

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTO DE LADERA EN LA COMPOSICIÓN
Y ESTRUCTURA DE UN MATORRAL DE
PIEDEMONTE EN EL DESIERTO SONORENSE

T E S I S

Que para obtener el título de

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

EDGAR BELTRÁN FLORES

Tutora: DRA. ANGELINA MARTÍNEZ YRIZAR

Co-Tutor: DR. JOSÉ ALBERTO BÚRQUEZ MONTIJO

2006



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE CIENCIAS

División de Estudios Profesionales



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado
Efecto de ladera en la composición y estructura de un
matorral de piedemonte en el Desierto Sonorense.

realizado por Edgar Beltran Flores

con número de cuenta 9435726-8 , quien cubrió los créditos de la licenciatura en
Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio:

Tutor (a) Propietario Dra. Angelina Martínez Yrizar *A. Martínez Yrizar*

Co-Tutor Propietario Dr. José Alberto Búrquez Montijo *J. Búrquez Montijo*

Propietario Dr. Zenón Cano Santana *Z. Cano Santana*

Suplente M. en C. Irene Sánchez Gallen *Irene Sánchez Gallen*

Suplente M. en C. Pedro Eloy Mendoza Hernández *P. Eloy Mendoza Hernández*

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, D.F., a 4 de julio del 2006
CONSEJO DEPARTAMENTAL DE Biología



Juan Manuel Rodríguez Chávez
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

DEDICATORIA

A todos los que creyeron y siguen creyendo en mí,
empezando por mi padres y hermano.

El que escribe al último
Escribe mejor

Yo apenas empiezo

Efraín Huerta

“Al lado del Cerro –aunque ese Cerro no tenía lado, se llegaba de golpe y nunca se sabía bien si ya estaba o no, entonces más bien al lado del Cerro –“

Julio Cortazar, Rayuela.

Axa tipi heecot,
Axa tipi hant yail,
Axa tipi hast,
Axa tipi Sonora.

Oot roöc.



AGRADECIMIENTOS

A lo largo de este proyecto de tesis recibí el apoyo y ayuda de varias personas e instituciones, que gracias a ellas he podido llegar a la exitosa conclusión de esta etapa de mi vida, llena de pasión, pudor, lágrimas, paciencia, regañones, alegrías y consejos; con los cuales no hubiera sido posible llegar al final.

Por lo cual me gustaría empezar por agradecer a mis tutores de tesis la Dra. Angelina Martínez Yrizar y el Dr. José Alberto Búrquez Montijo, que más que mis tutores fueron mis amigos y guías en el vasto desierto de la vida y Sonorense. Así como a mis sinodales, Dr. Zenón Cano Santana, M. en C. Irene Sánchez Gallen y M. en C. Pedro Eloy Mendoza Hernández por los interesantes comentarios y observaciones que enriquecieron este trabajo.

A mi familia entera, que soporto el suplicio cósmico junto conmigo. En especial a mi mamá por su completo apoyo, a mi papá por estar al pendiente y a mi hermano por ser mi ejemplo a seguir. Además, a mi abuelita por siempre echarme porras, a mi primo Alex y su compañera Marisol por sacarme de los apuros técnicos y mi tía Lourdes por sus sabios consejos. A todos ellos les agradezco por brindarme días, semanas, meses y años de interminable comprensión y ayuda.

Un agradecimiento especial al Dr. Rodrigo Medellín por haberme brindado su incondicional ayuda a lo largo de este y otros proyectos, así como ser el responsable de haberme contactado con los tutores de esta tesis.

A Luís Felipe Camou por todas las facilidades brindadas para que se llevara a cabo esta investigación dentro de su rancho La Caridad. También agradezco a Don Manuel por todas las atenciones recibidas durante mis incursiones al rancho.

A la comunidad Seri (Felipe Rodríguez, El Indio, Humberto, Panchito, José Ramón, Emilio, Saúl, etc.) que más que amigos, me enseñaron a entender y convivir con el desierto.

A mis ayudantes en el trabajo de campo (Chio, Juan Carlos, Martha, Baruk, Rafa, Chava y Marielos) que brindaron su sudor y esfuerzo en pro del estudio, muchísimas gracias.

A todos aquellos que me extendieron su mano en la Estación Regional del Noroeste, del Instituto de Geología de la UNAM, empezando por su director, el Dr. Thierry Calmus, así como a: Lic. Sofía Muñiz, Lic. Rosario, Dra. Tinoco, Dra. Peñalba, el Dr. José Luís Rodríguez, Jesús y Roberto Duarte, María de Jesús, Marielos, Anabel y Lizeth.

A mis amigos Leo, Martha, Ramses, Baruk, Michelle, Chalio, Geo, Juan Carlos, Karina, Arturo, Noelia, Sara, Daniel, Carmen, Chuy, Chubel, Cesar Enrique, Quena y al equipo de bici de Los Coyotes; por ser el soporte medular de mi estancia en tierras sonorenses. Sobre todo a Leo que fue mi compañero de infinitas aventuras y andanzas, a lo largo y ancho de mi estancia.

A mis amigos Cesar y Luís Búrquez, Cristina Córdoba y Audio Eventos (Jesús, José de Jesús, Chuwit, Speedy, etc), que soportaron mis locuras, desatinos y choco-aventuras, haciendo más divertido y llevadero mi paso por Sonora.

A mis camaradas y cómplices de estudio y/o chundeces a lo largo de mucho tiempo: Thelma, Paola, Felipe Ruan, Betza, Natalia, Daniel Popoca, Horacio Sánchez, Juan Carlos Ruiz, Danae, Jorge, Francisco Sour, Aurora, Rosa y Daniela.

A mi coso, que sabes muy bien que el 50% del empuje y la fuerza para la realización de esta tesis la brindaste tú, ya que también es tu tesis y tu logro, no lo hubiera logrado sin ti.

Agradezco el apoyo económico obtenido a través de la beca de tesis de licenciatura del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT/CONACYT mediante el proyecto Ref. C01-0580, bajo la responsabilidad del Dr. Alberto Búrquez Montijo.

Resumen	1
I. Introducción	2
II. Antecedentes	
2.1 El ambiente físico y el control en la distribución de la vegetación	4
2.1.1 El clima y los factores que lo modifican	5
2.1.2 Factores edáficos	8
2.2 Zonas áridas	9
2.2.1 Zonas áridas en México	10
2.2.2 Desierto Sonorense	11
III. Objetivos	14
IV. Área de estudio	
4.1 Localización	15
4.2 Geología	15
4.3 Clima	17
4.4 Vegetación	17
V. Material y métodos	
5.1 Selección de sitios de muestreo	19
5.2 Colecta de suelos	20
5.3 Análisis de suelo	21
5.4 Análisis de vegetación	23
5.5 Estructura de la población de <i>Stenocereus thurberi</i>	25
5.6 Análisis estadísticos	27
VI. Resultados	
6.1 Características edáficas	28
6.2 Composición y estructura de la vegetación	30
6.2.1 Cobertura	33
6.2.2 Frecuencia	36
6.2.3 Área seccional	39
6.2.4 Valor de importancia relativo de las especies	41
6.2.5 Riqueza	46
6.2.6 Diversidad	47
6.3 Población de <i>Stenocereus thurberi</i>	
6.3.1 Número, tamaño y forma de los individuos	52
6.3.2 Tamaño y forma de los brazos de los individuos	57

6.3.3 Medidas de abundancia y dominancia por hectárea	57
6.3.4 Correlaciones entre variables morfométricas y de abundancia	63
VII. Discusión	
7.1 Características edáficas y de pendiente	63
7.2 Composición y estructura de la vegetación	66
7.2.1 Cobertura	67
7.2.2 Frecuencia	69
7.2.3 Área seccional	69
7.2.4 Valor de importancia relativo de las especies	70
7.2.5 Riqueza	72
7.2.6 Diversidad	73
7.3 Población de <i>Stenocereus thurberi</i>	
7.3.1 Número, tamaño y forma de los individuos y de sus brazos	75
7.3.2 Correlaciones entre variables morfométricas y de abundancia	76
VIII. Conclusiones	77
Literatura Citada	80
Apéndices	
1 Listado florístico del Rancho La Caridad, Son.	89
2 Modelo Digital de Elevación del Rancho La Caridad, Son.	94
3 Diagrama de recalcificación al Modelo Digital de Elevación	95
4 Modelo Digital de Elevación de 3 × 3 min del Rancho La Caridad, Son.	96

RESUMEN

Efecto de ladera en la composición y estructura de un matorral de piedemonte en el Desierto Sonorense.

La presente investigación tiene como objetivo analizar el efecto de ladera a través de la comparación de la composición y estructura del matorral de piedemonte, en una localidad al sur del Desierto Sonorense.

Se partió de la hipótesis de que el efecto de ladera, en el hemisferio norte, causa que las laderas norte-este tengan mayor disponibilidad de agua y temperaturas más bajas, por lo que la vegetación puede resultar más densa y diversa que en aquellas laderas orientadas al sur-oeste. Para explorar esta hipótesis, se muestrearon las cuatro pendientes de cinco cerros en el Rancho La Caridad, Sonora, por medio del método de líneas de intercepción de Canfield, utilizando en cada ladera, cuatro líneas paralelas a la pendiente de 30 m cada una.

El muestreo registró un total de 67 especies en 24 familias. Sólo cinco familias suman el 53% de la riqueza total: Fabaceae (10 especies), Euphorbiaceae (ocho), Asteraceae (siete), Acanthaceae (seis) y Cactaceae (cuatro). Por forma de crecimiento, el 57% de las especies fueron árboles y arbustos, 34% hierbas y trepadoras, y 9% suculentas y epífitas. Se encontró que pocas especies (7) están presentes en todos los sitios (cerros y laderas) y que *Pennisetum ciliare* y *Croton sonorae* aportan juntas el mayor valor de importancia en las cuatro laderas.

La frecuencia, cobertura, área seccional, riqueza, diversidad alfa (Índices de Simpson y Shannon-Wiener) y equitatividad muestran diferencias significativas entre los cinco cerros. Para estas mismas variables, las laderas orientadas al norte presentan los valores más elevados y las laderas sur los más bajos. Este resultado, indica que a pesar que la vegetación entre cerros es relativamente homogénea, existe el efecto de ladera en los cerros de la zona bajo investigación.

Por último, al analizar las características poblacionales de una planta emblemática del matorral de piedemonte, la cactácea columnar *Stenocereus thurberi* (Englem.) Buxb. (Pitayo), se encontró que responde al efecto de ladera, ya que las laderas orientadas al sur presentaron la mayor densidad y cobertura de esta especie. Sin embargo, los datos morfológicos, demuestran que no importando la orientación de la ladera, todos los individuos se caracterizan por tener una misma morfología.

I. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas en México representan un 60% del territorio, y sin embargo, son pocos los estudios de carácter funcional y estructural de sus comunidades naturales (Valiente-Banuet, 1995; Godínez-Álvarez, 1998; Montaña y Monroy, 2000; Cervantes, 2002). La presente investigación aborda el estudio de la vegetación en la parte sur del Desierto Sonorense, un bioma muy importante por su extensión y diversidad en el noroeste de México. Existe un gran mosaico de ambientes en este desierto, que permite comparar la vegetación en condiciones contrastantes y probar hipótesis. El presente estudio se centró en analizar el efecto que tiene la orientación de ladera, en la estructura y composición del matorral de piedemonte, un tipo de vegetación de amplia distribución en los cerros de las planicies de este desierto. El interés por estudiar la variabilidad espacial relacionada con las laderas en esta comunidad se basa en el conocimiento que existe de que el efecto de ladera, en el hemisferio norte, ocasiona que las laderas con orientación norte tengan mayor disponibilidad de agua y temperaturas más bajas, lo que puede resultar que en esta orientación se presente una vegetación más densa y diversa que en las laderas orientadas al sur (Haurwitz y Austin, 1944; Whittaker, 1975; Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981).

Como se mencionó, la vegetación de piedemonte se distribuye en las laderas de los cerros, a todo lo largo de la subdivisión de las Planicies de Sonora del Desierto Sonorense (Shreve, 1951; Búrquez *et al.*, 1999; Dimmitt, 2000), convirtiéndola en un buen indicador del efecto de ladera, ya que en estos ambientes de lomeríos, se observa a simple vista, que bajo las mismas condiciones climáticas, la estructura de la vegetación de las laderas varía considerablemente, y este mismo patrón se repite de cerro a cerro. Estas observaciones fueron originalmente reportadas por Shreve (1951) quien, además de ser uno de los primeros investigadores en señalar la importancia de la topografía como factor que controla

la distribución de la vegetación, mostró que las variables físicas asociadas con la pendiente y su orientación constituyen un factor determinante en la distribución de las plantas en el Desierto Sonorense.

De igual manera, en un estudio realizado en las montañas de Santa Catalina, Arizona, Whittaker y Niering (1965) estudiaron el efecto de los gradientes creados por la variación en elevación y orientación de la ladera sobre la distribución de la vegetación. Dichos autores encontraron que la vegetación del matorral desértico en la subdivisión “Altiplano de Arizona” del Desierto Sonorense ocupaba pisos más elevados en las laderas orientadas hacia el sur, mientras que el bosque de abetos extendía su distribución hacia partes más bajas en las laderas norte. Al ordenar las unidades de muestreo en términos de humedad (variable dependiente de la elevación y de la orientación de cada ladera) la vegetación claramente se segregaba en sitios xerófilos de Desierto Sonorense por un lado, y sitios mesófilos con bosque de *Pseudotsuga* por el otro.

Desde entonces, el efecto de la orientación de las laderas ha sido extensamente estudiado por distintos autores en las regiones del sur de los Estados Unidos y norte de Sonora (Whittaker y Niering, 1965, 1975; Ng y Miller, 1980; Parker, 1987, 1988, 1991; Nobel y Linton, 1997; Búrquez *et al.*, 1999; McAuliffe, 1999).

Además, se escogió en este análisis un elemento florístico muy importante del matorral de piedemonte; la cactácea columnar *Stenocereus thurberi* (Englem.) Buxb, conocida como pitaya dulce. Para investigar la respuesta poblacional de esta cactácea en los diferentes ambientes de ladera, se plantea la premisa de que habrá una mayor cantidad de individuos en las laderas orientadas al sur, y que algunos atributos morfológicos de los individuos varíen con la orientación de ladera. Como antecedente se tienen los estudios de Parker (1987, 1988) quien registró que esta especie tiene poblaciones más densas en las

laderas orientadas al sur en el Parque Nacional Organ Pipe Cactus en Arizona, E.U.A. También reporta que las laderas sur reciben una mayor radiación solar, lo cual eleva la temperatura mínima invernal y evita que los individuos sufran daño o muerte por congelación.

Dada la importancia de esta cactácea como recurso alimenticio para los polinizadores locales y migratorios (murciélagos), y el impacto ecológico negativo de la invasión de zacate buffel (Búrquez *et al.*, 2002), se consideró importante investigar la presencia de esta gramínea en las distintas orientaciones de laderas y su posible relación con la densidad de pitayo.

II. ANTECEDENTES

2.1 El ambiente físico y el control en la distribución de la vegetación

Uno de los objetivos centrales de la ecología es explicar la distribución y abundancia de las especies, las cuales son el resultado de adaptaciones a los factores bióticos y abióticos (Cox *et al.*, 1977; Bacon, 2001). Considerando que cada factor ambiental se distribuye espacialmente en un gradiente, la respuesta de la especie puede esquematizarse como una distribución normal, donde la máxima respuesta se da a una concentración intermedia del factor y hacia los lados decrece rápidamente, a estos bordes se les conoce como límites de tolerancia de la especie, fuera de los cuales la especie no prospera (Cox *et al.*, 1977; Schoener, 1990; Bacon, 2001). Por ende, el ambiente donde prospera cualquier población de una determinada especie, se compone de un intrincado conjunto de condiciones ambientales que determinan lo que se denomina nicho ecológico (Cox *et al.*, 1977; Schoener, 1990; Bacon, 2001).

Aunque todos los factores ambientales actúan simultáneamente en un mismo tiempo y espacio, ciertos factores resultan más importantes en determinar o acotar la distribución y abundancia de los organismos (Cox *et al.*, 1977). Estos factores denominados “factores limitantes” son condiciones ambientales que determinan, positiva o negativamente, la distribución y abundancia de las plantas y animales. Los factores limitantes pueden ser bióticos, como la competencia y la depredación, o abióticos como la temperatura, luz, humedad, tipo de suelo y viento. Las plantas y animales se ajustan a estos factores a través de procesos adaptativos mediados por la evolución (Cox *et al.*, 1977; Bacon, 2001; Enright *et al.*, 2005).

2.1.1 El clima y los factores que lo modifican. Entre los factores limitantes del ambiente físico más importantes, se incluye al clima, el cual está asociado con el entorno geológico, geográfico y topográfico (Cox *et al.*, 1977; Gurevich *et al.*, 2002).

El clima de un área comprende todo el intervalo de condiciones meteorológicas que suceden a lo largo de las estaciones del año, especialmente la temperatura, la precipitación y los vientos (Cox *et al.*, 1977; Gurevich *et al.*, 2002). La variabilidad de estos elementos es predecible a escala geográfica, por ejemplo, la latitud, la altitud y la posición espacial en relación con las grandes masas de agua (Barbour *et al.*, 1981; Cox *et al.*, 1977). A estos elementos por su importancia se les denomina gradientes maestros (Barbour *et al.*, 1981; Cox *et al.*, 1977).

En consecuencia, a escala global, el clima determina la apariencia, distribución, composición y estructura del tipo de plantas y animales que pueden habitar una región o sitio determinado (Raven *et al.*, 1981; Gurevich *et al.*, 2002). Esta distribución es el resultado de la interacción de la radiación solar en las diferentes porciones del planeta, de los patrones globales de circulación de los vientos, particularmente de aquellos que acarrearán humedad, y de los factores geográficos y geológicos como la distribución de las masas terrestres y acuáticas, así como de la altura y orientación de las montañas (Raven *et al.*, 1981; Gurevich *et al.*, 2002). Esto explica los patrones de precipitación y humedad que varían a escala continental y local, así como, las alteraciones locales del macroclima como son la disminución gradual de la temperatura conforme aumenta la elevación de alguna montaña, el efecto de sombra orográfica y el efecto de ladera (Haurwitz y Austin, 1944; Cox *et al.*, 1977; Barbour *et al.*, 1987; Berner y Berner, 1996; FAO, 1996; CCA, 1997; Cervantes, 2002; Gurevich *et al.*, 2002).

Un importante factor que modifica localmente el clima es la orientación e inclinación de las pendientes de las montañas y cerros, ya que están íntimamente relacionados con el grado de insolación e incidencia de los vientos. Esto produce variaciones en temperatura entre las diferentes laderas de una misma montaña o cerro, fenómeno al que se le ha denominado efecto de ladera (Haurwitz y Austin, 1944; Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; FAO, 1996), (Figura 2.1). Este efecto se basa en la observación generalizada de que en el hemisferio norte (boreal) la insolación es más intensa, directa y por periodos más largos en las laderas sur de las montañas, lo cual les da la peculiaridad de ser más secas y cálidas. Comparativamente, las laderas norte suelen ser más frías y húmedas, y naturalmente en el hemisferio sur (austral) se produce este mismo fenómeno pero a la inversa (Haurwitz y Austin, 1944; Whittaker, 1975; Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; FAO, 1996; Badano *et al.*, 2005; Duarte *et al.*, 2005).

Estas diferencias en la orientación de ladera traen consigo cambios en las condiciones atmosféricas y edáficas, modificando las características meso y microclimáticas, repercutiendo en la distribución de los organismos (Haurwitz y Austin,

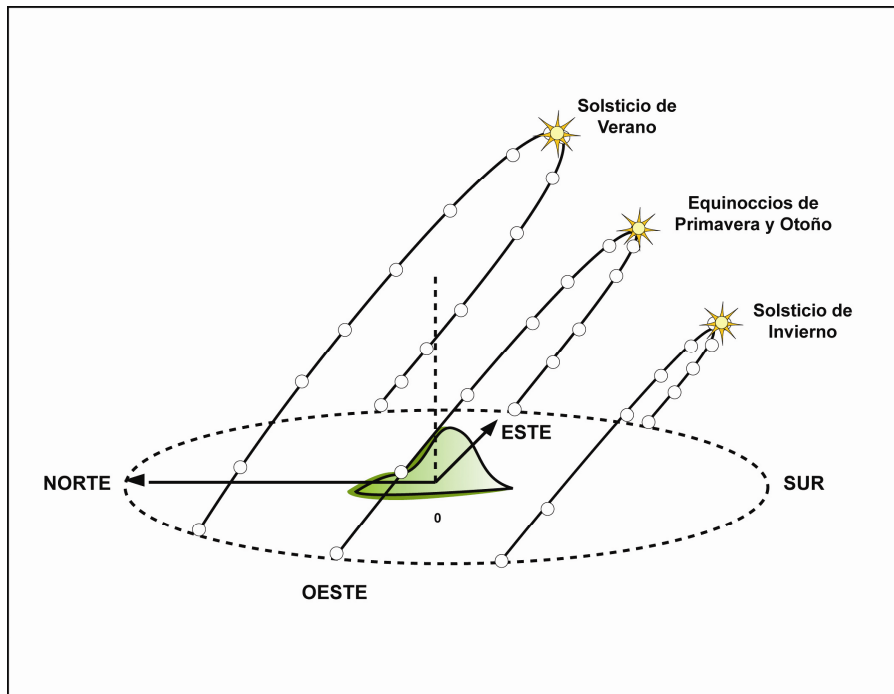


Figura 2.1. Efecto de ladera en el hemisferio norte. Donde se observa la incidencia solar sobre un cerro, haciendo que la insolación sea más intensa y de mayor duración en la ladera sur, por lo que es más caliente, seca y con más evapotranspiración, que la ladera norte. Las elipses inclinadas, muestran la trayectoria estacional del sol a los 40° N de latitud.

1944; Whittaker, 1975; Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; FAO, 1996; Del Castillo, 2000). Esta distribución está relacionada con las variaciones en temperatura, ya que los individuos de cada especie tienen un intervalo óptimo de temperatura máxima y mínima, así como, de las fluctuaciones térmicas que pueden resistir (Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; Gurevich *et al.*, 2002). Por lo que en las laderas norte podemos encontrar una vegetación de ambientes más húmedos, debido a la mayor humedad y sombra, y una menor evapotranspiración, favoreciendo de esta forma el establecimiento y crecimiento de las plantas. Sin embargo, este aumento en la vegetación puede causar una mayor competencia

entre estas (Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; FAO, 1996; Duarte *et al.*, 2005). El caso contrario lo presenta la ladera sur, que al tener condiciones de mayor evapotranspiración, y de menor sombra y humedad, encontraremos plantas con adaptaciones a medios cálidos con deficiencias en la distribución y cantidad de agua, como es el caso de las cactáceas y especies de matorrales xerófilos (Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; Parker, 1988,1991; FAO, 1996).

Este establecimiento diferenciado de la vegetación, dado por las condiciones climáticas, y acentuado por el efecto de ladera, puede expresarse de dos maneras diferentes: si las condiciones entre laderas no son tan extremosas, el cerro presentara la misma vegetación, aunque en la ladera norte existan condiciones más favorables para la distribución y diversificación de las plantas. En cambio si estas condiciones son muy contrastantes, las distintas laderas presentaran vegetaciones distintas entre ellas (Whittaker y Niering, 1965, 1975; Ng y Miller, 1980; Barbour *et al.*, 1981; Raven *et al.*, 1981; Del Castillo, 2000).

2.1.2 Factores edáficos. Los suelos también influyen en la distribución de las plantas, pero su efecto puede ser más sutil y restringido que el del clima (FAO, 1996; Migón, 2005). Los suelos consisten en una mezcla compleja de fragmentos de material mineral de variada granulometría, derivados de la erosión física y química de la roca madre, aunque a ella se le suman las partículas arrastradas por el agua y el viento, provenientes de la erosión de zonas locales o distantes. Esta mezcla influye en la composición (contenido de materia orgánica, presencia de nutrientes, pH, salinidad), estructura y espesor del suelo, determinando su capacidad de retención de aire y humedad y, por lo tanto, la distribución de los organismos y cobertura de las plantas (Cox *et al.*, 1977; FAO, 1996; Migón, 2005).

La composición química del suelo varía en función de la precipitación, temperatura, topografía y material parental (Barbour *et al.*, 1981; Smith *et al.*, 1997). También las características físicas como la textura, el contenido de material orgánico y el ambiente topográfico en el que se encuentren, afectan la disponibilidad de nutrientes y determinan la infiltración y el movimiento del agua (Smith *et al.*, 1997; Whitford, 2002). En consecuencia, el balance de humedad en el suelo es el resultado de la ganancia y pérdida de agua por la interacción entre precipitación, infiltración, retención, evaporación y transpiración de las plantas (Ng y Miller, 1980; Otto *et al.*, 2001).

2.2 Zonas áridas

Las zonas áridas son unidades geográficas y ecológicas, cuya precipitación es menor a 350 mm anuales, con una distribución de lluvias muy irregular durante el año (Villa, 1981; Whitford, 2002). La temperatura media anual oscila entre los 15° y 25°C, y con no menos de siete meses de sequía y, en general, la cubierta vegetal es menor al 70%, predominando las especies xerófitas (Villa, 1981; Garza, 2001; Whitford, 2002).

Las zonas áridas de Norteamérica deben su existencia a la presencia de centros de alta presión subtropical, ubicados en los 32° norte, al efecto de sombra orográfica causado por el bloqueo de las cordilleras oeste y este, a la humedad proveniente del Pacífico y el Golfo de México; y por último, al efecto de continentalidad, ya que el territorio norteamericano se ensancha en su porción norte, ocasionando la existencia de climas extremosos (Smith *et al.*, 1997; Godínez-Álvarez, 1998; Gonzáles, 2001; Cervantes, 2002; Jiménez, 2003).

Los suelos en las zonas áridas reciben el nombre genérico de Xerosoles o Aridisoles, es decir, suelos de climas desérticos (Gibons, 1996; Challenger, 1998; MacMahon, 2000). La mayoría de estos suelos contienen una porción substancial de arena,

grava y escasa materia orgánica, por lo que tienen poca capacidad de retención de agua (Gibons, 1996; Challenger, 1998; MacMahon, 2000; Cervantes, 2002). Sus horizontes están pobremente definidos o ausentes y, frecuentemente en las planicies, se presenta un horizonte llamado “caliche”, que representa una acumulación de CaCO_3 (Rzedowski, 1986; Gibons, 1996; Challenger, 1998; MacMahon, 2000; Cervantes, 2002). Generalmente los suelos de las zonas áridas tienden a ser alcalinos pero presentan un intervalo de pH de 6 a 8.5, son poco consolidados y de color gris a café claro, aunque ocasionalmente son rojizos o de café oscuro (Rzedowski, 1986; Challenger, 1998; MacMahon, 2000; Whitford, 2002).

La vegetación predominante de estas zonas está constituida por árboles y arbustos espinosos, de corta estatura, escasa cobertura, reducida biomasa, copas con numerosas ramificaciones, hojas pequeñas y rígidas; en este tipo de matorrales son abundantes las plantas crasas o suculentas, con tejidos de reserva hídrica, como en el caso de las cactáceas (Shreve y Wiggins, 1964; Parker, 1995; Felger *et al.*, 2001).

2.2.1 Zonas áridas en México. En nuestro país, 56 millones de hectáreas se consideran zonas áridas y otros 23 millones zonas semiáridas, que sumadas dan una equivalencia entre el 40 y 60% de la superficie total del territorio nacional (Villa, 1981). De esta extensión, aproximadamente 46 millones de hectáreas corresponden a selvas bajas, chaparrales y mezquitales, y 33 millones de hectáreas, a matorrales de diversos tipos como rosetófilo, micrófilo y crasicale, lo que representa aproximadamente el 27% de la flora mexicana (Sosa, 1981; Rzedowski, 1986; Montaña y Monroy, 2000). Además, en estas regiones se concentra una parte importante de la biodiversidad mexicana, incluyendo un gran número de endemismos, como en el caso de cactáceas y agaváceas (Rzedowski, 1991a, 1991b; Valiente-Banuet, 1996; Godínez-Álvarez, 1998; Montaña y Monroy, 2000).

En México los estados con predominio de zonas áridas son Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí. Asimismo, existen regiones semiáridas que comprenden porciones de los estados de Hidalgo, Querétaro, Puebla y Oaxaca, cuya diversidad biológica es comparable o mayor a la presente en las zonas del norte del país (Valiente-Banuet, 1996).

2.2.2 El Desierto Sonorense. Dentro de las zonas áridas de Norteamérica, el Desierto Sonorense, es uno de los ecosistemas áridos más complejos en cuanto a estructura florística y dinámica ecológica (Dimmitt, 2000; MacMahon, 2000). En México ocupa gran parte de la Península de Baja California, Sonora e islas del Golfo de California; asimismo, ocupa la parte suroeste de Arizona y el sur de California en los Estados Unidos, cubriendo un área de 275 mil km² (Shreve, 1951; Dimmitt, 2000; MacMahon, 2000). En el estado de Sonora, su extensión adopta la forma de una cuña orientada hacia el sur, colindando al Noroeste con la Península de Baja California, hacia el oriente con la Sierra Madre Occidental y en su extremo sur con la Llanura Costera del Pacífico (INEGI, 1999).

El Desierto Sonorense se caracteriza por la alternancia de sierras, valles, bajadas (abanicos aluviales) y llanuras. Los suelos predominantes en las planicies y en los cerros son Xerosoles y Yermosoles, mientras que existen Litosoles y Regosoles en las faldas de la Sierra Madre Occidental y en aisladas sierras costeras (Búrquez *et al.*, 1999; INEGI, 1999).

En la región afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias del Precámbrico, representadas por granitos y gneisses (INEGI, 1999; MacMahon, 2000). El Paleozoico está representado por calizas, ortocuarcitas y dolomnitas metamorfizadas y el Mesozoico por calizas y rocas detríticas de ambientes marinos y continentales, además de volcánicas (con

predominio de andesitas) e ígneas intrusivas (granitos y granodioritas) que son las de mayor distribución en el Desierto Sonorense (INEGI, 1999).

En cuanto a la vegetación del Desierto Sonorense, Shreve (1951) la agrupó en siete subdivisiones que están basadas en un criterio geográfico y florístico-estructural. Así, las clasificó y nombró con base en las plantas dominantes, desde el desierto de grandes dunas en la porción baja del Valle del Río Colorado hasta el matorral de piedemonte en la base de la Sierra Madre Occidental (Figura 2.2). La extensión de cada subdivisión está bien correlacionada con las variaciones topográficas y edáficas de cada región. La elevada heterogeneidad y la diferenciación de suelos, contribuyen a la existencia de microambientes que provocan una distribución en mosaico de la vegetación (Shreve y Wiggins, 1964; Parker, 1995; MacAuliffe, 1999; Felger *et al.*, 2001).

Ya que el Desierto Sonorense recibe precipitaciones en verano y en otoño-invierno, los espacios abiertos entre los árboles pueden quedar completamente cubiertos por especies de plantas anuales características de cada temporada de lluvias (Gibons, 1996; Challenger, 1998; MacMahon, 2000). Las plantas anuales son un componente importante del Desierto Sonorense, pues representan casi la mitad de la flora (Shreve y Wiggins, 1964; Gibons, 1996).

Las plantas perennes comprenden varios grupos funcionales, que en este ambiente se caracterizan por solucionar de diferente manera el uso del agua; desde las que extraen agua de las capas más profundas del suelo, hasta las de hábito caducifolio que sólo producen y mantienen sus hojas en un cierto periodo del verano (Gibons, 1996). La cobertura de las plantas leñosas varía considerablemente ya que puede estar representada

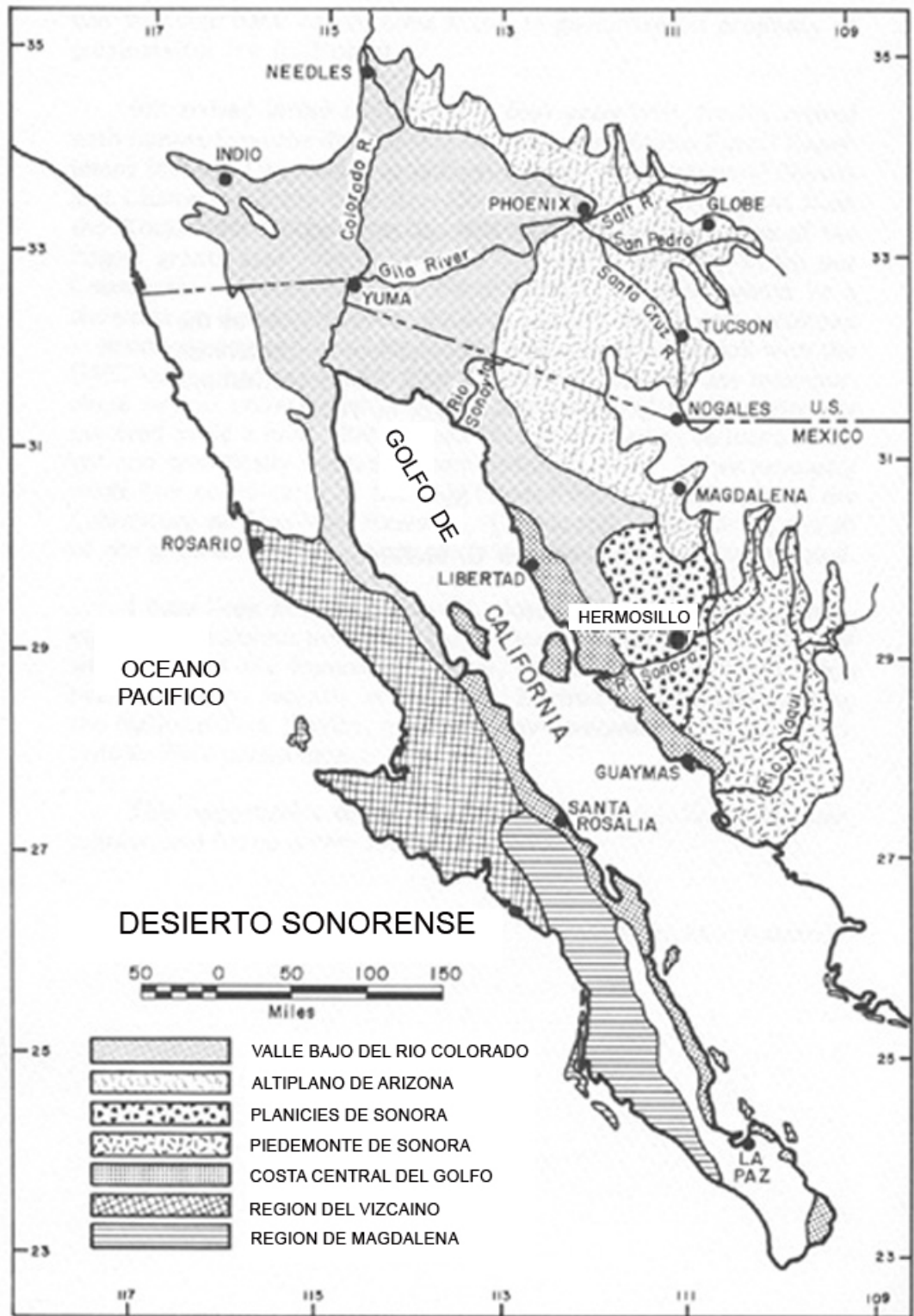


Figura 2.2. Mapa del Desierto Sonorense y las subdivisiones de la vegetación (McGinnies, 1976).

por unos cuantos arbustos o árboles dispersos hasta cubrir el 100%, aunque generalmente la cobertura es menor del 50% (Rzedowski, 1986; Challenger, 1998).

En general, el clima del Desierto Sonorense es de tipo seco árido o desértico $BW(h')hw(e')$, conforme a la clasificación de Köppen modificada por García (1988), con veranos muy calientes, inviernos templados y grandes variaciones de temperatura, tanto diurnas como anuales (Búrquez *et al.*, 1999; MacMahon, 2000). El patrón de lluvias es bimodal, con lluvias conectivas en el verano (julio a septiembre) que frecuentemente producen violentas tormentas y lluvias de corta duración, abarcando extensiones muy limitadas, mientras que las lluvias de invierno (diciembre a febrero) son generalmente poco intensas pero largas en duración, cubriendo grandes extensiones al mismo tiempo (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999; MacMahon, 2000)

III. OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- 1) Investigar el efecto de la orientación de las laderas sobre la estructura y composición de la comunidad vegetal de un matorral de piedemonte en una localidad al sur del Desierto Sonorense.
- 2) Analizar la estructura de tamaños y la distribución de una especie típica del sitio (*Stenocereus thurberi*) en las diferentes orientaciones de pendiente.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Localización

El estudio se realizó en el Rancho La Caridad, Sonora, México. La zona de estudio pertenece a la subprovincia de las Sierras y Llanuras Sonorenses y drena en la cuenca del Río Sonora. Se localiza al noroeste de la ciudad de Hermosillo, Sonora y su punto de acceso se encuentra en las coordenadas 29° 12' 30" N y 110° 59' 36" O (Figura 4.1).

El Rancho La Caridad, con una extensión aproximada de 5,000 ha, es una propiedad de producción extensiva de ganado vacuno, aunque también se realiza la cacería cinegética del borrego cimarrón (*Ovis canadensis*). El rancho se encuentra en el flanco occidental de la serranía Espinazo Prieto, presentando una topografía variada, que va de las suaves planicies en las bajadas, a laderas muy escarpadas en los cerros que alcanzan una elevación máxima de 750 m.s.n.m. (Rodríguez-Castañeda, 1981; INEGI, 1999).

4.2 Geología

En la zona de estudio predominan las rocas graníticas, con algunas intrusiones de rocas sedimentarias del Paleozoico o por depósitos de rocas volcánicas terciarias y sedimentarias (Rodríguez-Castañeda, 1981; INEGI, 1999). Los granitos son generalmente de color rosa (de ocre a blanco), con un tamaño de mediano a grueso. Por su estructura son granodioritas con variaciones de tonalita y diorita (Rodríguez-Castañeda, 1981; INEGI, 1999). Además, existen numerosos diques pegmatíticos paralelos con una orientación noroeste-sureste, lamprófidos con mineralogía constituida por plagioclasas intermedias (andesina-oligoclasa), hornblenda, biotita, en algunos casos barqueaviquita y agutita (Rodríguez-Castañeda, 1981; INEGI, 1999).

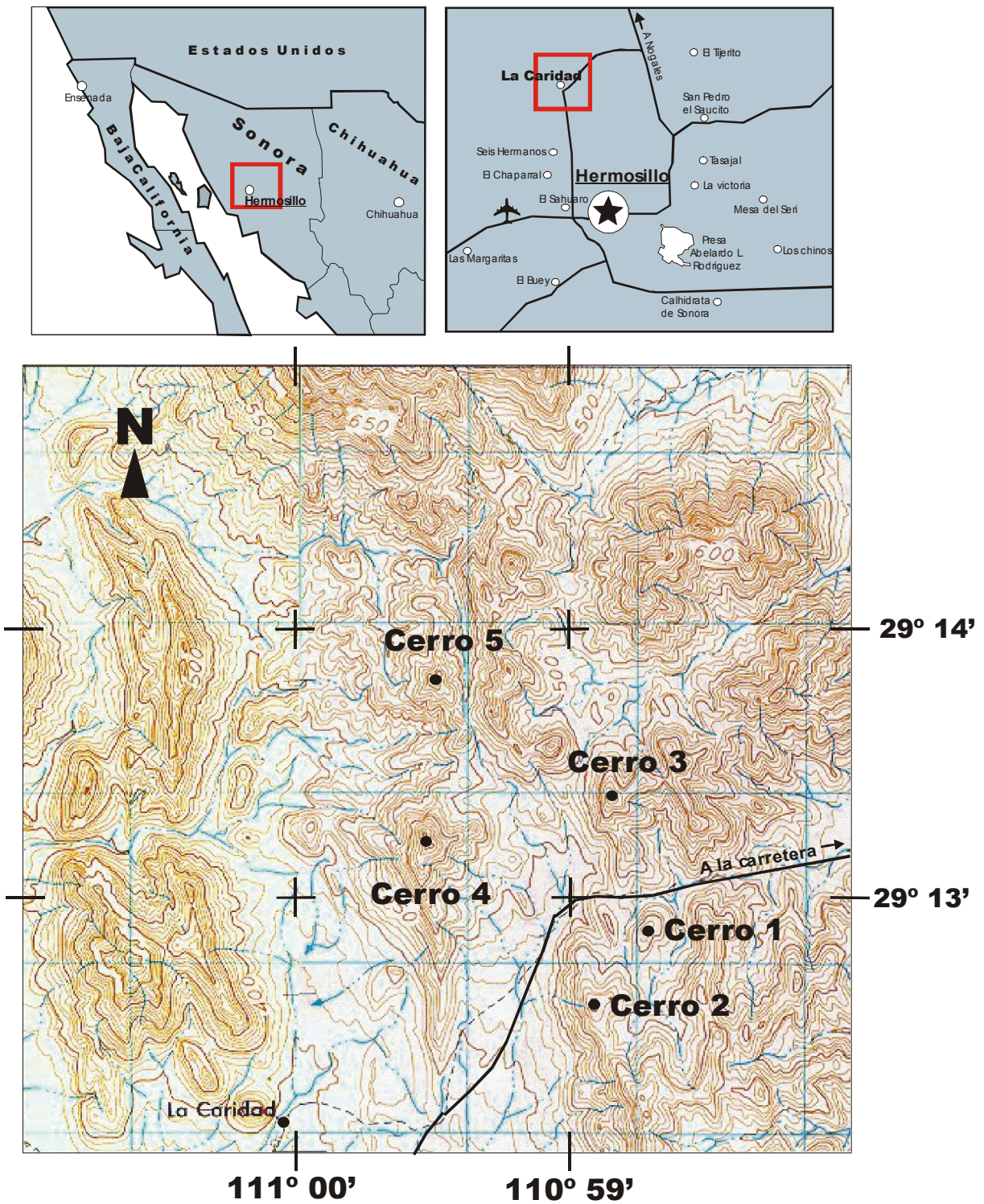


Figura 4.1. Localización de área de estudio en el Rancho La Caridad, Son. Se muestra la ubicación de los cinco cerros bajo estudio. Las curvas de nivel del área de estudio fueron tomadas de INEGI (escala 1:50 000).

4.3 Clima

El tipo de clima es BW(h') hw (x')(e') que corresponde a seco o desértico. Se caracteriza por ser predominantemente seco, semicálido, con lluvias en verano y en invierno (García y Falcón, 1984; García, 1988). La temperatura y precipitación promedio anual se obtuvieron con datos de las estaciones meteorológicas de Carbó y Hermosillo durante el periodo 1960-2000 (Figura 4.2).

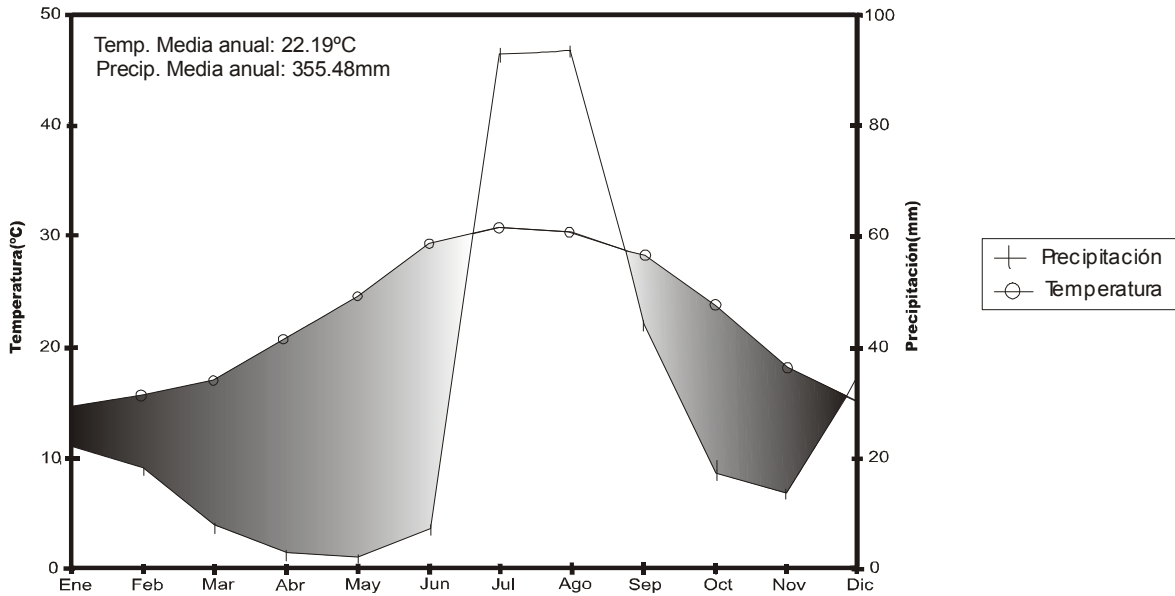
La precipitación media anual es de 351 mm, y los meses más húmedos son julio y agosto con una precipitación media de 39 y 57 mm, respectivamente. La temperatura media anual es mayor de 23°C con oscilaciones extremosas, siendo enero el mes más frío (15°C) y julio el más caliente (33°C). El régimen de lluvias en verano se presenta en los meses de junio a septiembre, con una precipitación media que varía de 75 a 300 mm, mientras que en los meses más secos (abril y mayo) la precipitación media es de 0.2 y 0 mm, respectivamente (Figura 4.2).

4.4 Vegetación

Debido a la abrupta topografía de la zona, la vegetación que se desarrolla en estas condiciones corresponde a la subdivisión Piedemonte de Sonora o "Foothills of Sonora" de Shreve (1951), que más recientemente se le refiere como matorral del piedemonte "thornscrub" (Búrquez *et al.*, 1999; Dimmitt, 2000).

En las partes planas, los árboles dominantes son de la familia Fabacea y su distribución se determina por la cantidad de humedad y nutrientes en el suelo, como *Acacia coulteri* Benth. ex A. Gray, *Olneya tesota* A. Gray y *Lysiloma microphyllum* Benth. En las laderas, los árboles dominantes son *Bursera laxiflora* S. Watson, *Bursera fagaroides* (H.B.K.) Engl., *Parkinsonia microphylla* Torr., *Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. ex

a) Carbó, Son.



b) Hermosillo, Son.

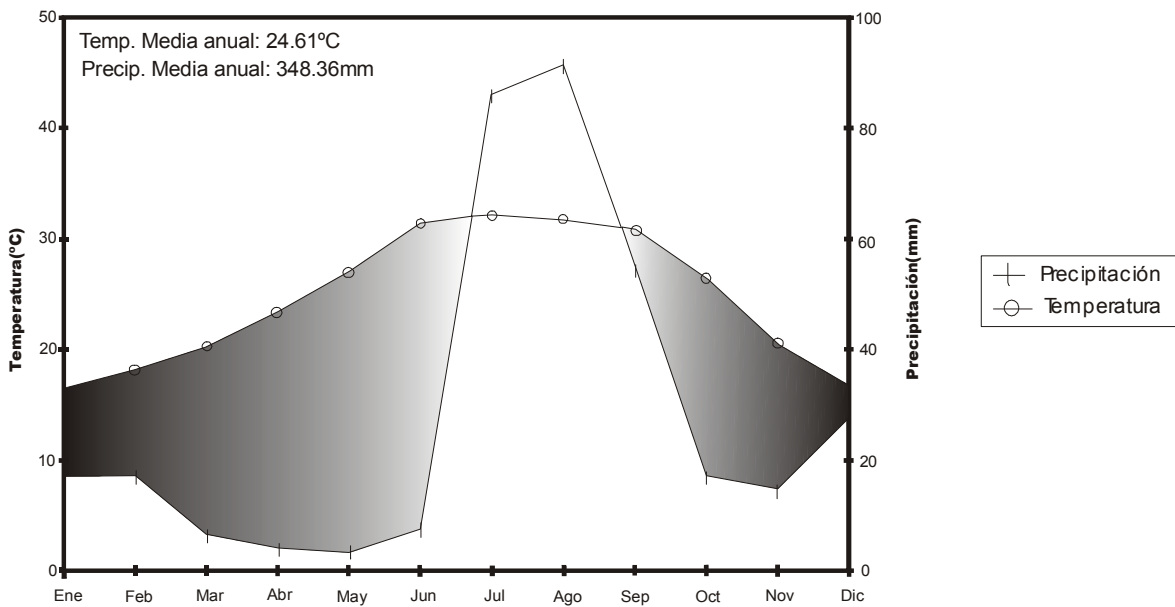


Figura 4.2. Diagramas ombrotérmicos de a) Carbó y b) Hermosillo, Sonora, con 37 años de registros (1966 – 2003), localidades cercanas al Rancho La Caridad, Son. Datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, Hermosillo.

Willd.) *G. Don* y *Jathropha cordata* (Ort.) Muell. Arg., acompañadas en menor proporción de *Fouquieria macdougalii* Nash (Shreve y Wiggins, 1964; Turner *et al.*, 1995).

Algunas de las especies arbustivas más abundantes de esta zona son: *Abutilon californicum* Benth., *Corton sonora* Torr., *Coursetia glandulosa* A. Gray, *Euphorbia californica* Benth., *Eysenhardtia orthocarpa* (A. Gray) S. Watson, *Fouquieria splendens* Englem., *Krameria grayi* Rose & Painter, *Lycium andersonii* A. Gray var. *deserticola* (C.L. Hitchcock) Jepson, *Randia obcordata* S. Watson y *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth (Shreve y Wiggins, 1964; Turner *et al.*, 2001).

Entre las cactáceas destacan: *Stenocereus thurberi* (Engelm.) Buxb., *Opuntia arbuscula* Engelm., *Opuntia gosseliniana* Weber y *Opuntia leptocaulis* D.C. (Shreve y Wiggins, 1964; Brown, 1982; Paredes *et al.*, 2000).

V. MATERIAL Y METODOS

5.1 Selección de sitios de muestreo

Se localizó el Rancho La Caridad, Sonora, en las cartas topográficas La Manga y Hermosillo a escala 1:50,000 (INEGI, 1987). Sobre estas se digitalizó el área de estudio con el programa Carta Linx 5.0 (Clark University). Una vez digitalizada, se interpoló un modelo de elevación (MDE, Apéndice 2) que fue procesado con el programa IDRISI 32 (Clark University). El MDE se reclasificó para obtener las partes altas y bajas de las pendientes, y excluir las partes planas. Por otra parte, se realizó una reclasificación para demarcar las orientaciones de las laderas norte, sur, este y oeste; como el área comprendida entre los 45° de cada lado de los puntos cardinales (Apéndice 3). Estas dos reclasificaciones se unieron con métodos de álgebra Booleana para que en un solo mapa se pudieran observar los cerros con las orientaciones de ladera, en las cuales se presentaba una parte alta y una baja (Apéndice 4). Sobre este último mapa, se eligieron arbitrariamente cinco cerros, con la característica de contar con las orientaciones norte, sur, este y oeste. En cada uno de los cinco cerros elegidos, se escogieron dos sitios de muestreo, uno en la parte alta y otro en la parte baja de cada una de las cuatro orientaciones de ladera. De esta forma se obtuvieron un total de 40 sitios de muestreo ($5 \text{ cerros} \times 4 \text{ orientaciones} \times 2 \text{ sitios o posiciones en cada ladera}$), y se registraron sus respectivas coordenadas geográficas. Utilizando un posicionador global satelital (GPS-Garmin E-Trex) se localizaron los sitios de muestreo dentro de la zona de estudio. En cada sitio se delimitó una parcela de $30 \times 30 \text{ m}$ (900 m^2). Los rumbos e inclinaciones de cada parcela se obtuvieron con una brújula con clinómetro (Suunto MC-1 D).

La delimitación de los sitios de estudio y el análisis de la vegetación se llevó a cabo de principios de septiembre a mediados de octubre de 2003.

5.2 Colecta de suelos

En la época de lluvias del verano de 2004, se tomó una muestra de suelo en las parcelas situadas en las laderas norte y sur de cada cerro. Las muestras de la parte superior e inferior de las parcela de cada ladera, se mezclaron para obtener una muestra compuesta por ladera y por cerro. Las muestras se secaron a temperatura ambiente durante un día sobre una superficie limpia y plana. Posteriormente, se limpió manualmente el suelo de hojas, piedras, raíces, etc. y se pasó la muestra por un tamiz de 2 mm (Newark No.10) para su posterior análisis físico-químico (Foth, 1970; Gandoy, 1991).

Además, para evaluar el contenido de humedad del suelo, se colectó una muestra de 50 a 100 g de suelo a 10 cm de profundidad en la parte central de cada una de las parcelas en las laderas norte y sur. Estas porciones de suelo fueron etiquetadas, guardadas y selladas en bolsas de polietileno de 16.5 × 14.9 cm (Ziplock), para su transporte al laboratorio. Este análisis se realizó inmediatamente después de haberse efectuado la colecta de las muestras.

5.3 Análisis de suelo

5.3.1 Contenido de agua. Para obtener el contenido de agua del suelo se registró su peso fresco en una balanza analítica (Ohaus GA200), de la muestra del suelo con todo y su bolsa (**Phb**). Después, las muestras se pasaron a sobres de papel manila de 8.5 x 16.5 cm, y se pesó por separado la bolsa (Ziplock) perfectamente seca (**Pb**). Las muestras de suelo se secaron a 105°C por 48 h y se pesaron hasta obtener peso constante, después de haberse dejado enfriar en un desecador con sílica gel (**Pss**). Por último, se pesó el sobre de papel seco y limpio (**Ps**). El porcentaje de humedad gravimétrico de cada muestra se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad del suelo} = [(Phb-Pb) - (Pss-Ps) / (Pss-Ps)] \times 100$$

5.3.2 Contenido de materia orgánica del suelo. El contenido de materia orgánica se estimó por medio de la combustión de carbono orgánico en una mufla. Para ello, 1 gr de suelo de cada muestra se incineró durante 4 h a 500 °C utilizando crisoles limpios de peso conocido. Posteriormente, los crisoles se retiraron de la mufla y se depositaron en un desecador con sílica gel. Una vez fríos, éstos se volvieron a pesar. El contenido de materia orgánica en la muestra se obtuvo por la substracción de los pesos secos, obtenidos antes y después de la combustión (Chapman, 1976; Heiri *et al.*, 2001).

5.3.3 Características químicas del suelo. Para obtener el pH y la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio disponible, se utilizó un kit La Motte (Chesterton, Maryland) para análisis químico de suelos. Por este método se obtienen resultados de forma cualitativa por colorimetría.

5.3.4 Textura del suelo. La estimación de la textura se basó en el llamado "método del churruto", que consiste en tomar la cantidad de muestra que pueda contener la palma de la mano y humedecerla hasta el punto de adherencia. La muestra se amasa hasta formar un cilindro aproximado de 3 mm de grosor, que por sus características de flexibilidad y adherencia, permite estimar la proporción de arcilla, arena y limo (Gandoy, 1991; Lomelí *et al.*, 2003; Morales, 2004).

5.3.5 Punto de marchitamiento permanente. Se realizó un experimento en el laboratorio para analizar la retención y disponibilidad de agua en el suelo para la planta, mediante la modificación de la técnica utilizada por Gandoy (1991). Primero se llenaron envases metálicos con una cantidad conocida de peso seco de suelo colectado en cada parcela de los sitios de estudio. Los 20 envases se regaron hasta alcanzar el punto de saturación y se pesaron. A continuación, se sembraron semillas de frijol en cada envase y se continuó regando hasta que las plántulas emergieron y alcanzaron 10 cm de altura. En este

estado, se regó por última vez hasta alcanzar la saturación del suelo y se introdujo el envase dentro de una bolsa de polietileno para evitar la evaporación, pero dejando la planta al aire libre.

Diariamente se revisaron las plántulas hasta que se alcanzó el punto de marchitamiento. Una vez alcanzado este punto, se introdujo la planta en una cámara oscura y húmeda. Si al día siguiente la planta había recuperado su turgencia, se exponía nuevamente al aire libre y condiciones de luz natural. El proceso se repitió hasta que el marchitamiento fue irreversible. En ese momento se pesó el envase (suelo + humedad + planta) (**A**). Se cortó la parte aérea de la planta y se pesó el envase (**R**). Se obtuvo el peso de la parte aérea (**B**), por medio de la siguiente fórmula: $B = A - R$. Posteriormente se introdujeron los envases con suelo y raíces al horno por 48 h a 105°C y se pesaron (**C**). Por último, se pesó el envase perfectamente limpio y seco (**D**), y se sustituyeron los valores anteriormente obtenidos en la siguiente fórmula:

$$PMP = (A - 1.4B - C) * 100 / (C - 0.01B - D)$$

Donde $1.4B$ = peso de la parte aérea + el peso del agua de las raíces (Gandoy; 1991).

5.4 Análisis de vegetación

5.4.1 Composición y estructura de la vegetación. La estructura y composición florística de la vegetación se analizaron aplicando el método de la línea de intercepción de Canfield (Chapman, 1976; Bureau of Land Management, 1996). Se establecieron dos líneas de 30 m de longitud por parcela situadas, respectivamente, en cada uno de los dos lados paralelos a la pendiente, teniendo de esta forma un total de cuatro líneas por ladera y 16 por cerro. Con la ayuda de una cinta métrica, en cada línea se registró al centímetro más cercano, la distancia cubierta por la parte aérea de cada una de las plantas que interceptaban

la línea. Además, se hizo una colecta botánica y se identificaron los especímenes en el Instituto de Ecología de la Estación Regional del Noroeste de la UNAM.

Con los datos de intercepción se calcularon las variables de cobertura, frecuencia y área seccional por especie y por línea. La cobertura se estimó mediante la suma de las distancias de intercepción de todos los individuos presentes en la línea y la frecuencia, como el número de toques o número de veces que una especie se registró en la línea, y el área seccional como el producto de un valor promedio ponderado de la altura de cada especie multiplicado por su valor de cobertura. El área seccional se utilizó como una medida de dominancia tomando en cuenta no sólo la cobertura de cada especie, sino su influencia en comunidad en relación con las diferencias en altura. Con las estimaciones de cobertura, frecuencia y área seccional total por especie y por línea, se obtuvieron los valores promedio por ladera de cada cerro y por cerro.

Se calcularon los valores relativos de cada variable por especie, por medio de las siguientes fórmulas:

Frecuencia relativa = frecuencia absoluta por especie / \sum frecuencia absoluta de todas las especies

Cobertura relativa = cobertura absoluta por especie / \sum cobertura absoluta de todas las especies

Área seccional relativa = área seccional absoluta por especie / \sum área seccional absoluta de todas las especies

También se calculó el Valor de Importancia Relativo (VIR) de las especies para cada cerro y cada ladera, para establecer la jerarquía de dominancia de las especies presentes dentro de los sitios. El VIR fue calculado como:

VIR = frecuencia relativa + área seccional relativa + cobertura relativa.

Con la finalidad de mostrar con mayor claridad las curvas de jerarquía de dominancia en los sitios, se graficaron por separado los VIR de las especies leñosas (árboles y arbustos) y de las no leñosas (hierbas y trepadoras).

5.4.2 Índices de diversidad. La variedad de especies vegetales presentes por parcela (diversidad α), se calculó por medio de los índices de Simpson y Shannon-Wiener con las siguientes fórmulas:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde D es el índice de Simpson, Σ es la sumatoria, p_i la proporción de todos los individuos en la muestra que pertenecen a la especie i . En este caso y siguientes, la proporción de individuos se calculó a partir de los valores de frecuencia ó número de toques.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde H' es el índice de Shannon-Wiener, Σ es la sumatoria, p_i la proporción de todos los individuos en la muestra que pertenecen a la especie dada y \ln es el logaritmo natural (Begon *et al.*, 1990; Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

En cuanto a la equitatividad, se calculó como:

$$E = H' / \ln S$$

Donde E es el índice de equitatividad, H' el índice de Shannon-Wiener, \ln es el logaritmo natural y S es el número total de especies presentes en un área dada o riqueza (Begon *et al.*, 1990). Se realizaron los cálculos de estos índices de diversidad en base a la frecuencia, área seccional y cobertura de las especies.

La similitud florística entre pares de muestras o sitios (diversidad β) se evaluó con el índice de Jaccard calculado por medio del programa Estimates 7.5 (Colwell, 2005).

5.5 Análisis estructural de la población de *Stenocereus thurberi*

En cada una de las parcelas de 30×30 m se enumeraron todos los individuos presentes de pitayo. A cada individuo se le registró:

- 1) el número total de brazos,
- 2) la longitud de cada brazo,
- 3) dos diámetros de cobertura de la copa (diámetro mayor y diámetro menor o perpendicular al primero)
- 4) y la circunferencia a 1.45 m de altura de sólo cinco brazos de más de 1 m de largo elegidos arbitrariamente.

En caso de que el individuo fuese pequeño (< 1.70 m), el diámetro de las ramas se midió a 30 cm por debajo del ápice de crecimiento.

Con los datos anteriores, se calculó la cobertura (C) de cada individuo usando la fórmula del área de una elipse:

$$C = [(D_1 + D_2 / 4)^2] \pi$$

Donde C es la cobertura, D_1 = diámetro mayor, D_2 = diámetro menor y $\pi = 3.141592$ (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

El volumen (V) por individuo se calculó a través de la modificación de la fórmula del área de una elipse:

$$V_i = [4 [(d_1/2) (d_2/2)] (a_{\text{máx}}) (\pi)] / 6$$

Donde V_i es el volumen del individuo, d_1 es el diámetro mayor, d_2 el diámetro menor, $a_{\text{máx}}$ es la altura del brazo más alto y $\pi = 3.141592$.

El área del brazo ($\acute{A}rea_b$) se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\acute{A}rea_b = \left[\left(\frac{P}{\pi} \right) / 2 \right]^2 \pi$$

Donde $\acute{A}rea_b$ es el área del brazo y P es el perímetro promedio de los cinco brazos medidos, $\pi = 3.141592$.

El volumen de la suma de todos los brazos se calculó con la fórmula:

$$V_t = (\sum h_b) \acute{A}rea_b$$

Donde V_t es el volumen de la suma de los brazos por individuo, Σ la sumatoria, h_b es la altura de todos los brazos y $\acute{A}rea_b$ es el área del brazo.

Todos estos datos fueron analizados de tres formas: 1) tomando en cuenta a los individuos de todos los tamaños encontrados en cada cerro y orientación de ladera, 2) considerando solamente los individuos cuyos valores pertenecieran al cuartil superior, y para esta manera, excluir la variación ocasionada por la presencia de individuos pequeños y 3) estimando la abundancia y dominancia de los individuos por hectárea en el sitio de estudio.

5.6 Análisis estadísticos

Con los datos obtenidos del muestreo de vegetación y de la población de *S. thurberi* se creó para cada grupo de datos una base de datos para su posterior análisis estadístico utilizando el programa SPSS 10 (SPSS Inc.).

Para la comparación entre cerros y laderas de las variables de composición y estructura de la vegetación y de la forma y tamaño de la población de pitayos se efectuó un Análisis de Varianza (ANDEVA) de dos vías. Además, las relaciones entre pares de variables morfométricas de los pitayos fueron exploradas con el coeficiente de correlación de Pearson (r).

El supuesto de homogeneidad de varianzas de los datos fue evaluado con la prueba de Levene. Cuando la prueba resultó significativa, los datos se analizaron con la prueba de Kruskal-Wallis o bien se transformaron a logaritmo natural, previo al ANDEVA.

Los cuadros y figuras de los resultados obtenidos se hicieron con los programas SPSS 10.0 (SPSS Inc.), Sigma Plot versión 2001 (SYSTAT Software Inc.) y CorelDraw 11 (Corel Corporation).

VI. RESULTADOS

6.1 Características edáficas

Las características físico-químicas del suelo de las laderas norte y sur de los cerros de estudio se muestran en el Cuadro 6.1. En general, el nitrógeno total presentó niveles de traza (0 - 0.5 ppm) a muy bajos (0.5 -15 ppm), el potasio tuvo niveles muy altos (<100 ppm) y el fósforo de medio (25.5 - 50 ppm) a alto (<50 ppm). Por último, el pH varió de ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6.5 - 8). No hubo diferencias significativas entre laderas en pH y nutrientes (pH: $F = 0.032$, g.l. 3,36, $P = 0.861$; Nitrógeno: $F = 0.783$, g.l. = 3,36, $P = 0.388$; Potasio: $F = 0.184$, g.l. = 3,36, $P = 0.673$).

Los Cerros 1, 2 y 4 presentan una textura arenosa con más del 80% de arena, mientras que los Cerros 3 y 5, una textura franco-arenosa. Por lo tanto, la zona de estudio puede considerarse de suelo predominantemente arenoso.

Los valores promedio de materia orgánica (MO) indican que la ladera norte tiende a presentar los valores más altos, pero hubo diferencias marginalmente significativas entre laderas ($F = 3.812$, g.l. = 3,36, $P = 0.067$; Cuadro 6.1). Sin embargo, por cerro, la MO en el cerro 4 fue más del doble en la ladera norte que en la sur.

El punto de marchitamiento permanente promedio (PMP) indica también que las laderas norte tienden a presentar valores más altos que las laderas sur. Al considerar la variabilidad entre los cerros, se observa que el Cerro 2 tuvo el valor promedio más alto, 2.72 (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Características físico-químicas del suelo por ladera y por cerro en el Rancho La Caridad, Son. Hum. = humedad (%), M.O. = materia orgánica (%), PMP = Punto de Marchitamiento Permanente (%), N = nitrógeno, P = fósforo, K = potasio, Tex.= textura, Fran-are = Franco-arenoso, med/alt = medio-alto. Valores promedio y desviación estándar en paréntesis, n = 2.

	Cerro 1			Cerro 2			Cerro 3			Cerro 4			Cerro 5		
	Norte	Sur	Prom.	Norte	Sur	Prom.	Norte	Sur	Prom.	Norte	Sur	Prom.	Norte	Sur	Prom.
Hum.	7.20 (0.842)	5.90 (0.432)	6.55 (0.929)	6.30 (1.073)	7.20 (0.387)	6.75 (0.866)	3.10 (0.142)	4.70 (0.395)	3.90 (0.959)	3.70 (0.215)	3.10 (0.761)	3.40 (0.559)	5.00 (0.333)	7.30 (2.589)	6.15 (2.01)
M.O.	2.80 (0.137)	2.55 (0.81)	2.68 (0.478)	2.90 (0.092)	2.54 (0.789)	2.72 (0.499)	2.06 (0.036)	1.92 (0.726)	1.99 (0.419)	3.53 (1.085)	1.47 (0.17)	2.50 (1.36)	2.52 (0.031)	2.55 (.017)	2.53 (0.05)
PMP	4.18 (0.154)	4.02 (0.597)	4.10 (0.368)	5.44 (0.271)	4.98 (1.283)	5.21 (0.803)	3.28 (.014)	3.86 (0)	3.57 (0.337)	3.68 (0.342)	2.34 (1.150)	3.01 (1.041)	4.18 (0.506)	4.65 (1.127)	4.42 (0.762)
pH	6.50 (0.707)	6.50 (0.707)	6.50 (0.577)	7.00 (0)	6.75 (0.354)	6.88 (0.25)	6.75 (0.354)	6.75 (0.354)	6.75 (0.288)	7.25 (0.354)	7.50 (0.707)	7.38 (0.478)	8.00 (0)	7.75 (.354)	7.88 (0.25)
N	bajo	traza		bajo	traza		traza	traza		bajo	bajo		bajo	bajo	
P	medio	med/alt		med/alt	alto		med/alt	med/alt		medio	med/alt		alto	medio	
K	muy alto	muy alto		muy alto	muy alto		muy alto	muyalto		muy alto	muy alto		muy alto	muy alto	
Tex.	Arenoso	Arenoso		Arenoso	Arenoso		Fran-are	Fran-are		Arenoso	Arenoso		Fran-are	Fran-are	

Las pendientes varían de 19° a 39.5° entre las distintas orientaciones y cerros (Cuadro 6.2). El mayor contraste de inclinación entre laderas se observó en el Cerro 2 (22.5° a 39.5°), y el menor en el Cerro 1 (19° a 23.5°). En promedio por ladera, la orientación sur fue la de mayor inclinación (31.3°, Cuadro 6.2).

Cuadro 6.2. Inclinación promedio de las pendientes del terreno por cerro y ladera en el Rancho La Caridad, Son. n = 6

Cerro	Norte	Sur	Este	Oeste	Promedio
1	22.0°	22.0°	23.5°	19.0°	21.6°
2	22.5°	39.5°	28.5°	34.5°	31.2°
3	24.5°	34.0°	31.0°	38.0°	31.9°
4	34.5°	30.0°	32.0°	33.5°	32.5°
5	19.5°	31.0°	20.0°	27.5°	24.5°
Promedio	24.6°	31.3°	27.0°	30.5°	24.35°

6.2 Composición y estructura de la vegetación

Se registró en el censo de vegetación, un total de 67 especies de plantas vasculares, agrupadas en 24 familias y 53 géneros (Cuadro 6.3). La distribución de las especies por familia es heterogénea. De las 24 familias, sólo cinco son las más ricas en cuanto a número de especies, aportando en conjunto el 52% (35 especies) de la riqueza total. La familia Fabaceae fue la más abundante con 10 especies, seguida por Euphorbiaceae con ocho,

Cuadro 6.3. Lista de especies encontradas en el muestreo de vegetación en la zona de estudio en el Rancho La Caridad, Son. Fc = Forma de Crecimiento, h = hierba, A = árbol, a = arbusto, e = enredadera, ep = epífita, s = suculenta, Abrev.= Abreviatura del nombre de la especie, * = especies presentes en los cinco cerros de estudio.

Num.	Familia	Fc	Abrev.	Especie	
1	ACANTHACEAE	h	Car ari	<i>Carlowrightia arizonica</i> A. Gray	
2		h	Car cor	<i>Carlowrightia cordifolia</i> A. Gray	
3		h	Car sin	<i>Carlowrightia sinaloensis</i> Leonard & Gentry	
4		h	Ely imb	<i>Elytraria imbricata</i> (Vahl.) Pers.	
5		a	Jus cal	<i>Justicia californica</i> (Benth.) D.N.Gibson	
6		a	Jus can	<i>Justicia candicans</i> (Ness.) L.D. Benson	
7	AGAVACEAE	s	Aga ang	<i>Agave angustifolia</i> Haw.	
8	ASTERACEAE	a	Amb cor	<i>Ambrosia cordifolia</i> (A. Gray) W.W. Payne	
9		a	Bri cou	<i>Brickellia coulteri</i> A. Gray	
10		a	Bri sp	<i>Brickellia</i> sp.	
11		a	Enc far	<i>Encelia farinosa</i> A. Gray	
12		a	Lag dec	<i>Lagascea decipiens</i> Hemsl.	
13		a	Tri cal	<i>Trixis californica</i> Kell.	
14		h	Vig den	<i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng.	
15		BIGNONIACEAE	a	Tec sta	<i>Tecoma stans</i> (L.) Juss. ex Kunth
16		BURSERACEAE	A	* Bur fag	<i>Bursera fagaroides</i> (H.B.K.) Engl.
17			A	* Bur lax	<i>Bursera laxiflora</i> S. Watson
18		CACTACEAE	s	Mam sp	<i>Mammillaria</i> sp.
19			s	* Opu arb	<i>Opuntia arbuscula</i> Engelm.
20			s	Opu sp	<i>Opuntia gosseliniana</i> Weber
21	s		* Ste thu	<i>Stenocereus thurberi</i> (Englem.) Buxb.	
22	CONVOLVULACEAE		a	Evo als	<i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L. var. <i>acapulcensis</i> (Willd.) Ooststr.
23	EUPHORBIACEAE	A	lpo arb	<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb.& Bonpl.ex Willd.) G. Don	
24		a	Aca cal	<i>Acalypha californica</i> Benth.	
25		a	Ade obo	<i>Adelia obovata</i> Wiggins & Rollins	
26		a	* Cro son	<i>Croton sonora</i> Torr.	
27		h	Eup cal	<i>Euphorbia californica</i> Benth.	
28		h	Eup col	<i>Euphorbia colletioides</i> Benth.	
29		h	Eup ped	<i>Euphorbia pediculifera</i> Englem. Var. <i>californica</i>	
30		A	* Jat cor	<i>Jatropha cordata</i> (Ort.) Muell. Arg.	
31		h	Man ang	<i>Manihot angustiloba</i> (Torr.) Müll. Arg.	
32		FABACEAE	A	Aca cou	<i>Acacia coulteri</i> Benth. ex A. Gray
33	A		Cae pal	<i>Caesalpinia palmeri</i> S. Watson	
34	a		Cal sch	<i>Calliandra schottii</i> Torr. ex S. Watson	
35	a		* Cou gla	<i>Coursetia glandulosa</i> A. Gray	
36	a		Des cov	<i>Desmanthus covillei</i> (Britton & Rose) Wiggins ex. B. Turner	
37	A		Eys ort	<i>Eysenhardtia orthocarpa</i> (A. Gray) S. Watson	
38	A		Lys mic	<i>Lysiloma microphyllum</i> Benth.	
40	e	* Nis sch	<i>Nissolia schottii</i> A. Gray		
41	A	* Par mic	<i>Parkinsonia microphylla</i> Torr.		
42	FOUQUIERIAEAE	A	Fou mac	<i>Fouquieria macdougalii</i> Nash	
43		A	Fou spl	<i>Fouquieria splendens</i> Englem.	

Cuadro 6.3. Lista de especies encontradas..... (Continuación)

Num.	Familia	Fc	Abrev.	Especies
44	KRAMERIACEAE	a	Kra gra	<i>Krameria grayi</i> Rose & Painter
45	LAMIACEAE	a	Hyp emo	<i>Hyptis emoryi</i> Torr.
46	LORANTHACEAE	ep	Phr son	<i>Phrygilanthus sonorae</i> (S.Watson) Standl
47	MALPIGHIACEAE	e	Cal mac	<i>Callaeum macropterum</i> (Moc. & Sessé ex D.C.) D.M. Johnson
48		e	* Jan cal	<i>Janusia californica</i> Benth.
49		e	Jan lin	<i>Janusia linearis</i> Wiggins
50	MALVACEAE	a	Abu inc	<i>Abutilon incanum</i> (Link) Sweet
51		a	* Abu cal	<i>Abutilon californicum</i> Benth.
52	NYCTAGINACEAE	h	Abr mar	<i>Abronia maritima</i> Nutt. ex S. Watson
53		h	Boe coc	<i>Boerhavia coccinea</i> Mill.
54		a	Com sca	<i>Commicarpus scandens</i> (L.) Standley
55	PASSIFLORACEAE	e	Pas foe	<i>Passiflora foetida</i> L.
56	POACEAE	h	* Bou cur	<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.
57		h	Bou rot	<i>Bouteloua rothrockii</i> Vasey
58		h	* Pen cil	<i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link
59	PTERIDACEAE	h	Che lin	<i>Cheilanthes lindheimeri</i> Hook.
60		h	Not cal	<i>Notholaena californica</i> D.C. Eaton
61	RUBIACEAE	A	Ran obc	<i>Randia obcordata</i> S. Watson
62	SAPINDACEAE	e	* Car cor	<i>Cardiospermum corindum</i> L.
63	SOLANACEAE	a	* Lyc and	<i>Lycium andersonii</i> A. Gray var. <i>deserticola</i> (C.L. Hitchcock) Jepson
64		a	Lyc ber	<i>Lycium berlandieri</i> Dunal
65		a	Lyc sp	<i>Lycium</i> sp.
66	STERCULIACEAE	h	Aye gla	<i>Ayeria glabra</i> S. Watson
67	ZYGOPHYLLACEAE	A	Gua cou	<i>Guaiaacum coulteri</i> A. Gray

Asteraceae con siete, Acanthaceae con seis y Cactaceae con cuatro especies. Tres especímenes pudieron ser identificados sólo a nivel de género (Cuadro 6.3). Un listado florístico más completo del sitio de estudio, el cual incluye a todas las plantas perennes y anuales colectadas durante el muestreo de la vegetación, se presenta en el Apéndice 1.

Las familias cuyas especies presentaron en las líneas de intercepción de Canfield un mayor número de toques o mayor frecuencia absoluta (≥ 100) fueron Poaceae (1099)

Fabaceae (1042), Euphorbiaceae (1033), Burseraceae (169) y Sapindaceae (118). Estas cinco familias comprenden el 88.7% del total de individuos registrados en el censo.

Según la forma de crecimiento, la mayoría de las especies fueron arbustos (25). Del resto, 17 fueron especies herbáceas, 13 árboles, seis trepadoras, cinco suculentas y una epífita. En total, el 56.7% de las especies fueron árboles y arbustos, mientras que el 34.3% hierbas y trepadoras. El resto fueron suculentas (7.5%) y epífitas (1.5%).

Del total de las especies, 16 están presentes en los cinco cerros (Cuadro 6.3). El número de especies exclusivas del Cerro 1 fueron seis (*A. maritima*, *B. rothrockii*, *E. alsinoides*, *G. coulteri*, *J. linearis* y *L. berlandieri*), tres del Cerro 2 (*C. macropterum*, *C. schottii* y *T. stans*), tres del Cerro 3 (*B. coccinea*, *E. pediculifera* y *M. angustiloba*), tres del Cerro 4 (*D. covillei*, *E. imbricata* y *L. decipiens*) y una del Cerro 5 (*H. emoryi*).

Sólo siete especies tuvieron una amplia distribución y se registraron en las cuatro laderas de los cinco cerros, éstas fueron: *B. curtispindula*, *B. fagaroides*, *C. corindum*, *C. sonora*, *J. cordata*, *M. distachya* y *P. microphylla*. Ocho especies (*A. maritima*, *B. rothrockii*, *D. covillei*, *E. imbricata*, *G. coulteri*, *H. emoryi*, *L. berlandieri* y *L. decipiens*) fueron exclusivas de la ladera norte, una (*C. cordifolia*) de la ladera sur, dos (*C. macropterum*, *Mammillaria* sp.) de la ladera este y cinco (*B. coccinea*, *C. schottii*, *E. pediculifera*, *J. linearis* y *M. angustiloba*) en la ladera oeste.

6.2.1 Cobertura. La cobertura relativa por especie, en promedio para todo el sistema de estudio, muestra que cinco especies contribuyeron con el 50% de la cobertura total, de las cuales, *P. ciliare* (gramínea exótica) y *C. sonora* (arbusto nativo) fueron las más importantes. De todas las especies, un gran número (71%) tuvieron un valor <1% de cobertura total (Figura 6.1). Únicamente para la cobertura de *C. sonora*, las diferencias

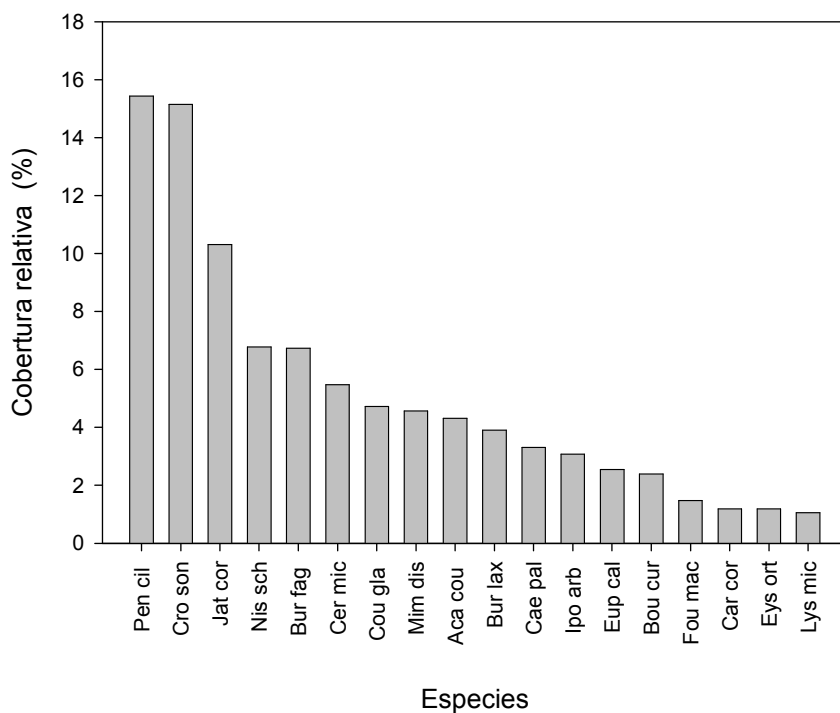


Figura 6.1. Cobertura relativa promedio por especie en todo el sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran las especies con una contribución <1% del total. Para el nombre de las especies por abreviatura ver el Cuadro 6.3.

entre las laderas con orientación norte y sur fueron significativas ($F = 5.718$, g.l. = 1,19, $P = 0.022$).

Los valores de cobertura relativa total promedio por sitio mostraron diferencias significativas entre cerros ($F = 7.571$, g.l. = 4,35, $P < 0.001$), siendo el Cerro 4 el de mayor cobertura y el Cerro 1 el de menor (Figura 6.2). El efecto de ladera en esta variable fue significativo ($F = 14.696$, g.l. = 3,36, $P < 0.001$). La ladera norte presentó el mayor valor de cobertura promedio y las laderas sur y oeste el valor más bajo (Figura 6.3).

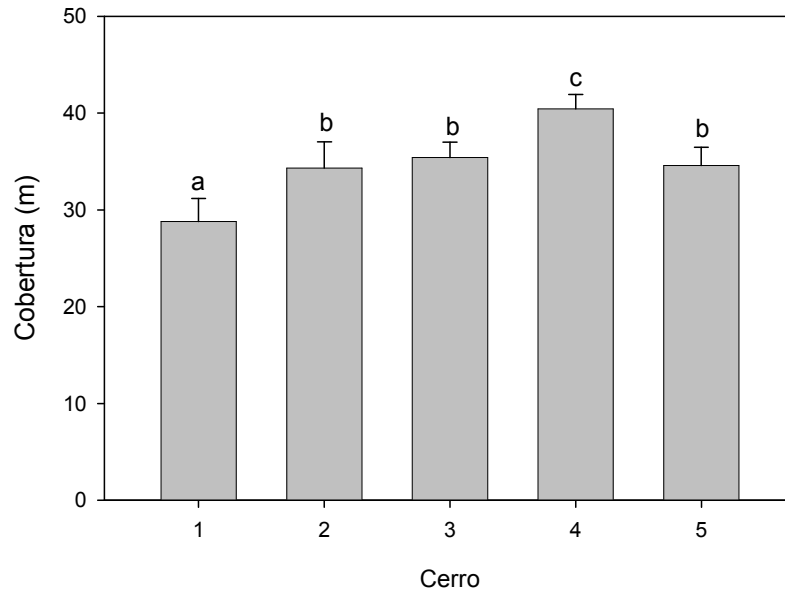


Figura 6.2. Cobertura promedio de la vegetación por cerro para todo el sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. N = 16 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

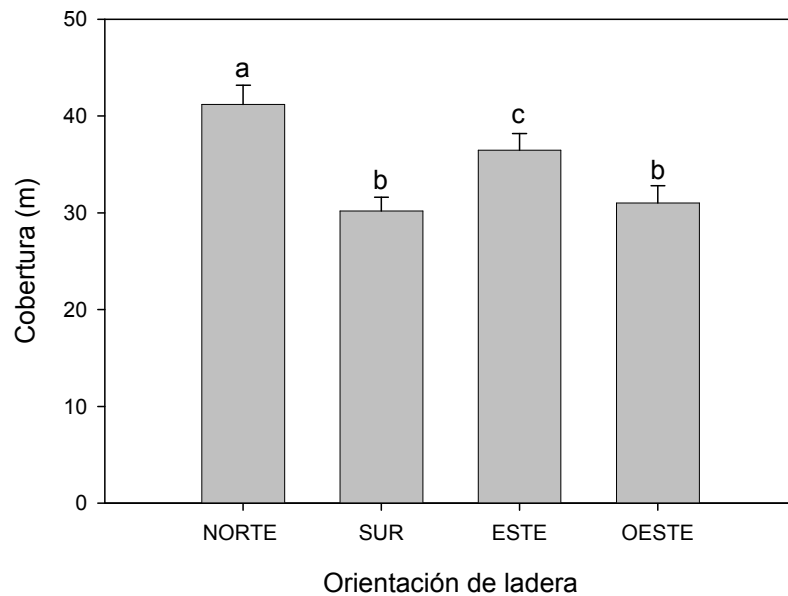


Figura 6.3. Cobertura promedio de la vegetación por orientación ladera para todo el sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. N = 20 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

Los resultados del ANDEVA mostraron que el término de la interacción cerro \times ladera fue significativo ($F = 3.179$, g.l. = 12,79, $P = 0.001$). Esta interacción se muestra en la Figura 6.4, donde se observa que no siempre se mantiene entre cerros el mismo orden en los valores de cobertura de las laderas.

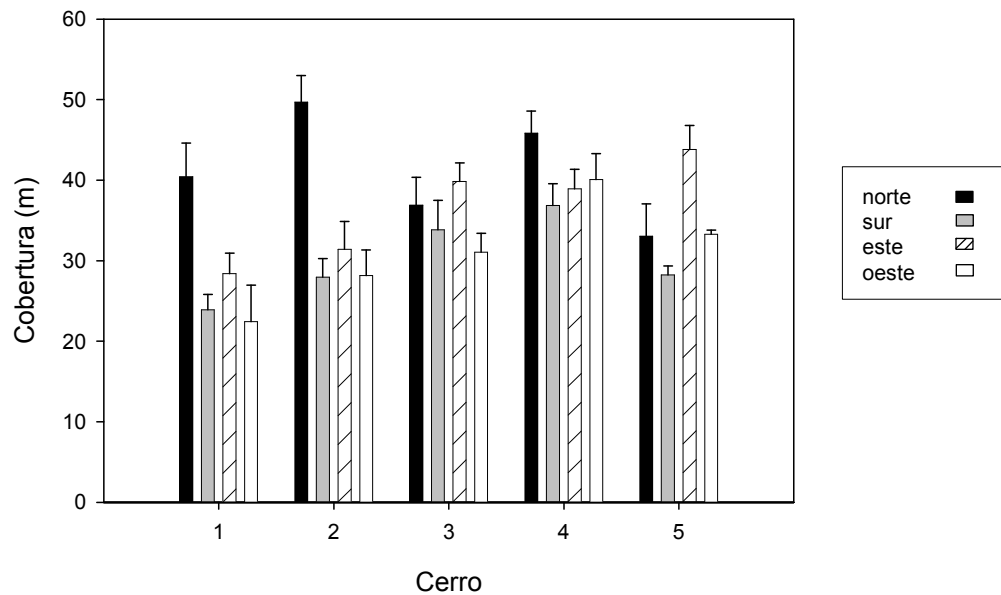


Figura 6.4. Cobertura total promedio de la vegetación por cerro y por orientación de ladera en el Rancho La Caridad, Son. N = 4 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar

6.2.2 Frecuencia. La frecuencia de individuos (número de toques) promedio por especie muestra que sólo cuatro especies contribuyeron con el 50% del valor de la frecuencia total. Asimismo, 25 especies tuvieron un valor promedio de frecuencia muy bajo (<1%). También para esta variable, *P. ciliare* y *C. sonora* fueron las especies con los valores más altos de frecuencia en todo el sitio (20% y 16%, respectivamente; Figura 6.5). En cuanto al contraste de frecuencia entre las laderas norte y sur, para las especies de mayor frecuencia en el sitio, encontramos, que mientras que *C. sonora* presenta una mayor frecuencia en las laderas con orientación norte ($F = 8.589$, g.l.= 1,19, $P = 0.006$), la

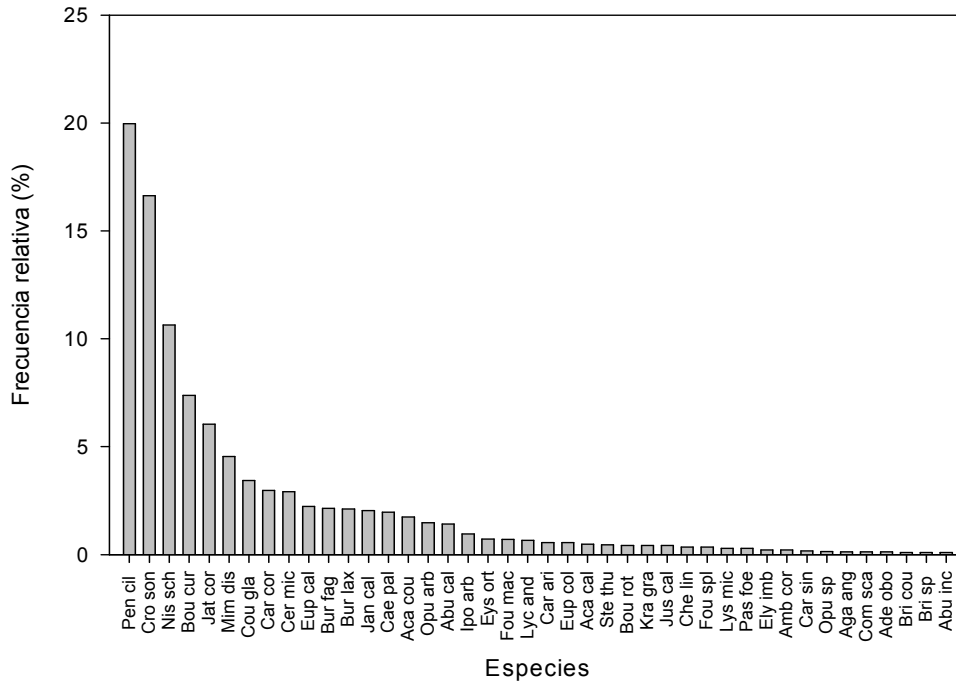


Figura 6.5. Frecuencia relativa promedio por especie en todo el sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran las especies con una contribución < 0.1% del total. Para el nombre de las especies por abreviatura ver el Cuadro 6.3.

frecuencia de *P. microphylla* fue significativamente mayor en la ladera sur ($F = 5.852$, g.l. = 1,19, $P = 0.02$).

Las diferencias entre cerros en los valores promedio de la frecuencia fueron significativas ($F = 4.783$, g.l. = 4,35, $P = <0.001$), con la mayor frecuencia en el Cerro 3 y la menor en los Cerros 1 y 5 (Figura 6.6). Con respecto a los valores promedio por ladera, también hubo diferencias significativas entre las laderas ($F = 18.130$, g.l. = 3,36, $P = <0.001$), observándose la mayor frecuencia promedio en la ladera norte y la menor en las laderas sur y oeste (Figura 6.7). Para esta variable, el término de la interacción cerro x ladera no fue significativo ($F = 1.511$, g.l. = 12,79, $P = 0.145$), observándose que las laderas norte fueron las que presentaron la mayor frecuencia de individuos en todos los cerros, seguidas por la ladera este (Figura 6.8).

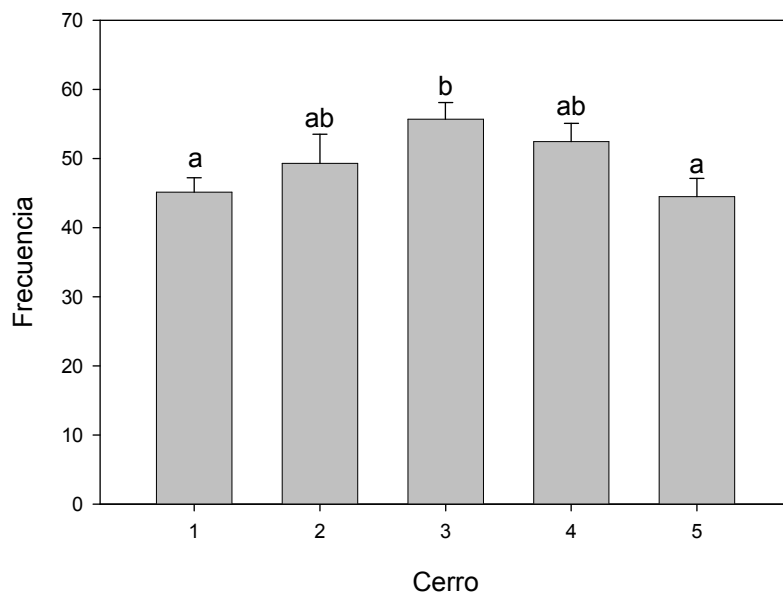


Figura 6.6. Frecuencia promedio de la vegetación por cerro para todo el sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. N = 16 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

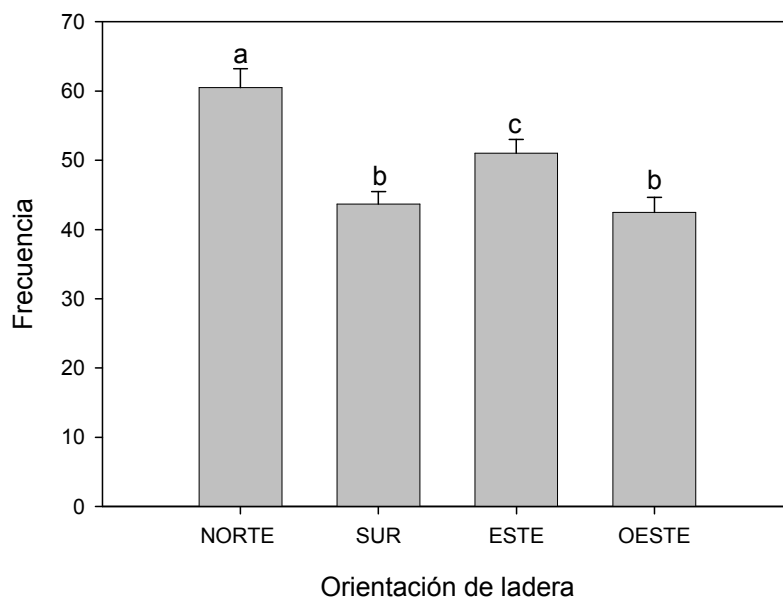


Figura 6.7. Frecuencia promedio de la vegetación por ladera para todo es sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son. N = 20 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

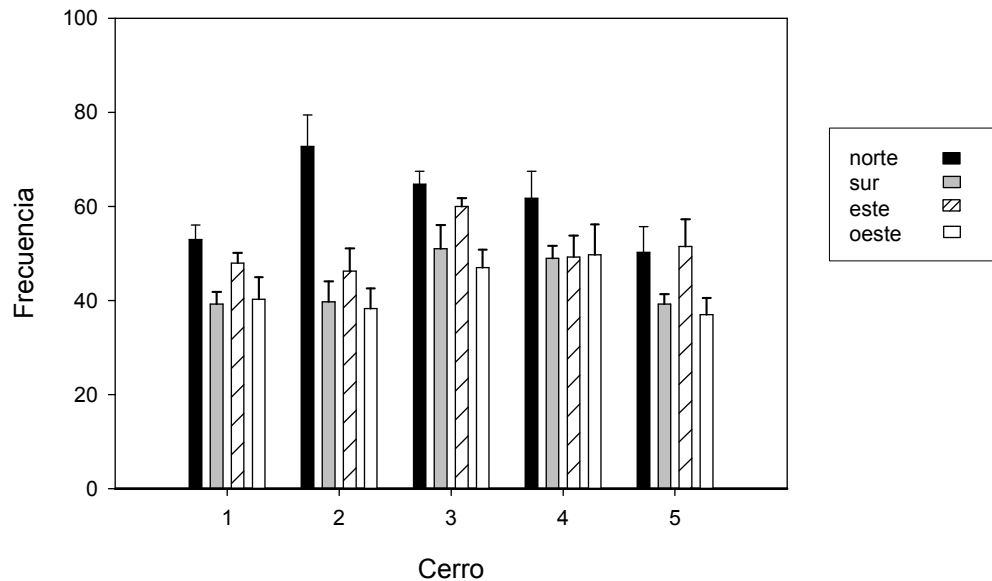


Figura 6.8. Frecuencia total promedio de la vegetación por cerro y orientación de ladera en el Rancho La Caridad, Son. N = 4 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar.

6.2.3 Área seccional. Los valores promedio del área seccional variaron significativamente entre los cerros ($F = 10.724$, g.l. = 4,35, $P = <0.001$), siendo el Cerro 4 el que presentó la mayor área promedio (Figura 6.9). Del mismo modo, las diferencias entre laderas fueron significativas ($F = 6.792$, g.l. = 3,36, $P = 0.019$), siendo las orientaciones sur y oeste las de menor área, y las laderas norte y este las de mayor (Figura 6.10). La interacción cerro \times ladera para esta variable fue marginalmente no significativa ($F = 1.834$, g.l. = 12,79, $P = 0.063$; Figura 6.11). Únicamente para *C. sonora* el efecto de ladera fue significativo, encontrándose una mayor área en las laderas norte que en las laderas con orientación sur ($F = 5.718$, g.l. 1,19; $P = 0.022$).

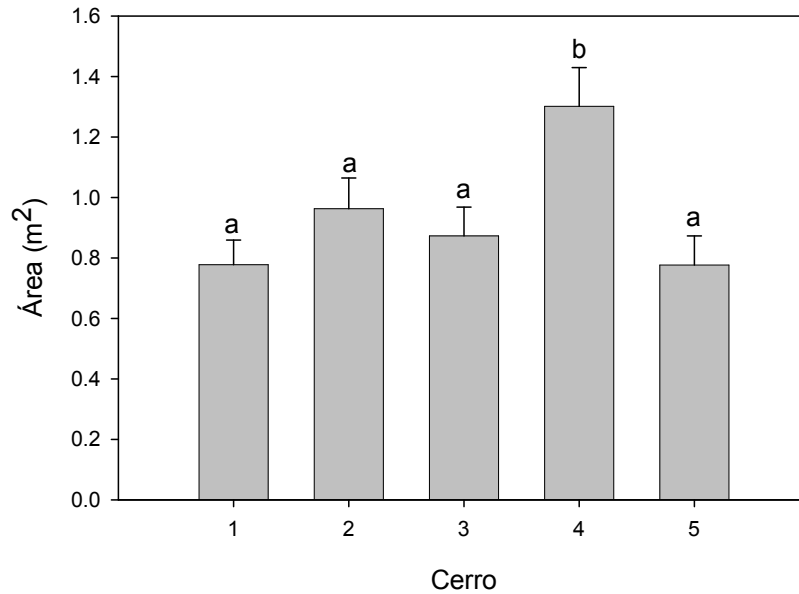


Figura 6.9. Área seccional promedio de la vegetación por cerro en el Rancho La Caridad, Son. N = 16 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

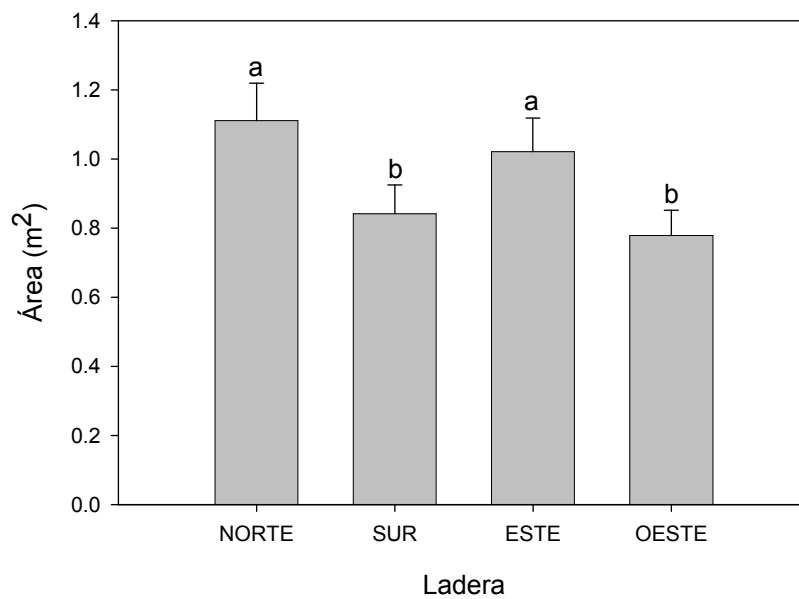


Figura 6.10. Área seccional promedio de la vegetación por ladera en el Rancho La Caridad, Son. N = 20 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre grupos ($P < 0.05$).

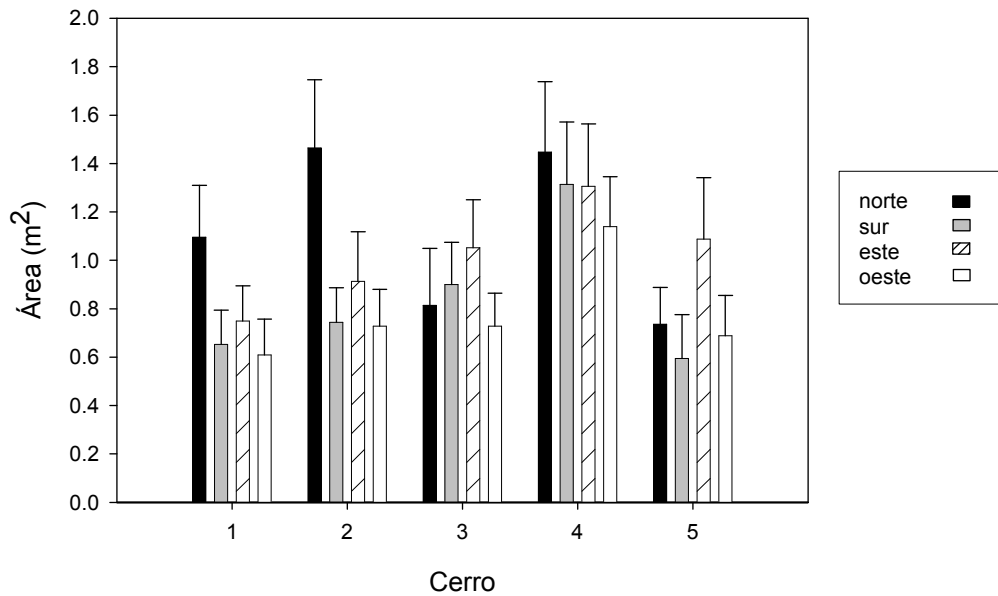


Figura 6.11. Área seccional total promedio de la vegetación por cerro y orientación de ladera en el Rancho La Caridad, Son. N = 4 líneas de intercepción de 30 m. Las líneas sobre las barras indican un error estándar.

6.2.4 Valor de importancia relativo de las especies. Las curvas de dominancia-diversidad con base en el Valor de Importancia Relativo (VIR) de las especies, se graficaron por separado, para el grupo de árboles y arbustos (Figura 6.12 por cerro y Figura 6.13 por ladera), y para el grupo de hierbas y trepadoras (Figura 6.14 y 6.15 por cerro y ladera, respectivamente). En el caso de árboles y arbustos, se observa que el patrón rango-dominancia de las especies difiere entre cerros (Figura 6.12), observándose que la distribución de los valores de VIR es más equitativa entre las especies en los Cerros 1 y 4. También se observa que el Cerro 2 presenta dominancia de una especie (una arbustiva, *C. sonorae*), que siete especies subordinadas contribuyen con el mismo valor de importancia al VIR total en el Cerro 3 y, por último, que los valores más bajos de VIR, también de especies subordinadas, se presentan en el Cerro 5 (Figura 6.12).

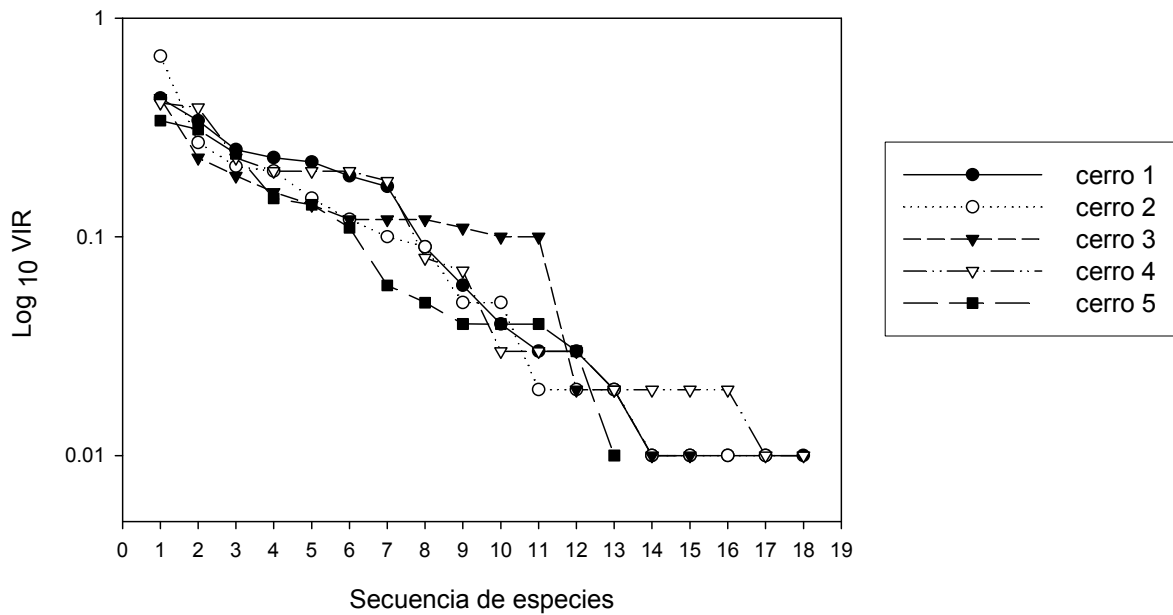


Figura 6.12. Log₁₀ del valor de importancia relativo (VIR) promedio para las especies de árboles y arbustos de los cinco cerros de estudio en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran los individuos que contribuyen con <0.01% del VIR total.

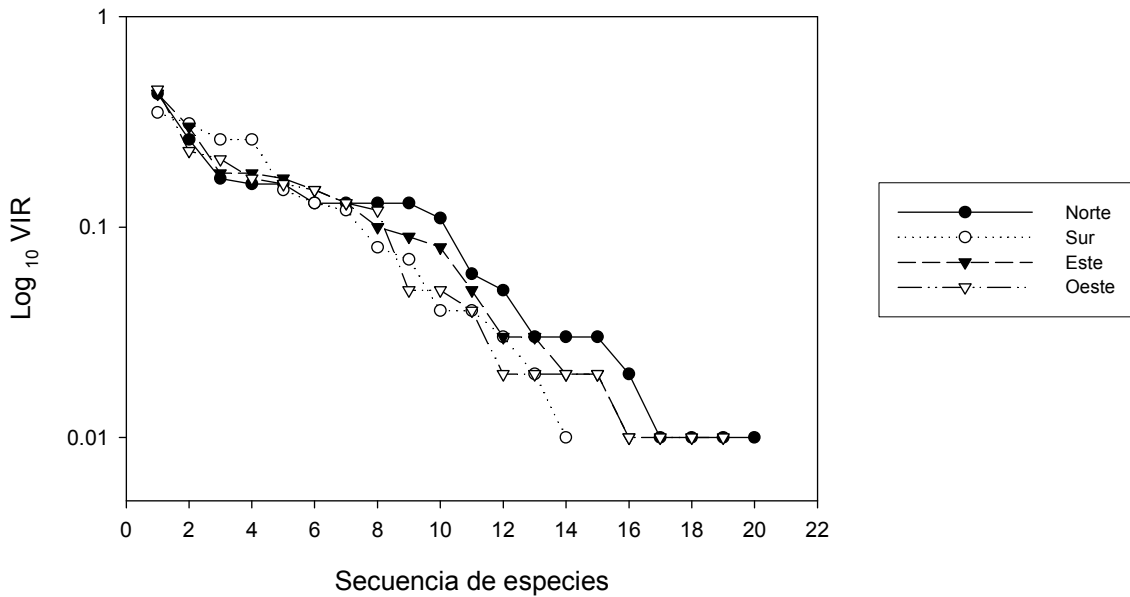


Figura 6.13. Log₁₀ del valor de importancia relativo (VIR) promedio para las especies de árboles y arbustos por ladera en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran los individuos que contribuyen con <0.01% del VIR total.

En el caso de las curvas por ladera (Figura 6.13), el patrón difiere ligeramente entre las orientaciones y se observa un reparto más equitativo de los valores de VIR entre las especies de árboles y arbustos en la ladera norte y menor en la ladera sur.

Las curvas de dominancia-diversidad para las especies de hierbas y trepadoras por cerro (Figura 6.14) muestran un patrón ligeramente diferente entre los cerros, con una marcada dominancia de una sola especie (una gramínea, *P. ciliare*), seguida por un grupo de especies subordinadas que por cerro presentan los mismos valores de VIR. Como en el caso de los árboles y arbustos, el Cerro 1 presenta una mayor riqueza de especies y un reparto más equitativo del VIR de trepadoras y hierbas, y el Cerro 5, la menor. Las curvas para este grupo de especies por ladera (Figura 6.15) también presentan la mayor riqueza y un reparto más equitativo del VIR de las especies en la ladera norte.

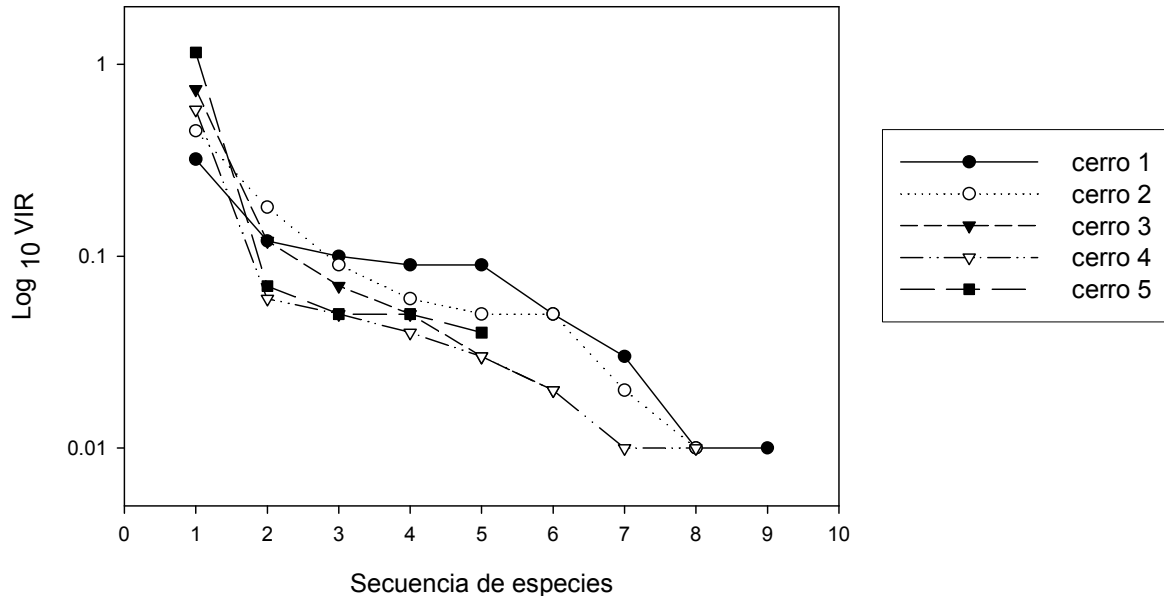


Figura 6.14. Log₁₀ del valor de importancia promedio para las especies de hierbas y enredaderas en los cinco cerros de estudio en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran los individuos que contribuyen con <0.01% del VIR total.

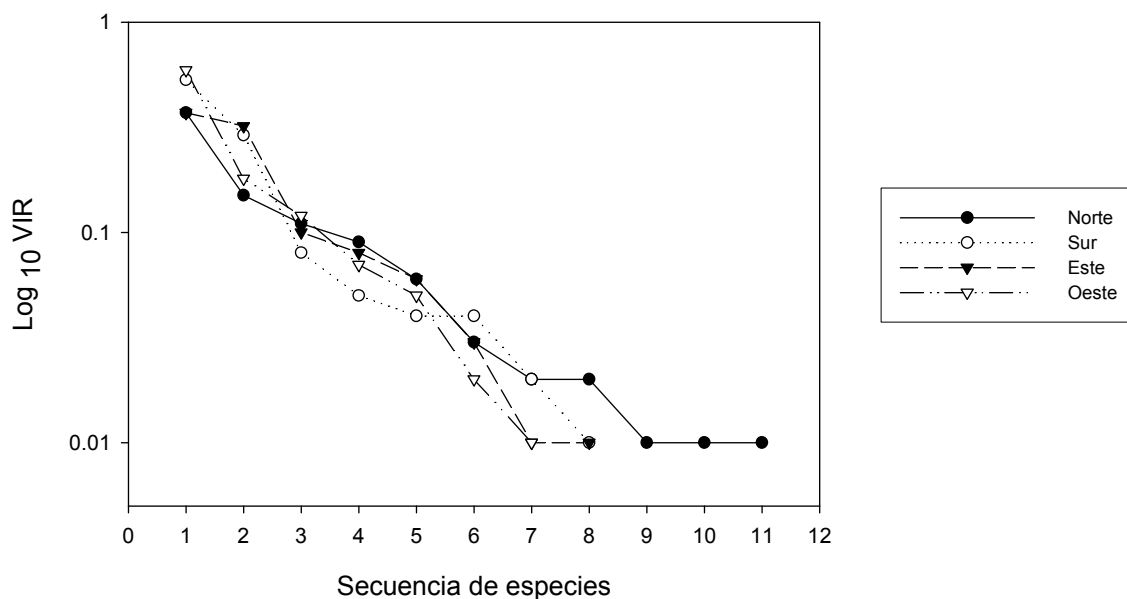


Figura 6.15. Log₁₀ del valor de importancia promedio para las especies de hierbas y enredaderas por ladera en el Rancho La Caridad, Son. No se muestran los individuos que contribuyen con <0.01% del VIR total.

Tomando en cuenta el aporte relativo de especies individuales y, en particular, de aquellas que contribuyen al 50% del VIR por cerro (Figura 6.16), se observa que no en todos los cerros, las especies tienen la misma contribución al VIR total. Por ejemplo, es notable la aportación de la gramínea *P. ciliare* (zacate buffel) en los Cerros 3 y 5 y, aunque también se le encuentra en los demás cerros, su contribución en ellos es, comparativamente, poco importante. La diferencia del VIR de *P. ciliare* entre cerros fue significativa ($F = 55.651$, g.l. = 4,75, $P = <0.001$). Además, es interesante mencionar el caso de *N. schottii*, que en estos mismos cerros (3 y 5) su contribución al VIR total es muy bajo. Por último, *C. sonorae* y *J. cordata*, destacan por su importancia en todos los cerros, excepto en el Cerro 5 que presenta una clara dominancia de zacate buffel.

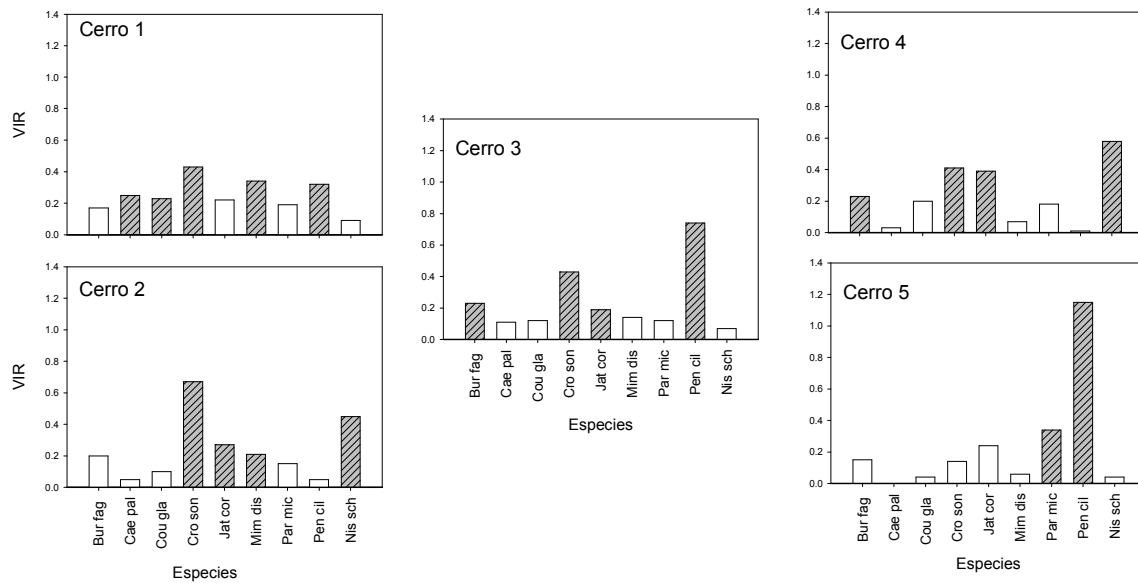


Figura 6.16. Valor de importancia relativo (VIR) promedio por cerro para las especies que aportan el 50% del VIR total en cada sitio (barras achuradas). Las otras especies (barras blancas) se muestran para efecto de comparación entre los cerros. Para el nombre de las especies por abreviatura ver el Cuadro 6.3.

En cuanto a las especies que representan el 50% del VIR por ladera (Figura 6.17) se observa también que con excepción de *C. sonorae* y *P. ciliare*, que juntas aportan el mayor porcentaje del VIR en las cuatro laderas, las otras especies difieren en importancia según la orientación de la ladera. Por ejemplo, mientras que *A. coulteri* es una de las especies que contribuye con el 50% del VIR total en la ladera norte, en las otras orientaciones tiene una contribución menor, particularmente en la ladera sur con un valor muy bajo (0.04), siendo esta diferencia significativa ($F = 4.431$, g.l. = 1,19; $P = 0.044$). Aunque el VIR de *N. schottii* en las laderas sur y este es mayor que el valor en las laderas norte y oeste (Figura 6.17), las diferencias no fueron significativas. Es interesante el caso de *J. cordata*, un árbol

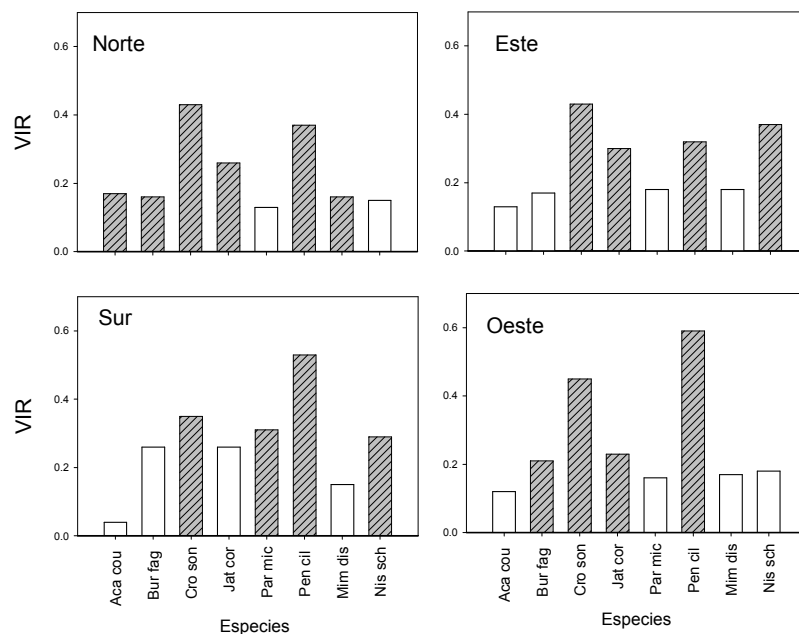


Figura 6.17. Valor de importancia relativo (VIR) promedio por orientación de ladera para las especies que aportan el 50% del VIR total en cada sitio (barras achuradas). Las otras especies (barras blancas) se muestran para efecto de comparación entre laderas. Para el nombre de las especies por abreviatura ver el Cuadro 6.3

distintivo del matorral, que presenta valores de VIR muy semejantes (cerca de 0.3) en las cuatro laderas.

6.2.5 Riqueza. La riqueza florística (S) de los cerros varió de 27 a 42 especies (Cuadro 6.4), y la diferencia de riqueza de especies entre cerros fue altamente significativa ($F = 4.679$, g.l. = 4,35, $P = 0.002$). El Cerro 2 presentó la mayor riqueza y el Cerro 5 la menor. También se encontró que en comparación con todos cerros, la riqueza de las laderas sur y oeste del Cerro 5 fue la menor. En cuanto a las diferencias entre laderas, la riqueza por orientación varió en promedio de 21 a 26 especies, y las diferencias entre las laderas

fueron significativas ($F = 5.748$, g.l. = 3,36, $P = 0.002$). La mayor riqueza promedio se encontró en la ladera norte y la menor en la sur (Cuadro 6.4).

6.2.6 Diversidad. Los índices de diversidad alfa (Simpson y Shannon-Wiener) y de equitatividad por cerro y ladera se presentan en el Cuadro 6.4. Tomando en cuenta el índice de Simpson (D), calculado con base en la frecuencia, área seccional y cobertura de las especies, se encontró que el efecto de cerro fue significativo para las tres variables (Cuadro 6.5), siendo los cerros 1 y 4 los más diversos y el Cerro 5 el de menor diversidad (Cuadro 6.4).

En cuanto a las diferencias entre laderas, el efecto de orientación sólo fue significativo para el índice D calculado con base en la frecuencia y la cobertura (Cuadro 6.5), separando a la ladera norte con la mayor diversidad de la sur con la menor diversidad. Estas diferencias entre cerros y laderas mantienen el mismo patrón considerando el índice de Shannon-Wiener (Cuadros 6.4 y 6.5).

La equitatividad (calculada con base en H') entre los cerros fue significativa sólo para las variables de frecuencia y cobertura de las especies, siendo los valores de equitatividad significativamente menores en el Cerro 5 (Cuadro 6.4 y 6.5). Las diferencias entre laderas en equitatividad no fueron significativas (Cuadro 6.5), ni al establecer la comparación estadística únicamente entre las laderas norte y sur.

Los valores de diversidad beta obtenidos con el índice de similitud de Jaccard por cerro y por ladera se presentan en el Cuadro 6.6. Se observa que el índice tiene un intervalo que va de 0.297 a 0.826, y que la gran mayoría de los valores (85%) se encuentran dentro del intervalo 0.4-0.6, lo cual indica que la homogeneidad entre los sitios (laderas y cerros) es de media a alta (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.4. Índices de diversidad alfa por ladera y cerro calculados con base en la frecuencia, área y cobertura de las especies en el Rancho La Caridad, Son. S = riqueza, D = Índice de Simpson, H' = Índice de Shannon-Wiener, Equit = Equitatividad (con base en H').

Cerro	Ladera	S	Índices de Diversidad y Equitatividad								
			Frecuencia			Área			Cobertura		
			D	H'	Equit	D	H'	Equit	D	H'	Equit
1	Total	40	0.85	2.26	0.61	0.82	2.00	0.54	0.84	2.09	0.57
	norte	32	0.88	2.45	0.71	0.85	2.13	0.61	0.85	2.20	0.64
	sur	21	0.88	2.34	0.77	0.81	1.95	0.64	0.83	2.04	0.67
	este	21	0.87	2.30	0.76	0.84	2.05	0.67	0.86	2.19	0.72
	oeste	22	0.77	1.93	0.62	0.80	1.87	0.61	0.81	1.94	0.63
2	Total	42	0.83	2.12	0.57	0.82	1.97	0.53	0.82	2.00	0.54
	norte	26	0.89	2.48	0.76	0.85	2.14	0.66	0.87	2.29	0.70
	sur	21	0.80	1.99	0.65	0.84	2.04	0.67	0.82	2.01	0.66
	este	25	0.81	2.01	0.63	0.80	1.84	0.57	0.81	1.92	0.60
	oeste	22	0.83	2.00	0.65	0.81	1.86	0.60	0.77	1.78	0.57
3	Total	34	0.75	1.87	0.53	0.82	1.97	0.56	0.81	2.00	0.57
	norte	18	0.74	1.67	0.58	0.74	1.62	0.56	0.79	1.81	0.63
	sur	21	0.72	1.81	0.59	0.85	2.07	0.68	0.81	1.99	0.65
	este	24	0.76	2.06	0.65	0.85	2.15	0.68	0.83	2.13	0.67
	oeste	25	0.77	1.95	0.61	0.84	2.02	0.63	0.83	2.05	0.64
4	Total	40	0.85	2.26	0.61	0.84	2.07	0.56	0.86	2.20	0.60
	norte	31	0.89	2.53	0.74	0.84	2.15	0.63	0.88	2.35	0.68
	sur	23	0.83	2.21	0.70	0.82	2.00	0.64	0.85	2.14	0.68
	este	23	0.82	2.07	0.66	0.83	2.02	0.64	0.85	2.12	0.68
	oeste	22	0.85	2.23	0.72	0.86	2.13	0.69	0.86	2.20	0.71
5	Total	27	0.67	1.65	0.50	0.75	1.70	0.52	0.70	1.61	0.49
	norte	23	0.72	1.85	0.59	0.79	1.92	0.61	0.76	1.83	0.59
	sur	19	0.54	1.23	0.42	0.66	1.40	0.48	0.58	1.21	0.41
	este	21	0.82	2.11	0.69	0.78	1.84	0.61	0.79	1.92	0.63
	oeste	18	0.60	1.42	0.49	0.76	1.64	0.57	0.65	1.45	0.50

Cuadro 6.5. ANDEVA de una vía para los índices de diversidad de Simpson (D), de Shannon-Weiner (H') y Equitatividad con base en la frecuencia, área y cobertura de las especies en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. g.l. por cerro = 4, g.l. por ladera = 3 y g.l. por cerro × ladera.= 12,79.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
S	4.679	0.002	5.748	0.002	1.755	0.077
Frecuencia						
D	13.447	< 0.001	3.491	0.021	2.128	0.028
H'	10.516	< 0.001	3.944	0.012	2.179	0.024
Equit.	13.949	< 0.001	1.293	0.285	1.988	0.041
Área						
D	5.218	0.001	0.435	0.729	1.782	0.072
H'	5.654	0.001	0.921	0.436	2.429	0.012
Equit.	2.001	0.106	1.489	0.227	1.783	0.072
Cobertura						
D	14.617	< 0.001	3.577	0.019	1.892	0.054
H'	10.695	< 0.001	3.425	0.023	1.801	0.068
Equit.	9.717	< 0.001	0.550	0.650	1.231	0.284

Cuadro 6.6. Índice de similitud de Jaccard por ladera y por cerro en el Rancho La Caridad, Son. En negritas se presentan los valores extremos.

CERRO	Ladera	1				2				3				4				5				
		norte	sur	este	oeste	norte	sur	este	oeste	norte	sur	este	oeste	norte	sur	este	oeste	norte	sur	este	oeste	
1	norte																					
	sur	0.432																				
	este	0.514	0.680																			
	oeste	0.500	0.593	0.654																		
2	norte	0.450	0.621	0.621	0.655																	
	sur	0.378	0.667	0.600	0.519	0.500																
	este	0.462	0.438	0.533	0.424	0.500	0.467															
	oeste	0.350	0.483	0.593	0.419	0.412	0.577	0.469														
3	norte	0.400	0.520	0.462	0.444	0.387	0.440	0.355	0.393													
	sur	0.432	0.826	0.615	0.593	0.516	0.667	0.438	0.536	0.520												
	este	0.514	0.667	0.667	0.704	0.613	0.536	0.441	0.438	0.640	0.667											
	oeste	0.425	0.533	0.484	0.424	0.457	0.467	0.389	0.424	0.556	0.484	0.531										
4	norte	0.370	0.444	0.444	0.325	0.425	0.389	0.400	0.472	0.297	0.444	0.410	0.366									
	sur	0.410	0.571	0.571	0.452	0.531	0.500	0.412	0.552	0.429	0.571	0.516	0.455	0.543								
	este	0.447	0.630	0.571	0.500	0.531	0.556	0.455	0.406	0.429	0.571	0.567	0.500	0.459	0.586							
	oeste	0.385	0.593	0.593	0.467	0.548	0.519	0.424	0.571	0.444	0.536	0.484	0.424	0.514	0.800	0.552						
5	norte	0.375	0.571	0.419	0.500	0.441	0.448	0.371	0.406	0.481	0.571	0.567	0.455	0.317	0.353	0.484	0.406					
	sur	0.342	0.667	0.538	0.519	0.452	0.583	0.419	0.464	0.500	0.739	0.593	0.419	0.316	0.400	0.500	0.464	0.680				
	este	0.432	0.615	0.556	0.593	0.516	0.538	0.484	0.483	0.583	0.680	0.731	0.484	0.368	0.467	0.517	0.483	0.692	0.667			
	oeste	0.351	0.625	0.560	0.538	0.517	0.542	0.433	0.429	0.522	0.625	0.615	0.387	0.324	0.414	0.464	0.538	0.640	0.762	0.696		

Asimismo, se observa que sólo el 10% de los valores fueron mayores a 0.64, representando los casos de mayor similitud. De éstos, destaca el Cerro 5 en el que todos los valores de comparación por pares entre sus cuatro laderas fueron mayores o igual a 0.64. El índice de Jaccard más bajo (0.297) se presentó entre las laderas norte de los cerros 3 y 4 y el más alto (0.826) entre las laderas sur de los cerros 1 y 3, aunque en casi todas las comparaciones de la ladera sur entre cerros, los valores de similitud fueron altos (>0.571). Por último, se observa que los cerros de menor similitud son el 4 y el 5, ya que los valores de diversidad beta entre sus laderas fue predominantemente bajo (entre 0.316 y 0.5, Cuadro 6.6).

En el Cuadro 6.7 se muestran los valores del índice de Jaccard por ladera en promedio de los cinco cerros de estudio. Se observa que la mayor similitud se presenta entre las laderas sur y oeste, y entre las laderas norte y este, presentando en ambos casos valores mayores de 0.60 para este índice.

Ladera	norte	sur	este	oeste
norte				
sur	0.508			
este	0.617	0.542		
oeste	0.590	0.644	0.519	

Cuadro 6.7. Índice de similitud de Jaccard por ladera del sistema de estudio en el Rancho La Caridad, Son

6.3 Efecto de ladera en *Stenocereus thurberi*

6.3.1 Número, tamaño y forma de los individuos. Se encontró una alta variación espacial en el número total de individuos de pitayo en los sitios de estudio (Cuadro 6.8). Solamente en el caso de la ladera norte no se registró la presencia de *S. thurberi* en dos de los cerros (Cerro 1 y 3). El valor más alto fue de 29 individuos presentes en la ladera sur del Cerro 2. En promedio el número total de individuos de pitayo entre cerros fue de 3.8 a 16.8 y entre laderas, de 4 a 14.2 individuos en 180 m² (2 parcelas de 30 × 30 m). Como se aprecia en el Cuadro 6.8, el valor del Coeficiente de Variación (CV) de las laderas sur es más pequeño, lo cual indica una distribución más uniforme. En cambio, las laderas norte y este tienen un valor de alrededor de 1.5. La ladera oeste al parecer presenta una distribución entre uniforme y aleatoria. Al considerar los valores por cerro, sin importar las laderas, en el cerro 4 los pitayos se distribuyen uniformemente en cualquier ladera, en los cerros 1 y 5 la distribución es aleatoria y en los cerros 2 y 3 los pitayos tienden por una distribución entre uniforme y aleatoria (Cuadro 6.8).

Cuadro 6.8. Densidad de *S. thurberi* (no. individuos / 1800 m²) y su coeficiente de variación (CV) en cada cerro y ladera en el sitio de estudio en el Rancho la Caridad, Son. n = 8 parcelas por cerro (2 parcelas por ladera). En negritas se muestra el número total de pitayos encontrados en el censo.

Cerro	Norte	Sur	Este	Oeste	Total	Promedio	CV
1	0	12	4	2	18	4.5	1.17
2	1	29	16	21	67	16.8	0.70
3	0	13	9	16	38	9.5	0.73
4	4	4	2	5	15	3.8	0.34
5	15	13	0	2	30	7.5	1.01
Total	20	71	31	46	168		
Promedio	4.00	14.20	6.20	9.20			
CV	1.59	0.49	1.47	0.07			

La altura promedio de los individuos de pitayo varió de 2.8 a 3.7 m entre cerros y de 3.1 a 3.7 m entre laderas. Las diferencias entre cerros y laderas no fueron significativas para esta variable (Figura 6.18, Cuadro 6.9). El volumen varió entre cerros de 7 a 9 m³ y entre laderas de 5 a 10 m³ (Figura 6.18, Cuadro 6.9). Los intervalos de variación para la cobertura fueron de 2 a 3 m² en cerro y ladera. Sin embargo, para estas dos variables las diferencias entre sitios tampoco fueron significativas (Figura 6.18, Cuadro 6.9).

Cuadro 6.9. Resultados de las pruebas de ANDEVA para el número, tamaño y la forma de los individuos de *S. thurberi* en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. g.l. por cerro = 4, g.l. por ladera= 3 y g.l. por cerro × ladera= 9. n total = 168.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
Altura	2.261	0.497	4.937	0.111	3.925	0.114
Volumen	0.270	0.897	2.183	0.092	2.305	0.019
Cobertura	0.120	0.975	2.336	0.076	1.586	0.124
Num. ind.	2.458	0.048	1.870	0.137	1.225	0.284

Tomando en cuenta únicamente el número de individuos ubicados en el cuartil superior (Cuadro 6.10), los valores promedio de altura, volumen y cobertura de los pitayos para los cinco cerros y las cuatro laderas se muestra en la Figura 6.19. Para este conjunto de datos, que representa a los individuos de la muestra de mayor talla, las diferencias no fueron significativas entre cerros, pero sí entre laderas (Cuadro 6.11).

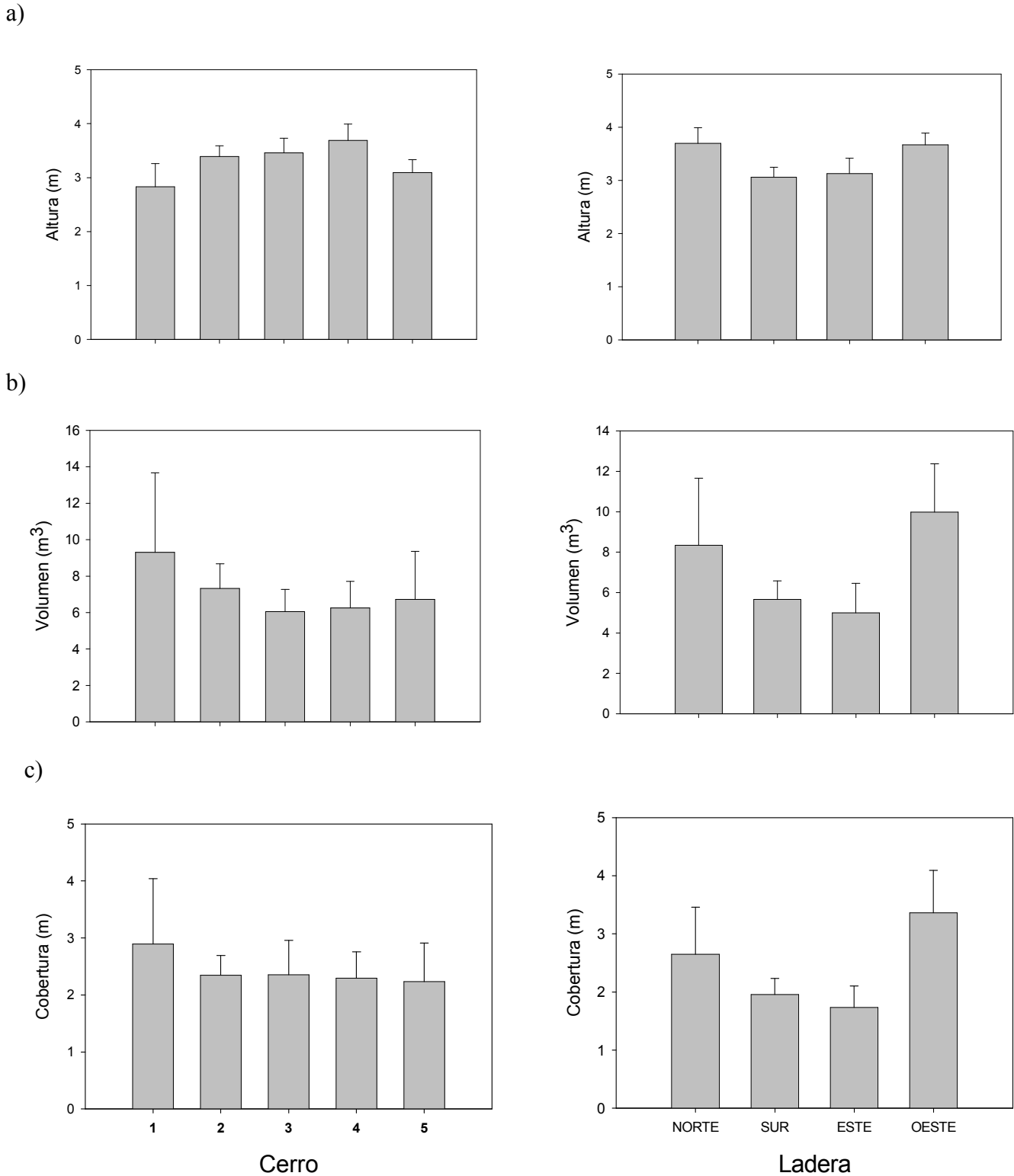


Figura 6.18. Valores promedio de las variables de forma y tamaño de los individuos de *S. thurberi* en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son. a) altura, b) volumen y c) cobertura. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. La n por cerro y por ladera se muestra en el Cuadro 6.8.

Cuadro 6.10. Número de individuos de *S. thurberi* presentes por cerro y ladera del cuartil superior en los sitios de estudio en el Rancho la Caridad, Son. n = 8 parcelas por cerro (2 parcelas por ladera).

Cerro	Norte	Sur	Este	Oeste	Total
1	0	4	1	1	6
2	1	7	4	5	17
3	0	3	2	4	9
4	1	1	1	2	5
5	3	3	0	1	7
Total	5	18	8	13	44

Cuadro 6.11. Resultados de las pruebas de ANDEVA para el tamaño y la forma de los individuos de *S. thurberi* del cuartil superior en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. g.l. por cerro = 4, g.l. por ladera= 3 y g.l. por cerro × ladera= 9. n total = 44.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
Altura	1.866	0.145	4.151	0.015	5.518	< 0.001
Volumen	0.925	0.464	3.232	0.039	2.048	0.073
Cobertura	0.521	0.721	2.096	0.050	1.076	0.411

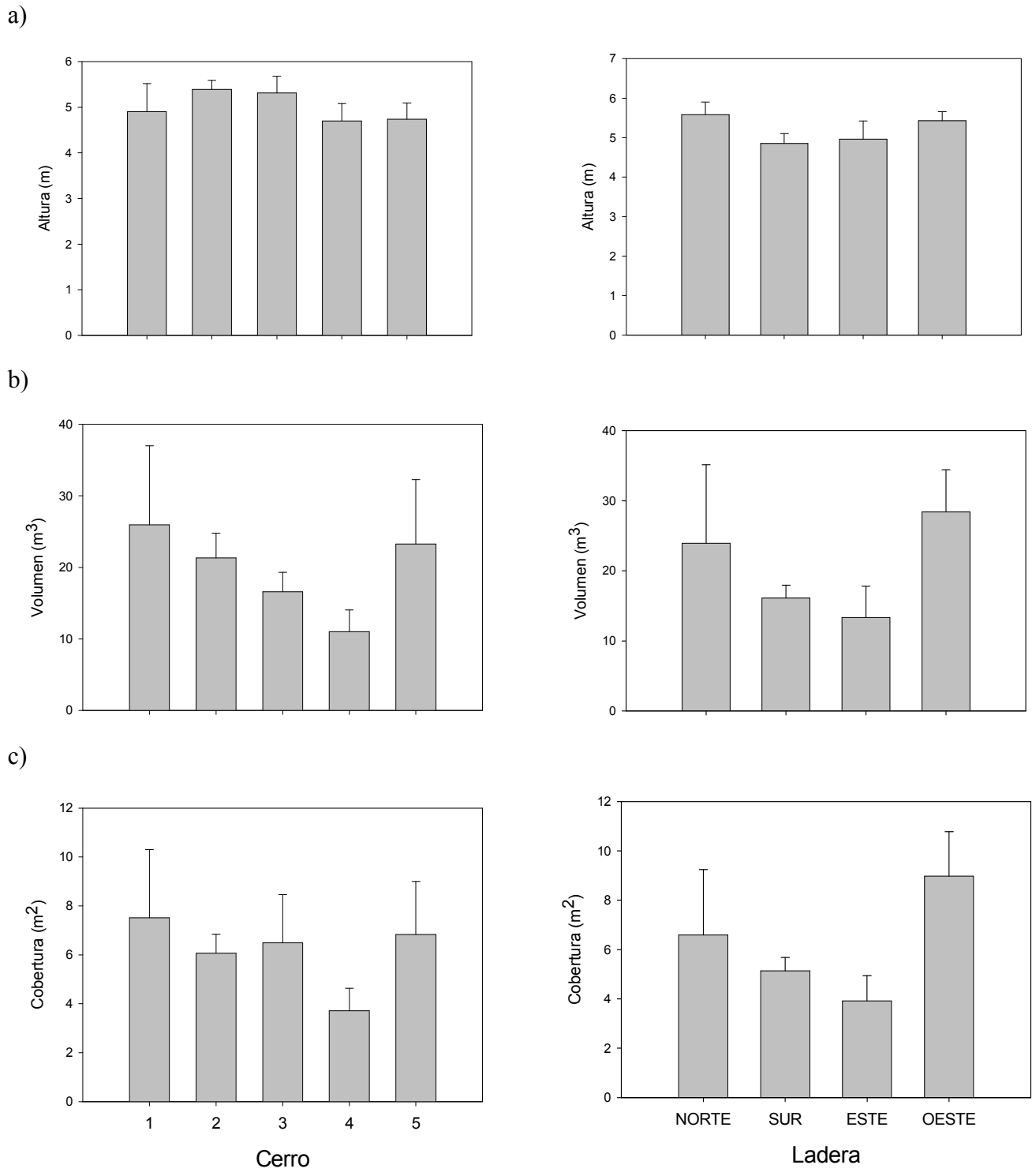


Figura 6.19. Valores promedio de las variables de forma y tamaño de los individuos de *S. thurberi* del cuartil superior en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son. a) altura, b) volumen y c) cobertura. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. La n por cerro y por ladera se muestra en el Cuadro 6.8.

6.3.2 Tamaño y forma de los brazos de los individuos. Los valores promedio de las variables de tamaño y forma de los brazos de los individuos de *S. thurberi* en cada uno de los cerros y orientaciones de ladera se muestran en la Figura 6.20. Aunque la mayor variación entre cerros se observó para el área y volumen de los brazos, las diferencias entre cerros no fueron significativas ni para éstas, ni para el resto de las variables. Las diferencias entre laderas para todas las variables tampoco fueron significativas (Cuadro 6.12).

6.3.3 Medidas de abundancia y dominancia por hectárea. a) De los individuos - En cuanto a las medidas de abundancia y dominancia por unidad de área, las variables de altura, volumen y cobertura promedio se muestran en la Figura 6.21. No hubo diferencias significativas ni por cerro ni por ladera en volumen y cobertura, aunque la altura de los individuos es significativamente diferente entre laderas (Cuadro 6.13). En cambio, la densidad de pitayos fue la única variable que presentó diferencias significativas tanto entre cerros, como entre laderas (Figura 6.21, Cuadro 6.13). La densidad promedio entre cerros fue significativamente mayor en el Cerro 2 (93.1 ind. ha⁻¹).

b) De los brazos - Los valores por cerro y por ladera del número de brazos promedio por hectárea, su volumen y área se presentan en la Figura 6.22. En este caso, las diferencias entre cerros fueron significativas (Cuadro 6.14) separando al Cerro 2 que presentó los valores más altos para las tres variables. Las diferencias entre laderas para estas mismas variables no fueron significativas (Cuadro 6.14).

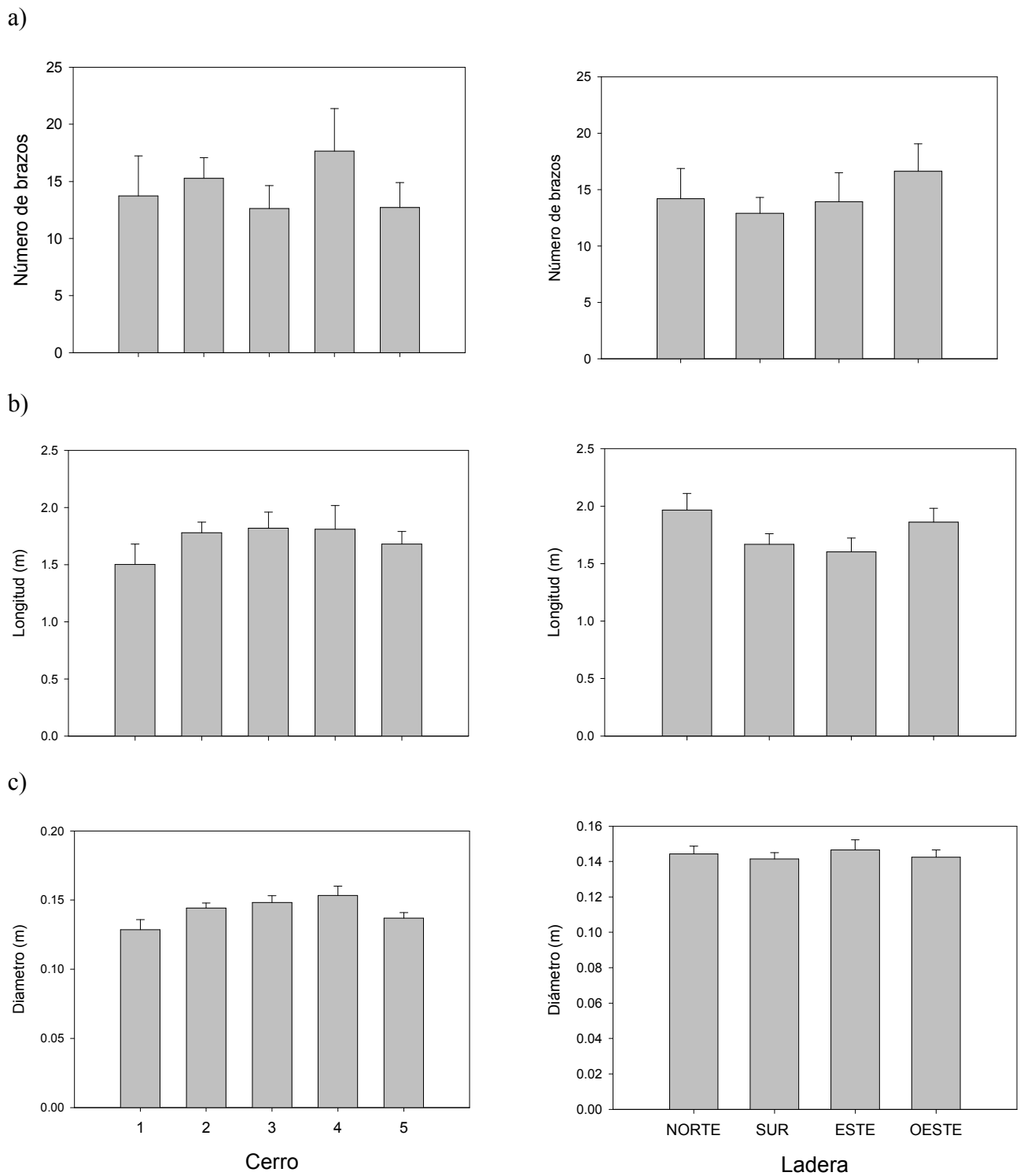
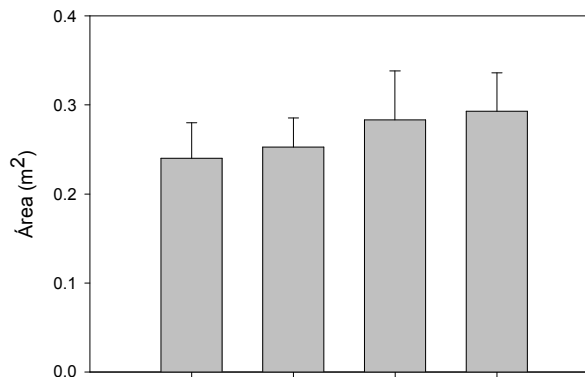
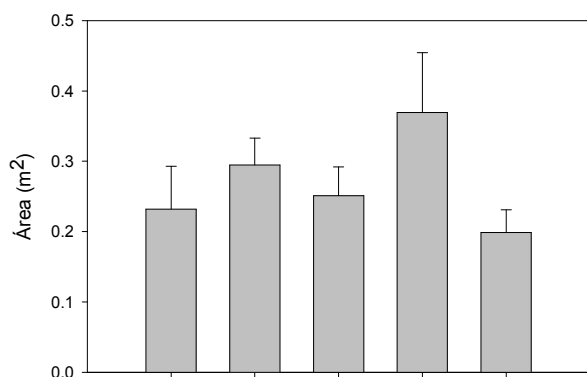
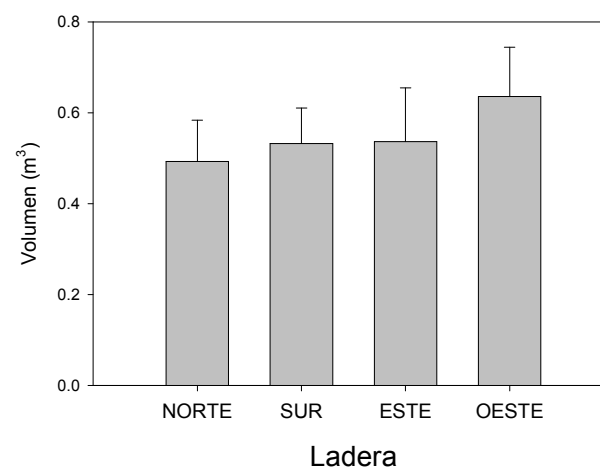
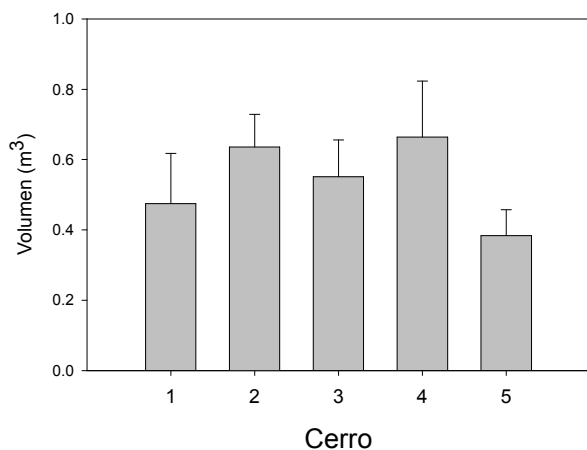


Figura 6.20. Valores promedio de las variables de forma y tamaño de los brazos de los individuos de *S. thurberi* en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son. a) número de brazos, b) longitud, c) diámetro de 5 brazos, d) suma del área de la sección transversal de todos los brazos y e) suma del volumen de todos los brazos. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. La n por cerro y por ladera se muestra en el Cuadro 6.8

d)



e)



..... continuación Figura 6.20. Valores promedio de las variables de forma y tamaño de los brazos de los individuos de *S. thurberi* en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son.

Cuadro 6.12. Resultados de las pruebas de ANDEVA para el tamaño y la forma de los brazos de *S. thurberi* en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. Vol. Total = Suma del volumen total y Num. bra. = Suma del número de brazos. g.l. por cerro = 4, g.l. por ladera= 3 y g.l. por cerro × ladera= 9. n total = 168.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
Longitud	0.649	0.628	1.936	0.127	1.042	0.410
Diámetro	0.583	0.073	0.433	0.730	2.185	0.810
Área total	1.228	0.301	0.071	0.976	1.627	0.112
Vol. total	0.924	0.452	0.202	0.895	1.334	0.224
Num. bra.	0.565	0.688	0.661	0.577	2.064	0.036

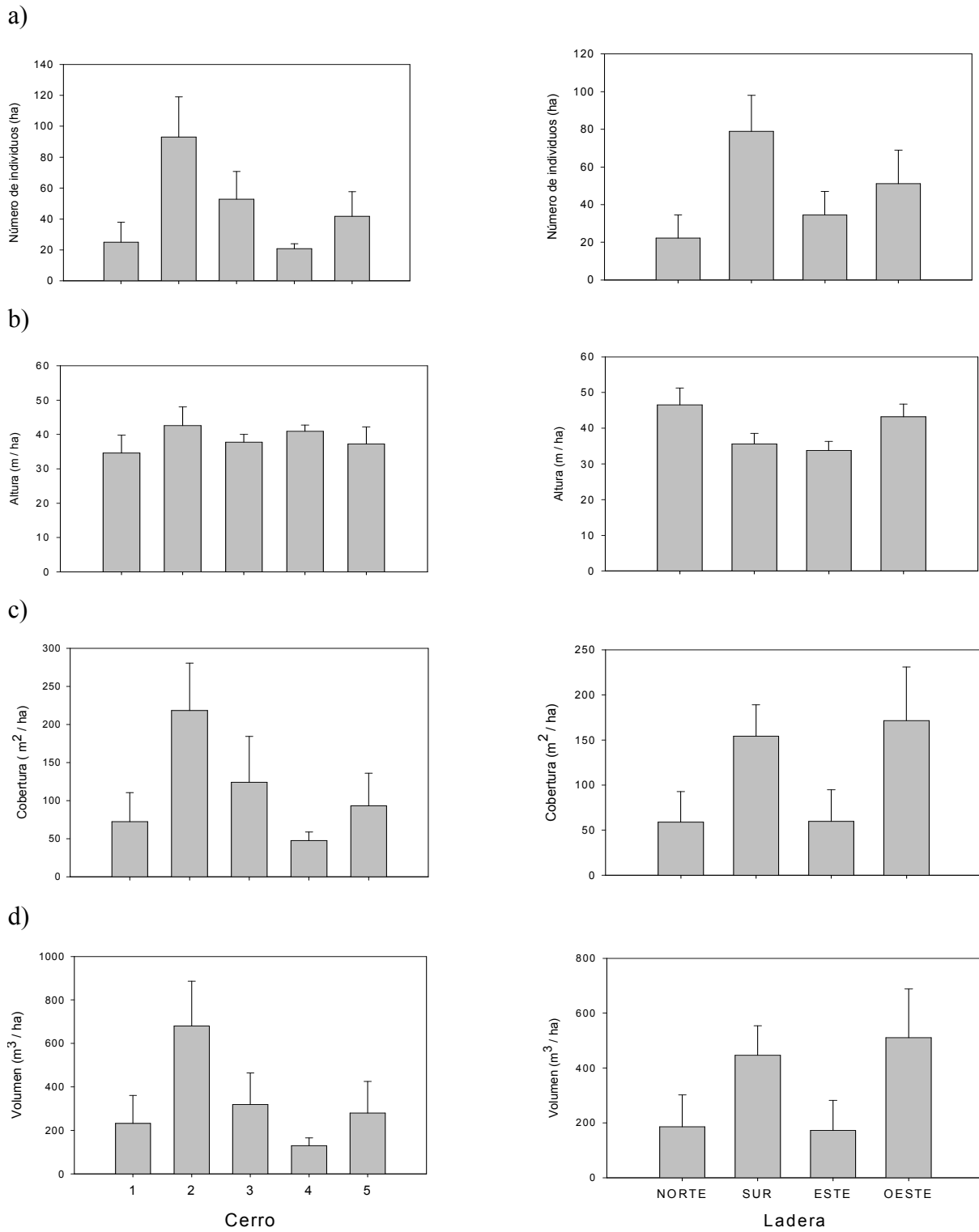


Figura 6.21. Medidas de abundancia y dominancia promedio por hectárea de los individuos de *S. thurberi* en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son. a) densidad, b) altura, c) cobertura y d) volumen. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. La n por cerro y por ladera se muestra en el Cuadro 6.8.

Cuadro 6.13. Resultados de las pruebas de ANDEVA para el tamaño y la forma de los individuos de *S. thurberi* por hectárea en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. g.l. por cerro = 4, g.l. por ladera= 3 y g.l. por cerro × ladera= 9. n total = 168.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
Densidad	3.453	0.019	3.100	0.040	1.856	0.107
Altura	0.737	0.581	3.295	0.050	2.301	0.074
Volumen	2.575	0.069	2.257	0.113	1.277	0.304
Cobertura	2.405	0.084	2.498	0.089	1.203	0.345

Cuadro 6.14. Resultados de las pruebas de ANDEVA para número, tamaño y forma de los brazos de *S. thurberi* por hectárea en los sitios de estudio en el Rancho La Caridad, Son. Vol. Total = Suma del volumen total y Num. bra. = Suma del número de brazos. g.l. por Cerro = 4, g.l. por Ladera= 3 y g.l. por cerro × ladera= 9. n total = 168.

	Cerro		Ladera		Cerro X Ladera	
	F	P	F	P	F	P
Vol. Total	4.153	0.013	2.580	0.082	1.043	0.451
Área total	3.990	0.015	2.580	0.082	1.155	0.375
Num. bra.	3.264	0.024	2.186	0.109	1.418	0.237

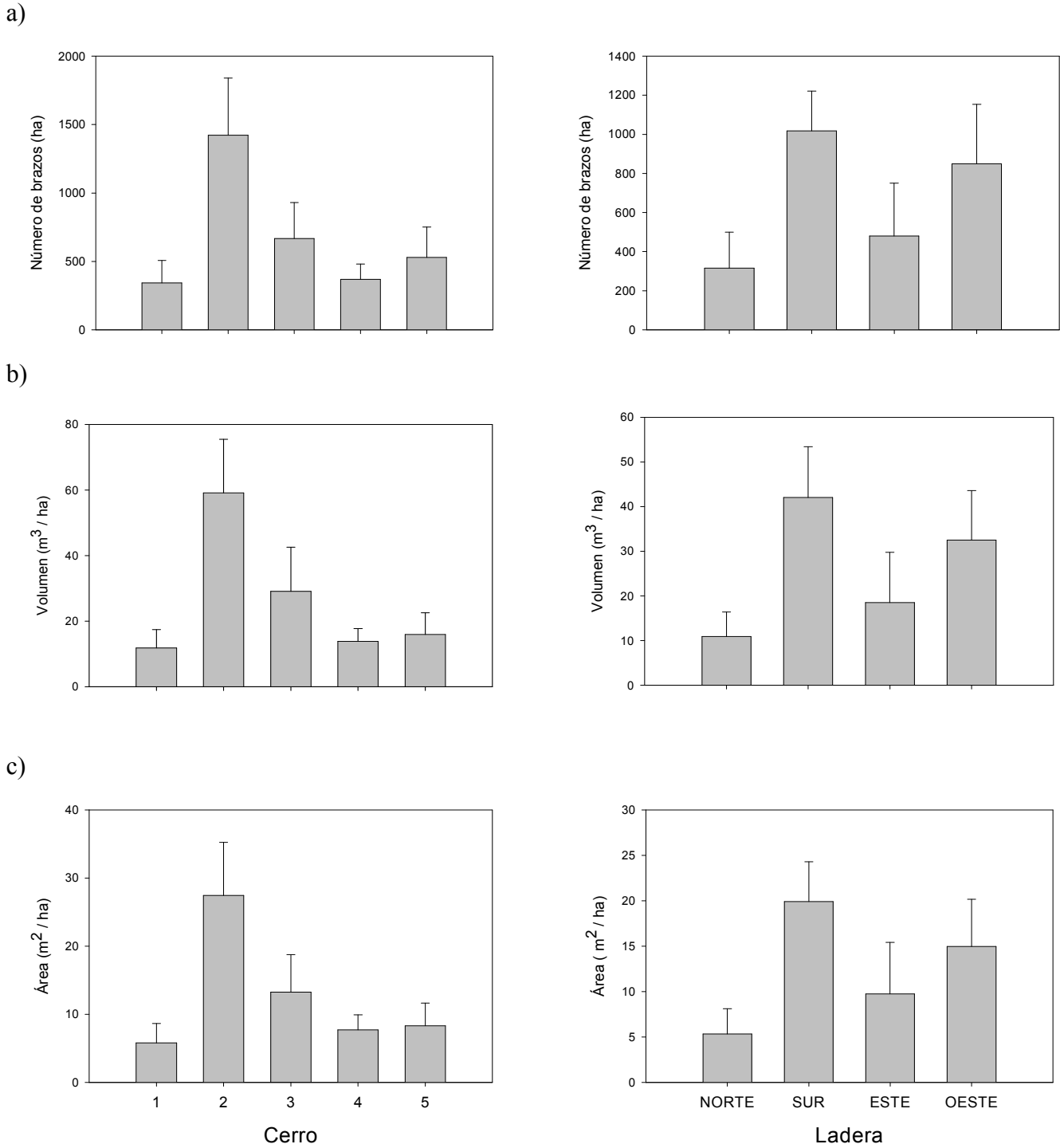


Figura 6.22. Medidas de abundancia y dominancia promedio por hectárea de los brazos de los individuos *S. thurberi* en los cinco cerros y en las cuatro orientaciones de ladera en el Rancho La Caridad, Son. a) número de brazos, b) volumen y c) área. Las líneas sobre las barras indican un error estándar. La n por cerro y por ladera se muestra en el Cuadro 6.8.

6.3.4 Correlación entre las variables morfométricas y de abundancia. Las correlaciones de Pearson entre pares de variables de tamaño y forma de los individuos y de los brazos de los pitayos por ladera se muestran en la Figura 6.23. Se observa que para la mayoría de los casos las correlaciones fueron positivas. Sin embargo, las correlaciones entre la altura promedio y altura máxima de los individuos no fueron significativas y en algunos casos presentaron valores negativos, sobre todo en las laderas norte y oeste. Estos valores negativos, indica que entre más altos sean los individuos, menor será la cantidad de brazos, la cobertura, el área y el volumen que tengan.

Por otra parte, las demás correlaciones presentan un alto grado de significancia. Aunque en la correlación del volumen y número de individuos, la ladera oeste no es muy representativa. En cambio, en las laderas oeste de la cobertura por individuo sus valores disminuyen ligeramente. Por último, el área de los brazos no presenta una correlación significativa con el número de individuos por parcela en la ladera sur.

Longitud promedio de los brazos							
R_n = 0.946 R_s = 0.681 R _e = 0.419 R_o = 0.863	Altura por individuo						
R _n = -0.558 R_s = 0.671 R _e = 0.336 R _o = -0.228	R _n = -0.448 R _s = 0.182 R _e = 0.353 R _o = -0.051	Número de brazos					
R _n = -0.413 R_s = 0.728 R _e = 0.354 R _o = 0.155	R _n = -0.374 R _s = 0.173 R _e = 0.403 R _o = 0.358	R_n = 0.963 R_s = 0.962 R_e = 0.996 R_o = 0.763	Volumen por individuo				
R _n = -0.506 R_s = 0.613 R _e = 0.334 R _o = -0.003	R _n = -0.456 R _s = 0.017 R _e = 0.341 R _o = 0.165	R_n = 0.980 R_s = 0.952 R_e = 1.000 R_o = 0.824	R_n = 0.994 R_s = 0.960 R_e = 0.995 R_o = 0.921	Cobertura por individuo			
R _n = -0.560 R_s = 0.723 R _e = 0.332 R _o = -0.218	R _n = -0.437 R _s = 0.288 R _e = 0.367 R _o = -0.012	R_n = 0.984 R_s = 0.978 R_e = 0.999 R_o = 0.980	R_n = 0.936 R_s = 0.966 R_e = 0.996 R_o = 0.824	R_n = 0.953 R_s = 0.905 R_e = 0.994 R_o = 0.885	Área de los brazos		
R _n = -0.424 R_s = 0.746 R _e = 0.367 R _o = -0.128	R _n = -0.318 R _s = 0.268 R _e = 0.399 R _o = 0.087	R_n = 0.948 R_s = 0.959 R_e = 0.998 R_o = 0.952	R_n = 0.935 R_s = 0.971 R_e = 0.998 R_o = 0.881	R_n = 0.933 R_s = 0.893 R_e = 0.997 R_o = 0.885	R_n = 0.981 R_s = 0.988 R_e = 0.998 R_o = 0.989	Suma del volumen de los brazos	
R _n = -0.534 R _s = 0.430 R _e = 0.255 R _o = -0.342	R _n = -0.453 R _s = -0.228 R _e = 0.152 R _o = -0.248	R_n = 0.995 R_s = 0.873 R_e = 0.952 R_o = 0.928	R_n = 0.983 R_s = 0.845 R_e = 0.993 R_o = 0.610	R_n = 0.995 R_s = 0.938 R_e = 0.936 R_o = 0.802	R_n = 0.971 R_s = 0.789 R_e = 0.943 R_o = 0.917	R_n = 0.942 R_s = 0.783 R_e = 0.937 R_o = 0.851	Número de individuos por parcela

Figura 6.23. Matriz con los coeficientes de correlación de Pearson (R) para las variables morfométricas de *S. thurberi* por hectárea, en el Rancho La Caridad, Son. + = ladera norte, O = ladera sur, Δ = ladera este y □ = ladera oeste. La diagonal muestra las variables analizadas; las cifras por debajo de la diagonal los valores de R para cada ladera (R_n = ladera norte, R_s = ladera sur, R_e = ladera este, R_o = ladera oeste) y por encima de la diagonal se muestran las curvas de regresión para cada par de variables. Los valores en negritas muestran los resultados altamente significativos para la prueba.

VII. DISCUSIÓN

7.1 Características edáficas y de pendiente

Distintos trabajos han mostrado que la distribución espacial de las especies y comunidades vegetales en los ecosistemas desérticos en una pequeña área geográfica, están relacionadas con la heterogeneidad en la topografía y sus características edáficas (Shreve, 1964; Parker, 1988; McAuliffe, 1991,1994; Basnet, 1992; Parker, 1995; Valiente-Banuet *et al.*, 1995; Búrquez *et al.*, 1999; Al Wadie, 2002; Badano *et al.*, 2005; Duarte *et al.*, 2005). Esta heterogeneidad local, aunada a las condiciones micro-climáticas y el grado de inclinación de las pendientes, podrían explicar la variación de las características de la vegetación del área de estudio. Sin embargo, de las características edáficas analizadas en este trabajo, sólo la materia orgánica (MO) y el punto de marchitamiento permanente (PMP) presentaron en las laderas norte valores más altos, pero las diferencias entre las laderas no fueron tan significativas como para que la variación espacial de la vegetación fuese explicada sólo por estas características edáficas. Ya que los análisis de suelo fueron puntuales, y para algunas de las variables sólo se obtuvo una caracterización cualitativa, se recomienda realizar un estudio cuantitativo más detallado de la edafología en la zona del Rancho La Caridad, que incorpore la variabilidad temporal, particularmente para las estimaciones de humedad del suelo.

En cuanto a la inclinación de la pendiente en nuestra zona de estudio, la diferencia más notable la presentaron las laderas sur con el grado de inclinación promedio mayor a 30°. Esta inclinación diferencial afecta los procesos erosivos de las laderas y de retención de humedad, y se espera que el aumento en la inclinación de la pendiente propicie una mayor pérdida de materia orgánica y nutrientes por erosión, depositando el material en las

partes bajas de la ladera (Nagamatsu *et al.*, 2002). Este movimiento de materiales se explica por el efecto directo de la inestabilidad de la ladera debido a la inclinación, así como por los cambios extremos de temperatura, tanto diurnos como estacionales, que producen la expansión y contracción térmica del agua contenida en las rocas, agrietándolas y fracturándolas, por lo que se intemperizan rápidamente y sufren una mayor erosión, quedando expuestas al declive (McAuliffe, 1994; Parker, 1995; Challenger, 1998; Migón *et al.*, 2005). Con respecto a la relación entre la inclinación de la pendiente y la humedad del suelo, Duarte *et al.* (2005) mencionan que en las pendientes más inclinadas de la isla Santiago en el archipiélago de Cabo Verde, prevalecen los suelos rocosos, y por lo tanto están asociadas con una menor capacidad de retención de agua en el suelo, mientras que Bouchet y García-Fayos (2004) reportan que encuentran una menor cobertura de matorral mediterráneo en las laderas con un ángulo $>45^\circ$, que aquellas que presentan un ángulo $<45^\circ$ en las laderas perturbadas que bordean la carretera en La Plana de Utiel-Requena en Valencia, España. Aunque el gradiente de elevación y ángulo de pendiente en nuestro sitio de estudio no es muy grande (de 300 a 650 m) se observó una menor retención de humedad y cobertura vegetal en las laderas con mayor inclinación, que en el área de estudio son las laderas con orientación sur.

7.2 Composición y estructura de la vegetación

El tipo de vegetación encontrada en la zona de estudio, y sus características florístico-estructurales corresponden con lo que se ha reportado para el matorral de piedemonte en el Desierto Sonorense (Shreve, 1951; Brown, 1982; Búrquez *et al.*, 1999; Dimmitt, 2000). El listado florístico obtenido del censo en las parcelas, incluye 67 especies. Este resultado cae dentro del intervalo de valores de riqueza para un grupo de estudios de vegetación de

pedemonte, que reportan 72 especies al sur de Hermosillo, Sonora (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999), 63 en el Parque Nacional Organ Pipe, Arizona (Parker, 1988), 26 en La Colorada, Sonora (Gómez, 2001) y 21 en Punta Arena, Baja California Sur (Valiente-Banuet *et al.*, 1995). Esto nos indica que la zona de estudio, contiene la mayoría de las especies y familias reportadas para este tipo de vegetación a una escala espacial mayor. En comparación con otro tipo de matorrales xerófilos en México, Del Castillo (2000) encontró 81 especies en la Sierra Fría, Zacatecas, en un matorral crasicaule de piedemonte dominado por *Opuntia*, conocido comúnmente como nopalera. Mientras que Huerta *et al.* (2004) reporta 93 especies en El Corredor Huizache, SLP, en un matorral xerófilo dominado por *Yucca*.

Con respecto a la frecuencia (número de toques) por especie, la familia Poaceae presentó el valor más alto, superando a Fabaceae, que es la familia reportada como de mayor abundancia en este tipo de vegetación (Del Castillo, 2000; Dimmitt, 2000; Ezcurra *et al.*, 2002; Garcillán, 2003). La alta frecuencia de gramíneas se debe principalmente a la presencia de la especie exótica *Pennisetum ciliare* (zacate buffel) que es muy abundante y que en esta región ha desplazado extensas áreas a las especies nativas del Desierto Sonorense (Búrquez *et al.*, 2002; Franklin *et al.*, 2006). Además, es importante señalar que la zona de estudio es parte de un rancho de producción ganadera, en el que se sembró zacate buffel como forraje, siendo éste el inicio de la invasión natural. Aunque los cerros de estudio no han sido desmontados y para el ganado es difícil el acceso a las pendientes, el buffel por su carácter de invasora se ha extendido hacia áreas abiertas del desierto, aún con bajo nivel de disturbio (Búrquez, 2002; Búrquez *et al.*, 2002).

No es sorprendente que debido a las características fisonómicas de la vegetación de piedemonte, los arbustos fueron la forma de crecimiento predominante en la zona de

estudio, seguidos por las herbáceas como ha sido reportado en otros trabajos (Shreve, 1951; Brown, 1982; Búrquez *et al.*, 1999; Dimmitt, 2000).

El 23% de las especies halladas en el sitio están presentes en toda la zona y el resto se le encuentra preferentemente en una u otra ladera o cerro en particular, estos patrones de distribución de las especies evidencian la similitud se la vegetación y el efecto de heterogeneidad microclimática y topográfica de la zona de estudio.

7.2.1 Cobertura. La cobertura es la proyección vertical del follaje de una planta, que en el desierto crea microhábitats o “islas de fertilidad” que favorecen al establecimiento de numerosas especies (Búrquez y Quintana, 1994; McAuliffe, 1994; Gacillán, 2003; Schade *et al.*, 2003). Típicamente, la cobertura en el desierto puede variar espacialmente dependiendo de la topografía y condiciones del suelo (Shreve, 1964; Basnet, 1992; Garcillán y Ezcurra, 2003). En nuestro sitio de estudio, los resultados muestran que dependiendo del cerro y la orientación de la ladera hay marcadas diferencias en la cobertura total. En general, la cobertura fue menor en las orientaciones sur y este. Esto se puede atribuir a que, como ha sido bien documentado, la mayor radiación solar y temperatura en estas orientaciones provocan condiciones menos favorables para el desarrollo de muchas de las especies de plantas y para el establecimiento exitoso de plántulas de algunas especies (Duarte *et al.*, 2005). Carmel y Kadmon (1999) en un sitio en el Monte Meron en Israel, también encontraron que la variación en la cobertura de los árboles está muy relacionada con el aspecto y la orientación de las pendientes.

En nuestro sitio de estudio la mayor cobertura promedio estuvo en la ladera norte, lo que confirma el efecto de ladera sobre la vegetación. Este efecto, también ha sido discutido por Ng y Miller (1980) en la vegetación de chaparral en California, donde demostraron que la cobertura promedio en la ladera norte es mucho mayor (101.7%) que la que presenta la

ladera sur (63.3%). Estos mismos autores encontraron que para los individuos de una misma especie presente en ambas laderas, la altura promedio y el diámetro de cobertura de copa fueron mayores en la ladera norte. Las condiciones de menor insolación y, por tanto, de mayor humedad, se han señalado como una explicación parcial a la mayor cobertura y desarrollo de la vegetación en las pendientes con orientación norte (Duarte *et al.*, 2005).

En cuanto a los valores de cobertura total por especie sólo cinco fueron las especies predominantes. Los valores más altos de cobertura los presentan *C. sonorae* (croton) y *P. ciliare* (buffel). Como lo hemos mencionado, es común en el sitio de estudio la presencia de grandes manchones de zacate buffel y de *Croton*, siendo *C. sonorae* una planta que se establece con facilidad, proliferando en los espacios abiertos y pendientes rocosas del desierto (Martínez, 1995; Felger, 2001). Por otro lado, como se ha mencionado, el buffel es una especie oportunista, que también se establece fácilmente en topografías accidentadas, bajo la copa de los árboles o lugares pedregosos (Chambers y Hawkins, 2001; Búrquez *et al.*, 2002).

7.2.2 Frecuencia. Nuestros resultados muestran que, según el cerro y la orientación de la ladera una misma especie puede variar en su frecuencia. No obstante, las laderas norte son las más pobladas en comparación con las orientadas al sur. Esta mayor frecuencia de individuos, es consistente con lo observado en otros ambientes áridos y semiáridos como la vegetación del Desierto Sonorense de las montañas de Santa Catalina en Arizona (Whittaker y Niering, 1965, 1975) y el matorral crasicuale en Zacatecas (Del Castillo, 2000). Es interesante, que contrario a este patrón, Ng y Miller (1998) reportan que aunque la cobertura promedio es mayor en las laderas norte en un chaparral en California, la densidad fue menor en esta misma orientación. Esto se explica considerando que la estructuración espacial de las comunidades vegetales está afectada no únicamente por el

efecto de los factores abióticos, sino también por las interacciones positivas o negativas entre las especies (Badano *et al.*, 2005).

7.2.3 Área seccional. Al igual que la frecuencia total de individuos, el área seccional presentó los valores más altos en las laderas norte y este. Este resultado también confirma el efecto de ladera para esta variable de estructura de la vegetación en el sistema de estudio. Resultados semejantes fueron reportados por Badano *et al.* (2005) en un matorral mediterráneo de piedemonte en los Andes chilenos, donde el área de la vegetación presentó valores más altos en las laderas méxicas (orientación polar) que en las laderas xéricas (orientación ecuatorial).

Es importante notar que la menor área seccional fue encontrada en el cerro 5. Aquí, el zacate buffel fue la especie dominante y como se sabe modifica la configuración del desierto disminuyendo dramáticamente su estructura y productividad (Búrquez, 2002; Búrquez *et al.*, 2002; Franklin *et al.*, 2006). En contraste, la mayor área seccional se encontró en el cerro 4, que presentó la mayor cantidad de árboles y arbustos. Además, precisamente en este sitio se observó un menor disturbio antrópico.

7.2.4 Valor de importancia relativa de las especies. Los resultados muestran que unas cuantas especies presentan una alta dominancia en el sistema. Esto indica una baja heterogeneidad en la estructura de la vegetación de la zona de estudio, ya que son dos las especies más importantes en todos los cerros y laderas (*P. ciliare* y *C. sonorensis*). Como ha sido señalado por distintos autores (Chamber y Hawkins, 2001; Búrquez *et al.*, 2002; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006), la presencia de buffel en casi todos los sitios de estudio (laderas y cerros) es una indicación de la amenaza que representa ésta especie para la conservación de la vegetación en este rancho. Es interesante notar que a pesar de su predominancia, estas especies exhibieron preferencias en su distribución espacial. *P. ciliare*

se sitúa en sitios con mayor insolación, como lo son las laderas con orientación sur. En cambio, *C. sonorae* se ubica preferentemente en zonas más sombreadas, como las laderas con orientación norte. Sin embargo, el hecho de que *P. ciliare* es muy abundante en todas las laderas del cerro 5, se puede explicar considerando que la cobertura arbórea en este cerro es escasa, dejando extensas áreas de suelo al descubierto, donde el zacate buffel se desarrolla con mayor éxito.

Las curvas de dominancia-diversidad, con base en el valor de importancia relativa (VIR), mostraron una equitatividad relativamente homogénea entre las especies de árboles y arbustos, entre cerros y laderas. En cambio, entre las especies de herbáceas y trepadoras, se hace evidente una desigualdad notable, ya que claramente existe un dominio marcado de *Pennisetum ciliare* sobre las demás, más aun cuando se consideran los cerros como unidad sin distinguir entre laderas.

Las graficas de VIR por especies, muestran que dependiendo de que cerro o ladera se trate, las especies cambian en su jerarquía. Aunque cabe señalar, una vez más, que no importando la orientación de ladera, *C. sonorae* y *P. ciliare* son las especies de mayor valor de importancia en todo el sistema. Además, en el VIR por ladera, se observa que es en la orientación norte es donde hay una mayor diversidad de las especies de mayor valor de VIR, que en ninguna otra orientación. Reforzándonos de esta manera, la presencia de una mayor diversidad en las laderas norte, y por ende la existencia del efecto de ladera en la zona de estudio.

La gran abundancia de *P. ciliare*, en nuestra zona de estudio, se debe a la conversión intencional de vegetación nativa a pastizales de zacate buffel sobre las planicies, para la introducción del ganado. Este cambio de uso del suelo modifica los procesos de regeneración de especies claves del desierto, ya que el disturbio antropogénico, directo o

indirecto, causa cambios estructurales y funcionales en los ecosistemas de las zonas áridas (Van Auken, 2000; Arias *et al.*, 2001; Al Wadie, 2002). Fenómeno que no sólo ocurre en nuestra zona de estudio, ya que en la actualidad esta especie ocupa una parte importante del Desierto Sonorense (un tercio del área estatal de Sonora), sur de Arizona y algunas áreas de Baja California (Búrquez *et al.*, 2002; Franklin *et al.*, 2006). De esta forma, grandes porciones del matorral desértico de alta diversidad han cambiado a un nuevo equilibrio de pastizal de poca diversidad, productividad y biomasa. Además, estos nuevos pastizales inician un ciclo de pasto-fuego que incrementa la frecuencia y la intensidad de los fuegos en el desierto. Estos fuegos dañan permanentemente a numerosas especies, tanto a las cactáceas columnares, como a las especies leñosas (D'Antonio y Vitousek, 1992; Yetman y Búrquez, 1998; Chambers y Hawkins, 2001; Búrquez *et al.*, 2002). Lo anterior ha sido estudiado por Búrquez *et al.* (2002), mostrando que parcelas con buffel inducido presentan un decremento de hasta cuatro veces en su riqueza y diez veces en su diversidad. Aunado a esto, el buffel expone el suelo a una mayor insolación, lo cual cambia las propiedades del suelo, reduce el contenido de nutrientes y contenido de materia orgánica, acentuando el efecto de ladera (Yetman y Búrquez, 1998; Chambers y Hawkins, 2001; Búrquez, 2002).

7.2.5 Riqueza. En las zonas áridas, la riqueza de las especies es usualmente mayor en las depresiones, declives y partes bajas de los valles, ya que reciben un mayor suministro de agua de los escurrimientos de las áreas adyacentes, de forma que es evidente una correlación positiva entre la riqueza y el aporte de agua (Noy-Meir, 1985). Esta observación apoya la hipótesis de que el número de especies en climas áridos está determinado principalmente por la disponibilidad del agua.

Por otra parte, en muchos estudios de sistemas desérticos donde se han obtenido datos cuantitativos, la variación en la riqueza de especies está correlacionada con la

estructura del hábitat, más que con la cantidad de lluvia o ingresos de humedad. De tal manera que a mayor heterogeneidad espacial, mayor será el número de microhábitats y de nichos en los cuales las especies pueden diferenciarse y especializarse. Es así, que la riqueza florística en los desiertos está relacionada con el grado de heterogeneidad y disección de la topografía, así como con la presencia de superficies rocosas y pedregosas en los cuales abundan micro-sitios de diferente tipo (Noy-Meir, 1985). Es por ello que dentro de una misma zona del desierto puede haber una gran variación en el número de especies entre sitios cercanos, bajo una misma condición climatológica (Noy-Meir, 1985; McAuliffe, 1994, 1999).

Las diferencias florísticas entre los cerros de la zona de estudio, además de la heterogeneidad espacial, podría estar relacionada con la posición geográfica particular de cada cerro. Ya que en nuestro sitio de estudio observamos que los cerros con mayor riqueza, son los menos accesibles y presentan una cierta protección a los agentes de disturbio, como el pastoreo y la invasión de plantas exóticas. Por el contrario, los cerros con mayor accesibilidad presentan una reducida riqueza florística y una gran cobertura de zacate buffel, lo que implica un importante nivel de disturbio en estos cerros.

Además de las irregularidades topográficas que afectan la distribución de las especies, determinando la riqueza y su varianza a una escala muy fina, las diferencias de orientación de las pendientes marcaron el contraste entre las laderas norte-oeste y las laderas sur-este. Estos resultados también fueron obtenidos en la zona árida de Veracruz, entre los poblados de El Limón y San José de Alchichica por Ramos y González (1972), quienes encontraron que el número de especies o riqueza (S) en las laderas norte es mayor en comparación con el de las laderas sur, debido principalmente a la orientación de ladera.

7.2.6 Diversidad. La diversidad α (alfa) o número de especies en una comunidad o hábitat dado (Osorio *et al.*, 1996; Southwood y Henderson, 2000) nos muestra, según el índice de Simpson (por densidad y cobertura), que las laderas presentaron una diferencia marcada entre las orientaciones norte y sur, es decir las laderas norte tuvieron una mayor diversidad. Es interesante resaltar que aún en el caso del cerro 5 que exhibe la menor diversidad de todos los cerros, el efecto de ladera fuese significativo, con las laderas norte con los valores más altos.

La diversidad β (beta) o medida de la homogeneidad en la repartición de especies entre comunidades a lo largo de un gradiente ambiental (Osorio *et al.*, 1996; Southwood y Henderson, 2000), calculada por medio del índice de Jaccard, mostró que los valores para este índice son relativamente altos en la mayoría de las comparaciones entre pares de laderas. Sin embargo, fue consistente que el grado de similitud florística fue mayor entre laderas con una misma orientación en distintos cerros (aún entre cerros más distantes), y como era de esperar, que entre las laderas de un mismo cerro. Esta comparación entre laderas opuestas, confirma el efecto de ladera en esta localidad. En un estudio realizado por Garcillán y Ezcurra (2003) en la península de Baja California, también encontraron que el recambio de especies es alto entre las orientaciones norte y sur, mientras que el recambio entre la orientación este-oeste está fuertemente asociado a la variación topográfica. Por su parte, Balvanera *et al.* (2002) reportan que el alto grado de diversidad β presente en el bosque tropical caducifolio en las costas de Jalisco se debe principalmente a la heterogeneidad ambiental entre laderas opuestas (norte-sur). Aunque los valores más altos de diversidad β se encontraron entre las distintas elevaciones en las laderas norte. Estos resultados confirman que el efecto de ladera tiene el mismo patrón en esta latitud y tipo de vegetación.

Los resultados obtenidos de la diversidad β , nos permiten concluir que la orientación de ladera constituye un factor importante en la diferenciación de la composición florística, principalmente debido al contraste que existe entre las laderas norte con una mayor variedad de especies, que en las laderas sur. Por otro lado, aunque la orientación de ladera produce diferencias significativas en la composición florística, y como ya se discutió anteriormente, en algunos de los atributos de la estructura del matorral, se observó que este patrón está siendo alterado por la invasión de especies exóticas, como es en este caso el zacate buffel, que en nuestra zona de estudio su presencia significa una amenaza para la integridad funcional del matorral.

7.3 Población de *Stenocereus thurberi*

7.3.1 Número, tamaño y forma de los individuos y de sus brazos. Se sabe que el pitayo es una especie dominante en las laderas rocosas, que los protege de las bajas temperaturas (Parker, 1988; Turner *et al.*, 1995; Mercado y Granados, 1999). Además, se ubican preferentemente en sitios con condiciones xéricas y en suelos con texturas gruesas (Parker, 1988; Huerta *et al.*, 1999). A pesar de estas preferencias, es en las planicies donde alcanza su mayor tamaño, ya que en ellas los cambios de temperatura son menos extremos que en las laderas (Parker, 1988; Turner *et al.*, 1995; Mercado y Granados, 1999).

Dentro de nuestra zona de estudio, en todos los cerros y en casi todas las laderas se encontraron individuos de pitayo, presentando diferencias en el número de individuos por cerro y laderas, siendo el cerro 2 y las laderas sur los lugares con los valores de densidad más altos. Esta mayor densidad, se debe a las preferencias de esta especie por laderas xéricas y rocosas que la orientación sur les brinda. Estas diferencias significativas de

densidad en las laderas sur, concuerdan con los resultados encontrados por Parker (1987, 1988) en la reserva Organ Pipe Cactus National Monument en Arizona, en donde las pendientes con orientación sur presentaron la mayor cantidad de cactáceas columnares. Por otro lado, Huerta *et al.* (1999), en la cuenca de Sayula, Jalisco reportan que los pitayos se localizan preferentemente en las laderas sur que presentan condiciones xéricas.

El mayor número de individuos en el cerro 2, posiblemente se deba al difícil acceso que provoca un menor disturbio, como lo indica el bajo valor de importancia relativo de buffel en este cerro. Entre los disturbios más comunes están las actividades humanas que afectan la dinámica poblacional de esta cactácea, causado por el cambio de uso de suelo por desmonte o la transformación del desierto a pastizal, con la plantación de buffel en las partes bajas de la zona de estudio (Búrquez *et al.*, 2002; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006; Franklin *et al.*, 2006). Otro tipo de disturbio relevante, es el pastoreo en el matorral que afecta las poblaciones de pitayo, ya sea matando a las plántulas por pisoteo o limitando el éxito de reclutamiento por la reducción de la sombra de las plantas nodriza (Parker, 1993; Bustamante, 2003; Godínez-Álvarez *et al.*, 2003).

En cuanto a las variables morfométricas de la población de pitayo, no se encontraron diferencias significativas ni entre cerros, ni entre laderas. Tampoco las hubo tomando sólo a los individuos más grandes del cuartil superior. Esto nos indica que las características de forma y tamaño de los pitayos en la zona de estudio no parecen estar afectados ni por la topografía ni por el disturbio ocasionado por el pastoreo o la presencia de buffel. También se encontró que no presentaron una diferencia con respecto al intervalo de valores de los parámetros morfológicos reportados para esta especie (Roberts, 1989; Turner *et al.*, 1995; Paredes *et al.*, 2000). Poniendo de manifiesto que la densidad es más sensible al efecto de ladera que la morfología de esta cactácea.

Comparando los resultados morfométricos obtenidos en este estudio con los de Bustamante (2003) en un pitayal en el matorral costero en Sonora, observamos que en cuanto a la cobertura y número de brazos no hay diferencias marcadas entre las dos poblaciones. Aunque, sí hay diferencia en cuanto a la altura, siendo en promedio más altos los individuos de la población del matorral costero. Los resultados de esta comparación concuerdan con lo que se tiene reportado sobre la morfología promedio de la especie dentro de las planicies, ya que es allí donde se reporta que alcanza su mayor tamaño (Parker, 1988; Roberts, 1989; Turner *et al.*, 1995; Mercado y Granados, 1999; Paredes *et al.*, 2000).

7.3.2 Correlación entre las variables morfométricas y de abundancia. El análisis de correlación de Pearson indicó que la mayoría de variables morfométricas se correlacionan significativamente (Figura 6.23). Sin embargo, al establecer una base correlativa para predecir el comportamiento de variables relacionadas con la morfología de los individuos, se encontró que el número de brazos es la variable mejor correlacionada con las demás, especialmente con la cobertura por individuo. Por lo que el número de brazos en la población de pitayos del sitio de estudio es un buen predictor de las demás variables.

De acuerdo con los estudios de Parker (1988) para *Stenocereus thurberi*, la edad de los individuos esta más relacionada con la suma de la longitudes de los brazos que con otros parámetros morfométricos. Bustamante (2004) menciona que el trabajo de campo para la medición de las longitudes de todos los brazos de un individuo representa una gran inversión de tiempo y esfuerzo, por lo que el número de brazos se puede utilizar como parámetro en la definición de la estructura de tamaños de la población, simplificando la medición de campo.

Por último, los resultados de este trabajo indican que sin importar la orientación de la ladera, los individuos de pitayo presentan una similar morfología a pesar de que las

laderas norte pudieran ser más favorables para su crecimiento y desarrollo, esto no se tradujo en una morfología más robusta para estos individuos.

VIII. CONCLUSIONES

La vegetación de piedemonte en el Rancho La Caridad, Sonora, es una comunidad rica en especies, con importantes variaciones entre los cerros y las laderas, particularmente entre las laderas norte y sur.

Sin embargo, fisonómicamente, la comunidad está dominada por un reducido número de especies (principalmente por *Croton sonorae* y *Pennisetum ciliare*), con relativamente pocos elementos arbóreos y un gran número de arbustos de altura mediana. La estructura del matorral tiene poca heterogeneidad de especies y existen muchas especies poco abundantes que sólo se encuentran en lugares específicos.

La variación espacial en las características de composición y estructura de la comunidad vegetal resultó menor a la esperada, pero con clara diferencia entre las laderas con orientación norte y sur. La ladera norte presentó una mayor y más variada vegetación, mientras que la ladera sur, presentó poca y escasa vegetación. Los datos de cobertura, densidad, riqueza y área mostraron el mismo patrón.

Existe una mayor diversidad α en las pendientes con orientación norte, que en las sur. De igual manera, el recambio de especies (diversidad β) fue mucho mayor en las laderas norte que en las otras laderas, mostrando así que la orientación constituye un eje importante en diferenciación florística de las laderas en nuestro sitio de estudio.

Las curvas de dominancia-diversidad usando el Valor de Importancia Relativo de las especies, también demuestran que hay una mayor cantidad y mejor distribución de la dominancia de las especies en las laderas norte que en las sur, tanto de árboles y arbustos, como de pastos y trepadoras. Sin embargo, los cerros presentan elevados niveles de dominancia de pastos y trepadoras.

La invasión por zacate buffel (especie exótica) nos muestra que el piedemonte sonorense está siendo fuertemente modificado en su estructura y que no sólo el zacate buffel se comporta como invasora en las planicies y los arroyos, sino que también invade exitosamente los cerros.

En cuanto a la población de pitayos de la zona de estudio, se confirmó que existe una importante diferencia en el número de individuos entre las laderas norte y sur. El número de brazos es un buen predictor de las variables morfológicas del pitayo. Sin embargo, las características de forma y tamaño de los individuos parecen no variar ni entre cerros ni entre laderas.

Una ventaja del método escogido para la realización de esta investigación, reside en la selección aleatoria de las laderas sobre un punto cardinal específico sobre el modelo digital de elevación. Esto permite maximizar la objetividad del muestreo a la vez que se eliminan los sesgos topográficos de elevación y orientación de las pendientes. Este trabajo permitió entonces explorar el efecto de ladera y la variabilidad espacial en la vegetación de piedemonte en distintos cerros que reúnen las mismas condiciones de clima y del suelo.

La presente investigación aporta información básica de parámetros e índices comparativos de la vegetación que típicamente se establece en las laderas de los cerros en el Desierto Sonorense y que ha sido poco estudiada. Se espera que en un futuro cercano, este estudio sirva de base para proponer y apoyar programas eficientes de manejo de los recursos naturales, y para la protección y conservación de este importante ecosistema de las zonas áridas del norte de México.



LITERATURA CITADA

- Al Wadie H. 2002. Floristic composition and vegetation of Wadi Talha, Aseer Mountains, south west Saudi Arabia. *Journal of Biological Sciences*, **2**(5):285-288.
- Arias T.A., V.T. Valverde y S.J. Reyes. 2001. Las plantas de la región de Zapotitlán Salinas, Puebla. INE/SEMARNAT/UNAM. México. 72 p.
- Bacon J.R. 2001. Apuntes de Ecología. Página de la Materia de Ecología. Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Cd. Durango, Dgo., México (<http://EcoApuntes.homestead.com/index>).
- Badano E.I., L.A. Caviaras, M.A. Molina-Montenegro y C.L. Quiroz. 2005. Slope aspect influences plant patterns in the Mediterranean matorral of Central Chile. *Journal of Arid Environment*, **62**:93-108.
- Balvanera P., E. Lott, G. Segura, C. Siebe y A. Islas. 2002. Patterns of β -diversity in Mexican tropical forest. *Journal of Vegetation Science*, **13**:145-158.
- Barbour G.M., J.H. Burk y W.D. Pitts. 1981. *Terrestrial plant ecology*. Benjamin /Cummings Publishing. Menlo Park. 634 p.
- Basnet K. 1992. Effect of topography on the pattern of trees in Tobonuco (*Dacryodes exclesa*) dominated rain forest of Puerto Rico. *Biotropica*, **24**(1):31-42.
- Begon M., J.L. Harper y C.R. Townsend. 1990. *Ecology: Individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 945 p.
- Berner E.K. y R.A. Berner 1996. *Global environment: water, air and geochemical cycles*. Prentice Hall. New Jersey. Upper Saddle River. 376 p.
- Bouchet E. y P. García-Fayos. 2004. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restoration Ecology*, **12**(2):166-174.
- Brown E. 1982. Sinaloan Thornscrub. En: Brown E. (ed.) *Biotic communities of the American Southwest-United States and Mexico*. *Desert Plants*, **4**(1-4):101-106.
- Bureau of Land Management. 1996. *Sampling vegetation attributes*. Technical Reference. 163 p.
- Búrquez A. 2002. Buffel grass invasion on Sonoran Desert plant communities. Abstracts of the 87th annual meeting of the Ecological Society of America. Tucson, Arizona.
- Búrquez A. y M. Quintana. 1994. Island of diversity: Ironwood ecology and the richness of perennials in a Sonoran Desert biological reserve. En: Nabhan G.P. y J.L. Carr (eds).

Ironwood: An ecological and cultural keystone of the Sonoran Desert. *Occasional Papers in Conservation Biology*, **1**:9-27.

- Búrquez A. y A. Martínez-Yrizar. 2006 (en prensa). Conservation and habitat transformation in northwestern Mexico. En: Felger R.S. y W. Broyles (eds., en prensa). *Dry borders: great natural reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press. Salt Lake City.
- Búrquez A., A. Martínez-Yrizar y S. Nuñez. 1999a. Sonoran Desert productivity and the effect of trap size on litterfall estimates in dryland vegetation. *Journal of Arid Environments*, **43**:459-465.
- Búrquez A., A. Martínez-Yrizar, R.S. Felger y D. Yetman. 1999b. Vegetation and habitat diversity at the southern edge of Sonoran Desert. En: Robichaux R.H. (eds.). *Ecology of Sonoran Desert plants and plant communities*. University of Arizona Press. Tucson. Pp. 36- 67.
- Búrquez M.A., E.M. Miller y A. Martínez-Yrizar. 2002. Mexican grasslands, thornscrub, and the transformation of the Sonoran Desert by invasive exotic buffelgrass (*Pennisetum ciliare*). En: Tellman B. (eds.). *Invasive exotic species in the sonoran region*. University Arizona Press / Arizona-Sonora Desert Museum. Tucson. Pp. 126-146.
- Bustamante O. E. 2003. Variación espacial y temporal en la reproducción y estructura poblacional de *Stenocereus thurberi*: una cactácea columnar del matorral costero del sur de Sonora. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 94 p.
- Carmel Y. y R. Kadmon. 1999. Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, **145**(2):243-254.
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte). 1997. *Regiones ecológicas de América del Norte: Hacia una perspectiva común*. CEC/CCA/CCE. Quebec. 71 p.
- Cervantes M.C. 2002. *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 155 p.
- Chambers N. y T. Hawkins. 2001. *Plantas invasoras del Desierto Sonorense: Guía de campo*. Sonoran Institute/ National Fish and Wildlife Foundation. Tucson. 60 p.

- Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. CONABIO/ IBUNAM/ Agrupación Sierra Madre S.C. México. 847 p.
- Chapman S.B. 1976. Methods in plant ecology. Blackwell Scientific Publications. Londres. 535 p.
- Cox C., I. Healey y P. Moore. 1977. Biogeography: An ecological and evolutionary approach. Blackwell Scientific Publication. Oxford. 194 p.
- D'Antonio M.C. y M.P. Vitousek, 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. Annual Review of Ecology and Systematics, **23**:63-87.
- Del Castillo R.F. 2000. Composición y estructura de una nopalera bajo situaciones contrastantes de exposición de ladera y herbivoría. Boletín de la Sociedad Botánica de México, **65**:5-22.
- Dimmitt A.M. 2000. Biomes and communities on the Sonoran Desert region. En: Phillips S.J. y C.P. Wentworth (eds.). A natural history of the Sonoran Desert. Arizona-Sonora Desert Museum Press / University of California Press. Berkley. Pp. 3-18.
- Duarte M.C., F. Rego e I. Moreira. 2005. Distribution patterns of plant communities on Santiago Island, Cape Verde. Journal of Vegetation Science, **16**:283-292.
- Enright N.J., B.P. Miller y R. Akhter. 2005. Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan. Journal of Arid Environments, **61**:397-418.
- Ezcurra E., E. Peters, A. Búrquez y E. Mellink. 2002. Los desiertos de Sonora y Baja California. En: Mittermeier R.A., C. Goetsch-Mittermeier, P. Robles-Gil, J. Pilgrim, G. Fonseca, T. Brooks y W.R. Konstant (eds.). Áreas Silvestres: Las últimas regiones vírgenes del mundo. CEMEX/Agrupación Sierra Madre S.C. México. Pp. 315-333.
- Food and Agriculture Organization. 1996. Ecología y enseñanza rural: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. Colección Estudios-FAO. Serie Montes, No.131. F.A.O. Italia. 187 p.
- Felger R. 2001. Flora of the Gran Desierto and Rio Colorado of Northwest Mexico. University of Arizona Press, Tucson. 270 p.
- Felger R., M. Johnson y M. Wilson. 2001. The trees of Sonora, México. Oxford University Press. Nueva York. 391 p.
- Foth H.D. 1970. A study of soil science. La Motte Company. Maryland. 42 p.

- Franklin A.K., K. Lyons, L.P. Nagler, D. Lampkin, E.P. Glenn, F. Molina-Freaner, T. Markow y A.R. Huete. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) land conversion and productivity in the plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation*, **127**:62-71
- Garcillán P.P. 2003. Variación espacial de la diversidad de la vegetación desértica y su aplicación en la modelación de las relaciones biodiversidad-medio ambiente. UNAM. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 61 p.
- Garcillán P.P. y E. Ezcurra. 2003. Biogeographic regions and B-diversity of woody drylands legumes in Baja California peninsula. *Journal of Vegetation Science*, **14**:859-868.
- Gandoy W.B. 1991. Manual de laboratorio para el manejo físico de suelos. Colección cuadernos Universitarios, Serie Agronomía, No. 22, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. 173 p.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Inst. Geografía de la UNAM. México. 217 p.
- García M.E. y G.Z. Falcón. 1984. Nuevo atlas Porrúa de la República Mexicana. Editorial Porrúa. México. 219 p.
- Garza A. 2001. Entre valles y montañas: Un paseo por el Desierto Chihuahuense. *Especies*, **10**(3):21-25.
- Gibons C.A. 1996. Structure-function relations of warm desert plants. Springer. Berlin. 215p.
- Godínez-Álvarez H. 1998. Los desiertos mexicanos: sus características e importancia. *Ciencia y Desarrollo*, **24**(143):17-22.
- Godínez-Álvarez H., T. Valverde y P. Ortega-Baes. 2003. Demographic trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*, **69**(2):173:203.
- Gómez S.M. 2001. Características foliares de las especies arbóreas y arbustivas en tres tipos de vegetación de clima seco en Sonora, México. Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Tesis de Licenciatura. Hermosillo. 106 p.
- González F. 2001. Las comunidades vegetales en Aridamérica. Simposio Flora, biogeografía, procesos ecológicos y conservación. XV Congreso Mexicano de Botánica. Querétaro.
- Gurevich J., S. Scheiner y G. Fox. 2002. The ecology of plants. Sinauer Associates Inc. Sunderland. 523 p.

- Haurwitz B. y J.H. Austin. 1944. *Climatology*. MacGraw Hill Book Company. Nueva York. 410 p.
- Heiri O., A.F. Lotter y G. Lemcke. 2001. Loss on ignition as method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, **25**:101-110.
- Huerta-Martínez M.F., J. Vázquez-García, E. García-Moya, L. López-Mata y H. Vaquera-Huerta. 2004. Vegetation ordination at southern Chihuahuan Desert (San Luis Potosí, México). *Plant Ecology*, **174**:79-87
- Huerta-Martínez M.F., E. García-Moya, J. Flores-Flores y E. Pimienta-Barrios. 1999. Ordenación de las poblaciones silvestres de pitayo y cardón en la Cuenca de Sayula, Jalisco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **64**:11-24.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (INEGI) a. 1999. Síntesis geográfica del estado de Sonora. INEGI. México. 5-26 p.
- INEGI b. 1999. Hermosillo: Carta geológica. Escala 1:250,000.
- INEGI c. 1987. La Manga: Carta topográfica. Escala 1:50,000.
- INEGI d. 1987. Hermosillo: Carta topográfica. Escala 1:50,000.
- Jiménez L. 2003. Los desiertos... ¿desiertos? *Correo del Maestro*. Antes del aula. (<http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2003/marzo/2anteaula82.htm>).
- Lomelí R, O.R. Tamayo e I. Conrado. 2003. Propiedades y textura de los suelos. (<http://www.sagan-gea.org/hojared/CSuelo.html>).
- Martínez G.M. 1995. Contribución al conocimiento del género *Croton* (Euphorbiace) en el estado de Guerrero, México. Contribución del herbario de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México No. 2. México. 109 p.
- Martínez-Yrizar A., S. Nuñez, H. Miranda y A. Búrquez. 1999. Temporal and spatial variation of litter production in Sonoran Desert communities. *Plant Ecology*, **145**:37-48.
- MacMahon A.J. 2000. Warm deserts. En: Barbour M.G. y W.D. Billings. 2000. *North American terrestrial vegetation*. Cambridge University Press. Nueva York Pp. 286-322.
- McAuliffe R.J. 1999. The Sonoran Desert: landscape complexity and ecological diversity. En: Robichaux R.H. (ed.). *Ecology of Sonoran Desert plants and plant communities*. University of Arizona Press. Tucson. Pp. 69-111.

- McAuliffe R. J. 1994. Landscape evolution, soil formation, and ecological patterns and processes in Sonoran Desert bajadas. *Ecological Monographs*, **64**(2):111-148.
- McAuliffe J. 1991. Demographic shifts and plant secession along a late holocene soil chronosequence in the Sonoran Desert of Baja California. *Journal of Arid Environment*, **20**:165-178.
- McGinnies W.G. 1976. An overview of the Sonoran Desert. Essay for the Second Annual Conference of the Consortium of Arid Lands Institutions (CALI). Tucson.
- Mercado B.A. y S.D. Granados. 1999. La pitaya: biología, ecología, fisiología sistemática y etnobotánica. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. 194 p.
- Migón P., A. Goudie, R. Allison y N. Rosser. 2005. The origin and evolution of footslope ramps in the sandstone desert environment of south-west Jourdan. *Journal of Arid Environments*, **60**:303-320.
- Montaño N.M. y A. Monroy. 2000. Conservación ecológica de suelos en zonas áridas y semiáridas en México. *Ciencia y Desarrollo*, **26**(154):26-37.
- Morales P. 2004. Los tipos de suelos y sus propiedades. Infojardin. (<http://www.infojardin.com/articulos/Textura.htm>).
- Mueller-Dombois D. y H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. JohnWiley & Sons. Nueva York. 547 p.
- Ng E. y P.C. Miller. 1980. Soil moisture relations in the southern California chaparral. *Ecology*, **61**(1):98-107.
- Nobel P.S. y M.J. Linton. 1997. Frequencies, microclimate and root properties for three codominant perennials in the northwestern Sonoran Desert on North- vs. South – facing slopes. *Annals of Botany*, **80**:731-739.
- Nagamatsu D., K. Seiwa y A. Sakai. 2002. Seedling establishment of deciduous trees in various topographic positions. *Journal of Vegetation Science*, **13**:35-44.
- Noy-Meir I. 1985. Desert ecosystem structure and function. En: Evenary I., I. Noy-Meir y D.W. Goodall (eds.). *Hot deserts and shrublands*. Elsevier. New York. Pp. 93-103.
- Osorio B.O., B.A. Valiente-Banuet, P. Dávila y M. Rosalinda. 1996. Tipos de vegetación en el valle de Zapotitlan de las Salinas, Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **59**:35-58.

- Otto Rüdiger, J. Fernandez-Palacios y O. Krüsi Bertil. 2001. Variation in species composition and vegetation structure of succulent scrub on Tenerife in relation to environmental variation. *Journal of Vegetation Science*, **12**:237-248.
- Paredes R., T. Van Devender y R. Felger. 2000. *Cactáceas de Sonora, México: su diversidad, uso y conservación*. Arizona–Sonora Desert Museum Press. Tucson. 143 p.
- Parker C.K. 1995. Effects of complex geomorphic history on soil and vegetation patterns on arid alluvial fans. *Journal of Arid Environments*, **30**:19-39.
- Parker C.K. 1993. Climatic effects on regeneration trends for two columnar cacti in northern Sonoran Desert. *Annals of the Association of American Geographers*, **83**(3):392-401.
- Parker C.K. 1991. Topography, substrate and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert. *Journal of Biogeography*, **18**:151-163.
- Parker C.K. 1988. Environmental relationships and vegetation associates of columnar cacti in northern Sonoran Desert. *Vegetatio*, **78**:125-140.
- Parker C.K. 1987. Site-related demographic patterns of organ pipe cactus populations in southern Arizona. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **114**(2):149-155.
- Ramos A.C. y M.F. Gonzalez. 1972. La vegetación de la zona árida veracruzana. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica*, **43**:77-99.
- Raven P.H., R.F. Everet y H. Curtis. 1981. *Biology of plants*. Worth Publishers. Nueva York. 944 p.
- Roberts N.C. 1989. *Baja California Plant Field Guide*. Natural History Publishing Company. La Jolla, California. 309 p.
- Rodríguez-Castañeda J.L. 1981. Notas sobre la geología del área de Hermosillo, Sonora. *Revista del Instituto de Geología de la UNAM*, **5**(1):30-36.
- Rzedowski J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, **14**:3-21.
- Rzedowski J. 1991b. El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana*, **15**:47-64.
- Rzedowski J. 1986. *La vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- Shreve F. 1951. *Vegetation and flora of the Sonoran Desert*. Vol. 1. Carnegie Institution of Washington Publication. Washington. 159 p.

- Shreve F. e I.L. Wiggins. 1964. Flora and vegetation of the Sonoran Desert. Stanford University. Stanford. 1740 p.
- Smith S.D., R.K. Monson y J.E. Anderson. 1997. Physiological ecology of North American desert plants. Springer. Berlin. 286 p.
- Southwood T.R. y P.A. Henderson. 2000. Species richness, diversity and packing. En: Southwood T.R. y P.A. Henderson (eds.). Ecological Methods. Blackwell Science. Nueva York. Pp. 462-485.
- Schade J.D., R. Sponseller, S.L. Collins y A. Stiles. 2003. The influence of *Prosopis* canopies on understorey vegetation: effects on landscape position. Journal of Vegetation Science, **14**:734-750.
- Schoener T.W. 1990. The ecological niche. En: Charrett J.M. (ed.). Ecological concepts: the contribution of ecology to understanding of the natural world. Blackwell Scientific Publishing. Londers. Pp. 80-102.
- Sosa, C.V. 1981. Necesidades de información para la planeación de actividades En: General Technical Report WO-28. International Workshop of Arid Land Resource Inventories: Developing Cost-Efficient Methods. Baja California Sur, México. Pp. 18-20.
- Turner R., J. Bowers y T. Burgess. 1995. Sonoran Desert plants: an ecological atlas. University of Arizona Press. Tucson, Arizona. 504 p.
- Valiente-Banuet A. 1996. La conservación de los desiertos: un desafío. Ocelot, **4**:34-37.
- Valiente-Banuet A. 1995. La ecología y los desiertos de México. Revista de la UNAM, **536-537**: 39-42.
- Valiente-Banuet A., P. Dávila, R.J. Ortega, M.C. Arizmendi, J.L. León, A. Breceda y J. Cancino. 1995. Influencia de la evolución de una pendiente de piedemonte en una vegetación de Cardonal de *Pachycereus pringlei* en Baja California Sur, México. Boletín de Investigaciones Geográficas, Núm. especial **3**:101-113.
- Van Auken O.W. 2000. Shrub invasions of North American semiarid grasslands. Annual Review of Ecology and Systematics, **31**:197-215.
- Villa, S.A. 1981. Los desiertos de México. En: General Technical Report WO-28. International Workshop of Arid Land Resources Inventories: Developing Cost-Efficient Methods. Baja California Sur, México. Pp. 18-20.
- Whitford W.G. 2002. Ecology of desert systems. Academic press. Londres. 344 p.

- Whittaker R.H. 1975. *Communities and ecosystems*. Macmillan Publishing. Londres. 385 p.
- Whittaker R.H. y W.A. Niering. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, **56**(4):771-790.
- Whittaker R.H. y W.A. Niering. 1965. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: A gradient analysis of the south slope. *Ecology*, **46**(4):429-451.
- Yetman D. y A. Búrquez. 1998. Twenty-seven: A case study in ejido privatization in Mexico. *Journal of Anthropological Research*, **54**:73-95.

APÉNDICES

Apéndice 1 Listado florístico completo del sitio de estudio, el cual incluye a todas las plantas perennes y anuales colectadas durante el muestreo de la vegetación, en el Rancho La Caridad, Sonora.

PTERIDOPHYTA

ADIANTACEAE

Cheilanthes lindheimeri **Hook.**

Notholaena californica **D.C. Eaton**

MAGNOLIOPHYTA

ACANTHACEAE

Carlowrightia arizonica **A. Gray**

Carlowrightia cordifolia **A. Gray**

Carlowrightia sinaloensis **Leonard & Gentry**

Elytraria imbricata (**Vahl.**) **Pers.**

Justicia californica (**Benth.**) **D.N. Gibson**

Justicia candicans (**Ness.**) **L.D. Benson**

AMARANTHACEAE

Amaranthus palmeri **S. Watson**

Tidestromia lanuginosa (**Nutt.**) **Standl.**

ASTERACEAE

Ambrosia cordifolia (**A. Gray**) **W.W. Payne**

Brickellia coulteri **A. Gray**

Brickellia sp.

Encelia farinosa **A. Gray**

Lagascea decipiens **Hemsl.**

Pectis papposa **Harv. & A. Gray**

Trixis californica **Kell.**

Viguiera dentata (**Cav.**) **Spreng.**

BIGNONIACEAE

Tecoma stans (**L.**) **Juss. ex Kunth**

BURSERACEAE

Bursera fagaroides (**H.B.K.**) **Engl.**

Bursera laxiflora **S. Watson**

BRASSICACEAE

Dryopetalon runcinatum **A. Gray**

CACTACEAE

Mammillaria sp.

Opuntia arbuscula **Engelm.**

Opuntia gosseliniana **Weber**

Stenocereus thurberi (**Englem.**) **Buxb.**

CONVOLVULACEAE

Evolvulus alsinoides (**L.**) **L.** var. *acapulcensis* (**Willd.**) **Ooststr.**

Ipomoea aff. *hederifolia* **L.**

Ipomoea arborescens (**Humb.& Bonpl.ex Willd.**) **G. Don**

Ipomoea leptotoma **Torr.**

EUPHORBIACEAE

Acalypha californica **Benth.**

Adelia obovata **Wiggins & Rollins**

Croton sonora **Torr.**

Ditaxis neomexicana (Müll. Arg.) A. Heller

Euphorbia californica Benth.

Euphorbia colletioides Benth.

Euphorbia florida Englem.

Euphorbia pediculifera Englem. var. *californica*

Jatropha cordata (Ort.) Muell. Arg.

Manihot angustiloba (Torr.) Müll. Arg.

FOUQUIERIACEAE

Fouquieria macdougalii Nash

Fouquieria splendens Englem.

KRAMERIACEAE

Krameria grayi Rose & Painter

LAMIACEAE

Hyptis emoryi Torr.

FABACEAE

Acacia coulteri Benth. ex A. Gray

Astragalus nuttallianus D.C.

Caesalpinia palmeri S. Watson

Calliandra schottii Torr. ex S. Watson

Coursetia glandulosa A. Gray

Desmanthus covillei (Britton & Rose) Wiggins ex. B. Turner

Eysenhardtia orthocarpa (A. Gray) S. Watson

Lysiloma microphyllum Benth.

Mimosa distachya Cav.

Nissolia schottii A. Gray

Parkinsonia microphylla Torr.

LORANTHACEAE

Phrygilanthus sonora (S.Watson) Standl.

MALPIGHIACEAE

Callaeum macropteru (Moc. & Sessé ex D.C.) D.M. Jonhson

Janusia californica Benth.

Janusia linearis Wiggins

MALVACEAE

Abutilon californicum Benth.

Abutilon incanum (Link) Sweet

Sida sp.

NYCTAGINACEAE

Abronia maritima Nutt. ex S. Watson

Boerhavia coccinea Mill.

Boerhavia erecta L.

Boerhavia spicata Choisy

Boerhavia wrightii A. Gray

Commicarpus scandens (L.) Standley

PASSIFLORACEAE

Passiflora foetida L.

RUBIACEAE

Randia obcordata S. Watson

SAPINDACEAE

Cardiospermum corindum L.

SOLANACEAE

Lycium andersonii **A. Gray** var. *deserticola* (**C.L. Hitchcock**) **Jepson**

Lycium berlandieri **Dunal**

Lycium sp.

Physalis crassifolia **Benth.**

STERCULIACEAE

Ayenia glabra **S. Watson**

ZYGOPHYLLACEAE

Guaiacum coulteri **A. Gray**

Kallstroemia californica (**S. Watson**) **Vail**

Kallstroemia grandiflora **Torr. ex A. Gray**

LILIOPSIDA

AGAVACEAE

Agave angustifolia **Haw.**

POACEAE

Bouteloua barbata **Lag.**

Bouteloua curtipendula (**Michx.**) **Torr.**

Bouteloua rothrockii **Vasey**

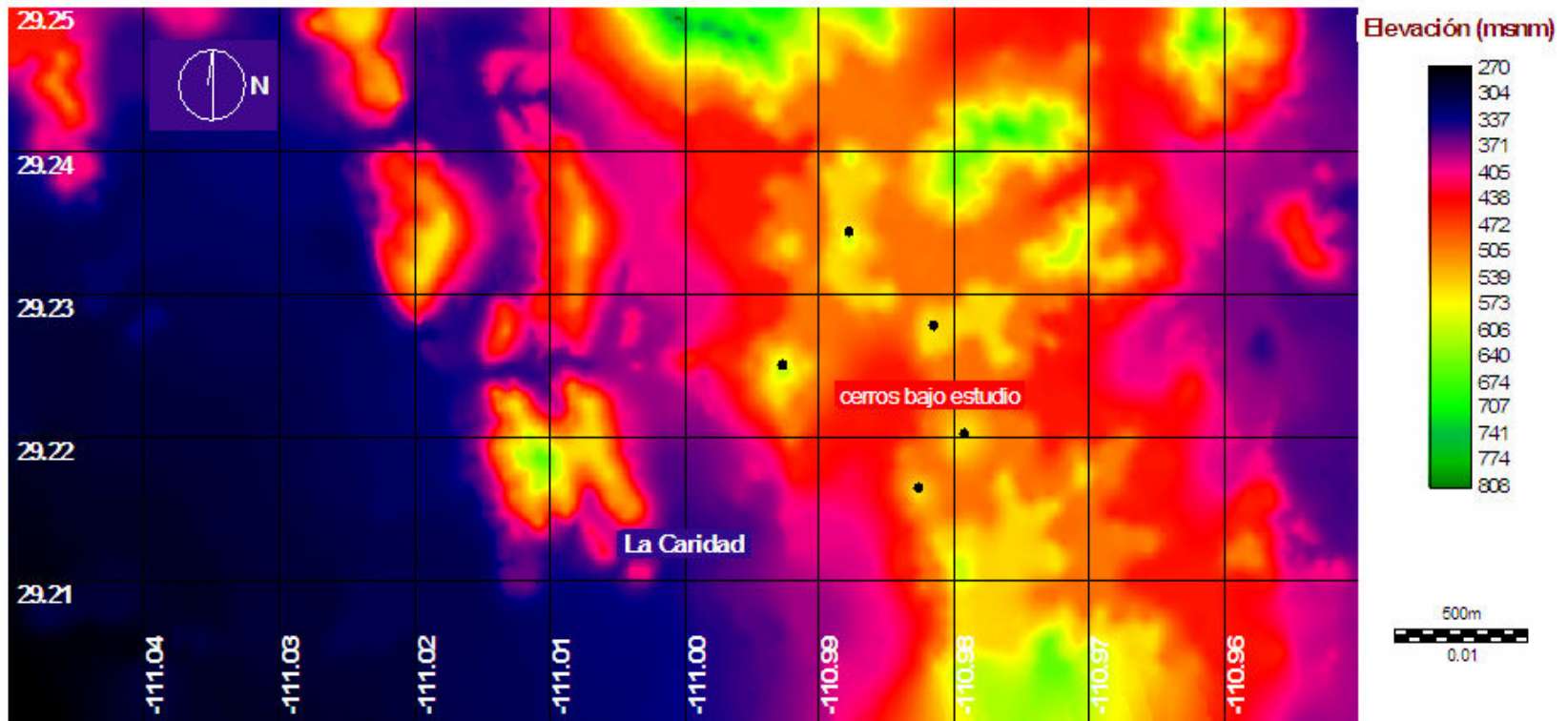
Brachiaria arizonica (**Scribn. & Merr.**) **S.T. Blake**

Leptochloa filiformis (**Pers.**) **P. Beauv.**

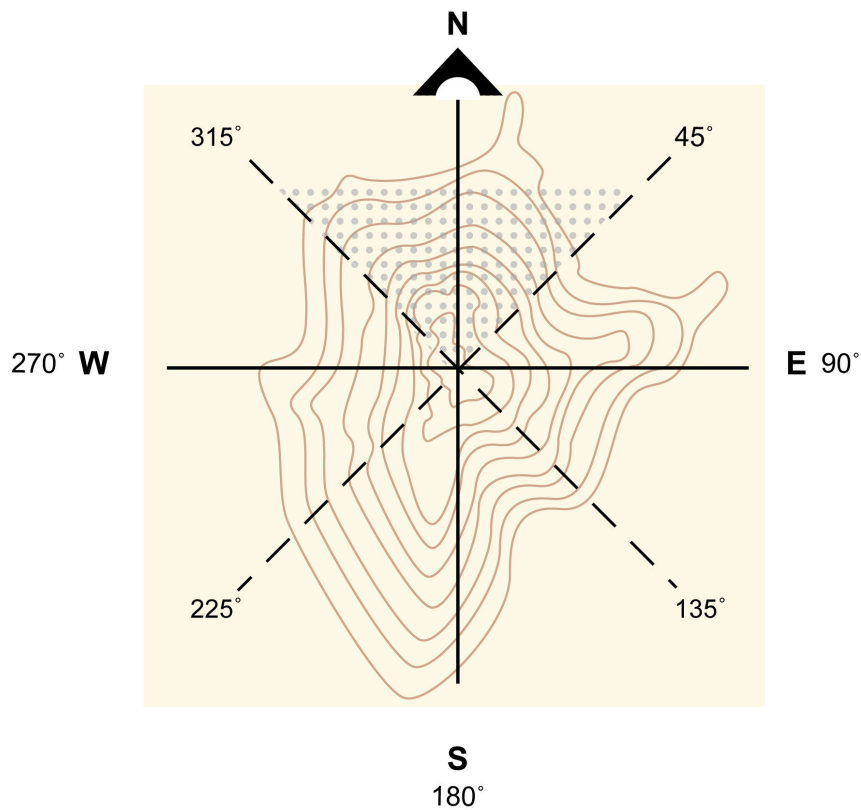
Pennisetum ciliare (**L.**) **Link**

Setaria liebmanna **E. Fourn.**

Apéndice 2 Modelo Digital de Elevación (MDE) del Rancho La Caridad, Sonora, procesado con el programa IDRISI 32 (Clark University Lab.), con escala 1:250 000. Los puntos negros muestran los cinco cerros elegidos para llevar a cabo el estudio.



Apéndice 3 Diagrama que muestra la reclasificación que se realizó al Modelo Digital de Elevación (MDE) de 3x3 min con escala 1:250 000, en el Rancho La Caridad, Sonora, para seleccionar las pendientes con orientación a cada punto cardinal. La demarcación de las orientaciones de ladera Norte, Sur, Este, y Oeste se tomó como el área entre los 45° a cada lado de los puntos cardinales. En la ilustración se ejemplifica, en la zona punteada, las orientaciones Norte.



Apéndice 4 Modelo Digital de Elevación (MDE) de 3×3 min. del Rancho La Caridad, Sonora, con escala 1:250 000, presentando los cerros con las orientaciones norte, sur, este y oeste. Los puntos negros denotan los sitios de muestreo de las partes altas y bajas en cada uno de los cerros. La línea blanca representa un camino pavimentado.

