma de Baja California. Tesis de Maestría.
- Matías Palafox María Loraine y Cecilia, Jiménez Sierra (2004). Distribución de cactáceas en dos microhábitats de un matorral crasicaule. Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Tesis de Licenciatura.
- McIntosh, Margrit E (2002). Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology* 159, no. 1: 1–13.
- (2002). Plant size, breeding system, and limits to reproductive success in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology* 162, no. 2: 273–288.
- Mecham, J.S. 1967. *Notopthalmus viridescens*. Catalogue of American Amphibians and Reptiles 53:1-4.
- Modificado por García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. México: UNAM.
- Muñoz Urías Alejandro, Francisco M. Huerta Martínez y C.A. Uribe Mú (2012). Interacciones biológicas: Nodrizaje. Primera edición. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Pag. 23-35.
- Nobel, Park S. (1977). Water relations and photosynthesis of a barrel cactus, *Ferocactus Acanthodes*, in the Colorado Desert. *Oecologia* 27, no. 2: 117–133.
- Nobel, Park S. (1978). Surface temperatures of cacti-influences of environmental and morphological factors. *Ecology* 59 (5): 986-96.
- Nobel, Park S. (1980). Morphology, nurse plants, and minimum apical temperatures for young *Carnegiea gigantea*. *Botanical Gazette*, 188-91.
- (1980). Influences of Minimum Stem Temperatures on Ranges of Cacti in Southwestern United States and Central Chile. *Oecologia* 47, no. 1: 10–15.
- (1980). Morphology, surface temperatures, and northern limits of columnar cacti in the Sonoran Desert. *Ecology* 61, no. 1
- (1981). Influences of Photosynthetically Active Radiation on Cladode Orientation, Stem Tilting, and Height of Cacti. *Ecology* 62, no. 4: 982.

- (1982). Low-temperature tolerance and cold Hardening of Cacti. *Ecology* 63, no. 6: 1650.
- Nobel, Park S., G. N. Geller, S. C. Kee, y A. D. Zimmerman (1986). Temperatures and thermal tolerances for cacti exposed to high temperatures near the soil surface. *Plant, Cell & Environment* 9 (4): 279-87.
- Nobel, Park S. (1988). *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. 288pp
- (1994). *Remarkable Agaves and Cacti*. Oxford University Press, Incorporated. 188pp
- Nobel, Park S. (1998) *Los incomparables agaves y cactus*. Ed. Trillas. México. 211 p
- PDUCPE-2030. (2009). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Ensenada 2030 IMIP. Ensenada, BC.
- Pilbeam, John y Derek Bowdery (2005). *Ferocactus*. British Cactus and Succulent Soc. 116 p
- Pinkava, Donald J., y Malcolm G. McLeod (1973). Chromosome numbers in some cacti of western North America. *Brittonia* 23 (2): 171-76.
- Rebman, Jon Paul, & Norman C. Roberts (1989). *Baja California Plant Field Guide*. Sunbelt Publications, Incorporated
- Rebman, J. (1999). *Cactus diversity, research, and conservation in Lower California, México*.
- Robbins, Christopher S. y Rolando Tenoch Bárcenas-Luna (2003). *Prickly Trade: Trade and Conservation of Chihuahuan Desert Cacti*. Norteamérica, Washington D.C.: Fondo Mundial para la Naturaleza.
- Rodríguez Ortega, CE., & Ezcurra, E. (2000). Distribución espacial en el hábitat de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, México. *Cact. Suc. Mex*, 45(1), 4-14.
- Rodríguez-Ortega CE. (1998) ¿Explica la morfología de la cubierta de las espinas la distribución espacial en el hábitat de algunas especies de cactáceas?: los casos de *Mammillaria pectinifera* y *M. carnea* en el Valle de Zapotitlán Salinas, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Rojas-Aréchiga, M., Orozco-Segovia, A. & Vázquez-Yanes, C. (1997). Effect of light on the germination of seven species of cacti from the Zapotitlan Valley in Puebla, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 36: 571–578.
- Rojas-Aréchiga, Mariana, Carlos Vázquez-Yanes, y Alma Orozco-Segovia (1998). Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology* 135 (2): 207-14.
- Rojas-Aréchiga, Mariana, & Carlos Vázquez-Yanes (2000). Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments* 44 (1): 85-104.
- Romero-Schmidt, H.L., Vega-Villasante, H. Nolasco, and C. Montano (1992) The Effect of Darkness, Freezing, Acidity and Salinity on Seed Germination of *Ferocactus peninsulae* (Cactaceae). *Journal of Arid Environments* 23, no. 4: 389–395.
- Rosas García Evelyn M. (2010). Efecto de la orientación preferencial sobre las estructuras reproductivas y vegetativas en *Myrtillocactus geometrizans*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Salisbury, Frank B. y Cleon W. Ross (2000). *Fisiología de las plantas 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Editorial Paraninfo. (pp. 1-982). México.

- Santini, N., H. Flores-Moreno, M. E. Ávila, M. Díaz, F. Gasteazoro y Carlos Martorell-Delgado (2007). La cobertura de espinas de los cactus determina que éstos se establezcan bajo nodrizas con distinta fenología. *Cactáceas y suculentas mexicanas*. Vol. 52 No. 2
- Semarnat (1988) Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente-LGEEPA. Diario oficial de la federación. México, DF.
- Semarnat. (2005) Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Publicado en el Diario oficial de la federación. México, DF.
- Semarnat (2010) Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2010. Diario oficial de la federación. 2da sección. México, DF. 30 diciembre 2010.
- Semarnat (2012) Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Diario oficial de la federación. México, DF.
- Smith, Stanley D., Brigitte Didden-Zopf, and Park S. Nobel (1984). High-temperature responses of North American cacti. *Ecology* 65: 643.
- Smn (2000). Servicio meteorológico nacional (SMN). Datos históricos de 1971-2000 en la estación de Ensenada. Ensenada, Baja California.
- Tel-Zur, N., Y. Mizrahi, A. Cisneros, J. Mouyal, B. Schneider, y J. J. Doyle (2011). Phenotypic and genomic characterization of vine cactus collection (Cactaceae). *Genetic Resources and Crop Evolution* 58 (7): 1075-85.
- Traveset, Anna (1998). Effect of seed passage through vertebrate frugivores guts on germination: a review. *Perspectives in Plant ecology, evolution and systematics* 1 (2): 151-90.
- Valiente-Banuet, A., A. Bolongaro-Crevenna, O. Briones, E. Ezcurra, M. Rosas, H. Núñez, G. Barnard, and E. Vázquez (1991). Spatial relationships between cacti and nurse shrubs in a semi-arid environment in Central Mexico. *Journal of Vegetation Science* 2: 15–20.
- Valiente-Banuet, Alfonso, y Exequiel Ezcurra (1991). Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, México. *The Journal of Ecology*, 961-71.
- Vanderplank, Sula (2011). The flora of greater San Quintín, Baja California, México (2005–2010). *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* 29: 65–103.
- Vargas-Mendoza, M. C., y M. González-Espinosa (1992). Habitat heterogeneity and seed dispersal of *Opuntia streptacantha* (Cactaceae) in nopaleras of Central México. *The Southwestern Naturalist*, 379-85.
- Vázquez-Sánchez M., Terrazas T. and Salvador Arias (2012). El hábito y la forma de crecimiento en la tribu cactaceae (cactaceae, cactoideae). *Botanical Sciences* 90 (2): 97-108
- Yeaton, Richard I., Richard Karban, y Holliday B. Wagner (1980). Morphological growth patterns of Saguaro (*Carnegiea gigantea*: Cactaceae) on flats and slopes in Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona. *The Southwestern Naturalist* 25 (3): 339.
- Zar, Jarrol H. (1999). Biostatistical analysis. 4^{ta} edición. Editorial Prentice-Hall.
- Zavala-Hurtado, José Alejandro, Fernando Vite, y Exequiel Ezcurra (1998). Stem tilting and pseudocephalium orientation in *cephalocereus columna-trajani* (Cactaceae): a functional interpretation. *Ecology* 79 (1): 340-48.