

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LA TASA
DE CRECIMIENTO DEL CIRIO (*Fouquieria columnaris*)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA

MARTÍN ESCOTO RODRÍGUEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LA TASA
DE CRECIMIENTO DEL CIRIO (*Fouquieria columnaris*)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA

MARTÍN ESCOTO RODRÍGUEZ



ENSENADA, B. C.

AGOSTO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS

VARIACIONES TEMPORALES Y ESPACIALES EN LA TASA
DE CRECIMIENTO DEL CIRIO (*Fouquieria columnaris*)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA

MARTÍN ESCOTO RODRÍGUEZ

aprobada por:



Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist
Director de tesis



Dra. Nora Elisa Martijena Adinet
Asesor



M.C. Luis Rafael Solana Sansores
Asesor



M.C. Jorge Sepúlveda Betancourt
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres,

Jesús Escoto

Felicitas Rodríguez.

A mi esposa,

María Elena Meza.

A mi hija,

Yareli Marlén Escoto Meza.

A quién viene en camino...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy especialmente al Dr. Stephen Bullock por la dirección de esta tesis, por sugerirme la idea que resultó en el presente trabajo y por el apoyo que me brindó desde el inicio de mis estudios de Maestría.

Agradezco a mis asesores Dra. Nora Martijena, M.C. Rafael Solana y M.C. Jorge Sepúlveda por sus discusiones enriquecedoras y por las revisiones que hicieron al escrito.

Al Dr. Raymond Turner por permitirme usar información no publicada generada en cuadrantes permanentes en Baja California y por proporcionarme literatura sobre el cirio.

A José Luis Aguilar por la revisión y crítica del manuscrito.

A los catedráticos del posgrado de la Facultad de Ciencias de la UABC gracias por permitirnos aprender por la vía práctica, participando en la búsqueda de alternativas de solución a problemas reales de nuestro entorno inmediato.

A mis compañeros de la maestría, a todos los amigos y familiares gracias por su apoyo de diversa índole y sobretodo por su amistad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca-crédito que me otorgó para mis estudios de Maestría.

Al Servicio de Pesca y Vida Silvestre (Fish and Wildlife Service) de Estados Unidos por el complemento de beca que me brindaron (convenio FWS-SEMARNAP 14-48-0009-96-1264). También le agradezco por su apoyo para la impresión de esta tesis (convenio FWS-SEMARNAP 1448-98210-99-G339).

Al Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada (CICESE) por el apoyo logístico para el trabajo de campo y gabinete.



RESUMEN

Mediante la medición directa y el análisis digital de fotografías actuales y antiguas se obtuvieron alturas, longitudes (que incluye ramas axiales) y crecimiento de 121 cirios (*Fouquieria columnaris*) en Baja California principalmente en las inmediaciones de Cataviña (29.88° - 29.76° N). La técnica de fotografía calibrada para estimar altura antigua fue verificada con 11 cirios cuyas alturas fueron estimadas con teodolito en el mismo año de la foto antigua ($r=0.998$). Análisis alométricos de 31 individuos mostraron que la longitud del cirio aumenta en relación lineal con el grosor del tronco mientras que la altura parece llegar a una asíntota. En cuanto a crecimiento anual en longitud se encontraron diferencias significativas entre sitios, aunque la variación entre individuos en algunos sitios fue mayor que la variación entre sitios. Los datos de crecimiento refieren a intervalos de 35, 47, 49, 68 y 93 años. Los extremos de crecimiento anual en longitud fueron de 0.3 cm hasta 16.7 cm con una media de 4.7 cm. No se encontró relación entre tamaño y crecimiento, excepto para la muestra con datos iniciales de 1949 ($p=0.016$) y para individuos de menos de 1 – 1.5 m de altura (por medición directa, 1963-71). Mediciones repetidas en cuatro o más años mostraron autocorrelaciones significativas del crecimiento. Los datos sugieren que la tasa de crecimiento del cirio no depende del tamaño de la planta, excepto cuando son menores de 1.5 m; probablemente se relaciona más con las condiciones del suelo y clima. La posición fisiográfica y la presencia de capas duras en el suelo explicaron el 38 % de la variación en el crecimiento, mientras que la densidad de vecinos aportó un 12% más de la explicación ($n=24$), tomando estos factores en vecindades pequeñas o grandes según el tamaño del cirio focal.

Los datos sugieren que los individuos más grandes podrían ser los que mayores tasas de crecimiento han tenido y no necesariamente los que más tiempo han vivido. Con la presente información se estima que la edad del cirio es de alrededor de 250 años para los individuos más grandes.

ABSTRACT

Size and mean growth rates of cirio (*Fouquieria columnaris*) were obtained by direct measurement and by digital analysis of old and recent photographs, including 121 cirios mainly at sites near Cataviñá, Baja California (29.88° - 29.76° N). Heights obtained by the calibrated photograph technique were verified with 11 cirios whose heights were measured by theodolite when the old photograph was taken ($r=0.998$). Allometric analysis of 31 individuals showed that length, which includes axial branches, increased in linear relation to trunk diameter while height appeared to reach an asymptote. Significant differences of length growth rates were obtained between sites although the variability between individuals within some sites was greater. The growth data were from intervals of 35, 47, 49, 68 and 93 years. The maximum and minimum growth in length on an annual basis were 16.7 cm and 0.3 cm respectively, whereas the mean was 4.7 cm. No relation between size and growth was found, except for individuals with initial data from 1949 ($p=0.016$) and for individuals less than 1-1.5 m height (measured directly, 1963-1971). Repeated measurements at intervals of three or more years showed significant autocorrelations of growth. The data suggest that growth rate does not depend on plant size, except for the smaller individuals ($<1.5\text{m}$); it is probably affected more by climate and soil conditions. Physiographic position and the presence of caliche explained 38% of the variability in growth, whereas the density of neighbors accounted for 12% more of the variation ($n=24$), when these factors were observed in small or large neighborhoods according to size of the focal cirio.

The data suggest that the larger individuals may have had higher growth rates and are not necessarily the oldest plants. With the present information the age of the largest cirios can be estimated at about 250 years.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 LA TÉCNICA DE LA FOTOGRAFÍA REPETIDA.....	4
2.2 LA FAMILIA FOUQUIERIACEAE.....	4
2.3 EL CIRIO	5
<i>Distribución</i>	5
<i>Los tallos</i>	6
<i>Producción de hojas, flores y frutos</i>	8
<i>Época de crecimiento de los tallos</i>	9
<i>Crecimiento y edad</i>	10
2.4 CRECIMIENTO EN OTRAS ESPECIES.....	11
2.5 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO.....	12
2.6 APLICACIÓN DEL ESTUDIO DEL CRECIMIENTO AL MANEJO FORESTAL.....	14
2.7 HISTORIA DEL MANEJO DEL CIRIO	16
3. OBJETIVOS.....	19
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	20
4.1 SITIOS DE MUESTREO	20
4.2 AMBIENTE FÍSICO REGIONAL.....	22
<i>Geología</i>	22
<i>Suelos</i>	22
<i>Clima</i>	23
4.3 VEGETACIÓN.....	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1 FOTOGRAFÍA Y MEDICIONES.....	26
5.2 USO DE DATOS SOBRE CRECIMIENTO DEL CIRIO GENERADOS POR OTROS AUTORES	29
<i>Comparación de métodos</i>	29
<i>Autocorrelación en el crecimiento</i>	30
5.3 RELACIONES DIMENSIONALES DEL CIRIO	31
5.4 EL CRECIMIENTO ANUAL DEL CIRIO	31
<i>Por sitio de repetición fotográfica</i>	31
<i>Por periodo de medición</i>	32
5.5 CARACTERÍSTICAS DEL MICROSITIO.....	32
5.6 VECINOS	34
6. RESULTADOS.....	36
6.1 COMPARACIÓN DE MÉTODOS.....	36
6.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA.....	37
6.3 RELACIONES DIMENSIONALES DEL CIRIO	38
6.4 EL CRECIMIENTO ANUAL DEL CIRIO	41
<i>Por sitio de repetición fotográfica</i>	41
<i>Por periodo de medición</i>	45
<i>El total de los individuos</i>	48
<i>Individuos de un solo tallo</i>	50

<i>Individuos menores a 3 m.</i>	55
<i>Longitud final en lugar de la longitud inicial</i>	55
6.5 AUTOCORRELACIÓN DEL CRECIMIENTO.....	58
6.6 EFECTOS DE MICROSITIO Y VECINOS	59
7. DISCUSIÓN	67
7.1 MÉTODO	67
7.2 AUTOCORRELACIÓN.....	68
7.3 CRECIMIENTO EN RELACIÓN CON LA LONGITUD.....	69
7.4 CRECIMIENTO EN EL TIEMPO	72
7.5 DIFERENCIAS DE CRECIMIENTO ENTRE SITIOS.....	73
7.6 EDAD DEL CIRIO	76
7.7 EDAD DEL CIRIO MÁS ALTO	76
7.8 CRECIMIENTO EXPLICADO POR MICROSITIO Y VECINOS.....	78
7.9 IMPLICACIONES EN EL MANEJO	80
8. CONCLUSIONES	83
9. LITERATURA CITADA	85
APÉNDICE 1	91
APÉNDICE 2	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Sitios de estudio.....	20
Cuadro 2. Promedios y desviaciones estándar en el crecimiento anual así como resultados de la regresión longitud-crecimiento en cada sitio.....	42
Cuadro 3. Comparaciones múltiples del crecimiento por sitio por medio de la prueba de Tukey para muestras de diferentes tamaños. Se muestra el nivel de probabilidad y en negritas aquellos por debajo del nivel de significancia 0.05.....	46
Cuadro 4. Regresión longitud inicial-crecimiento para los datos agrupados por periodo de medición.....	48
Cuadro 5. Crecimiento anual promedio de individuos de un solo tallo para cada sitio o agrupaciones de sitios.....	53
Cuadro 6. Comparaciones múltiples de la proporción de individuos de un solo tallo por sitio. Con asterisco aquellas combinaciones que resultaron diferentes con un nivel de significancia de 0.05.....	56
Cuadro 7. Resultados de la regresión longitud final-crecimiento para los individuos de cada sitio.....	58
Cuadro 8. Características de algunos vecinos del cirio presentes en los sitios La Virgen C, Cataviñancito y San Luis.....	61
Cuadro 9. Resultados de la regresión múltiple considerando caliche, fisiografía y vecinos para explicar el crecimiento del cirio.....	66
Cuadro 10. Longevidad para varias especies de árboles de Baja California y algunas plantas del Desierto Sonorense.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El aspecto “prehistórico” del paisaje del desierto central se debe a los cirios, cardones y palmas. Foto por E. Goldman, 1905, cerca del actual Cataviñá.....	2
Figura 2. Uso del cirio en la construcción de un corral, al lado de la misión San Fernando Velicatá. Este uso se dio en varios ranchos pero solamente en los 1960/70s. Foto por S. Bullock, 1996.....	2
Figura 3. Distribución del cirio. Los sitio de “presencia registrada” son de Turner et al. 1995. Mapa modificado de Turner et al. 1995.....	7
Figura 4. Areas Naturales Protegidas en la zona de distribución del cirio. Los sitios de “presencia registrada” son de Turner et al. 1995 y de la base de datos de fotografías repetidas de Bullock et al. (sin publicar).....	18

Figura 5. Sitios de repetición fotográfica para el estudio del crecimiento del cirio. Ver también Cuadro 1.....	21
Figura 6. Medición de altura y longitud en un cirio con un solo tallo suculento y un cirio con tres tallos suculentos.....	28
Figura 7. Correlación de las estimaciones de altura en 1963 por medio de fotografía calibrada (1998) y por teodolito (1963).....	36
Figura 8. Altura y longitud de los cirios analizados por año de la fotografía antigua.....	37
Figura 9. Distribución de frecuencias de organismos con diferentes números de tallos en la muestra.....	38
Figura 10. Relaciones entre el número de ápices y la altura y longitud.....	39
Figura 11. Relación entre el diámetro de los cirios con la altura y longitud. El coeficiente de correlación (r) es de 0.883 para la altura y diámetro mientras que para longitud y diámetro es de 0.863.....	40
Figura 12. La longitud de las ramas laterales en relación con el cociente altura/dap y longitud/dap.....	41
Figura 13. Crecimiento anual de los individuos en cada sitio. En negro los individuos de un solo tallo y en blanco los de dos o mas tallos.....	43
Figura 13. (Continuación). Crecimiento anual de los individuos en cada sitio.....	44
Figura 14. Crecimiento anual de los individuos agrupados según el periodo en que fueron medidos.....	47
Figura 15. Crecimiento anual en el total de los individuos.....	49
Figura 16. Crecimiento anual en individuos de un solo tallo e individuos de dos o más tallos.....	51
Figura 17. Crecimiento anual y número de ápices de cada individuo.....	52
Figura 18. Crecimiento anual promedio por sitio y proporción de individuos de un tallo.....	54
Figura 19. Proporción de individuos de un solo tallo en cada sitio.....	54
Figura 20. Crecimiento anual a). en individuos menores de 3m (datos de Turner) y b). lo mismo presentado con el total de los individuos de este estudio.....	57
Figura 21. Autocorrelación del crecimiento en el cirio.....	60
Figura 22. Relación de vecinos arbustivos con el crecimiento del cirio.....	62
Figura 23. Relación entre las plantas no arbustivas y el área y tipo de suelo en que se encuentran.....	63
Figura 24. Relación del crecimiento del cirio con el tamaño de todos los vecinos competidores....	64

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas áridos de Baja California son reconocidos por su hermosa, extraña y abundante vida vegetal (Nelson 1922, Figura 1). Sin embargo, se conoce muy poco acerca de los patrones de vida y muerte de estas plantas. Esta región también está sujeta a una creciente demanda en el aprovechamiento de plantas silvestres (e. g. yuca, cirio y mesquite) así como en el desarrollo de la agricultura de riego y turismo de aventura (especialmente carreras en brechas). Los tomadores de decisiones y los dueños de la tierra no cuentan con estudios de largo plazo sobre los cuales basar las alternativas de uso y conservación. Por otro lado, la península es de alto interés científico como lugar de monitoreo de los efectos del cambio de clima, ya que se encuentra en los límites entre las influencias tropical y mediterránea (Hastings y Turner 1965b, Reyes y Rojo 1985) y por el hecho de tener un impacto humano relativamente bajo.

El cirio (*Fouquieria columnaris*) es probablemente la planta más notoria del Desierto Sonorense en Baja California (Shreve 1951, Humphrey 1974). Es tan peculiar en cuanto a su forma, fenología y distribución que despierta curiosidad tanto entre el público como en la comunidad científica (Humphrey 1974); es un atractivo turístico y símbolo de la península. Se le considera la planta de mayor altura en todo el Desierto Sonorense (Humphrey 1970, 1991). Además de ser notable en el paisaje, ha atraído la atención de la gente local y foránea por su madera para la construcción rústica y la decoración (Figura 2). Esto último genera una demanda para su explotación comercial. Sin embargo, por ser una planta casi exclusiva de Baja California, por su valor como parte del paisaje y por la falta de información básica que pueda sustentar normas de aprovechamiento, desde hace varios años que el gobierno no ha estado muy dispuesto a dar permisos para su explotación. De hecho, la especie está registrada en el Apéndice II de la Convención Internacional para el tráfico de flora y fauna silvestre (CITES). En ese apéndice se incluyen especies que, si bien en la actualidad no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, podrían llegar a esa situación a menos que el comercio en especímenes esté sujeto a una reglamentación estricta. Por esto mismo, el gobierno Mexicano a través de su programa de diversificación productiva

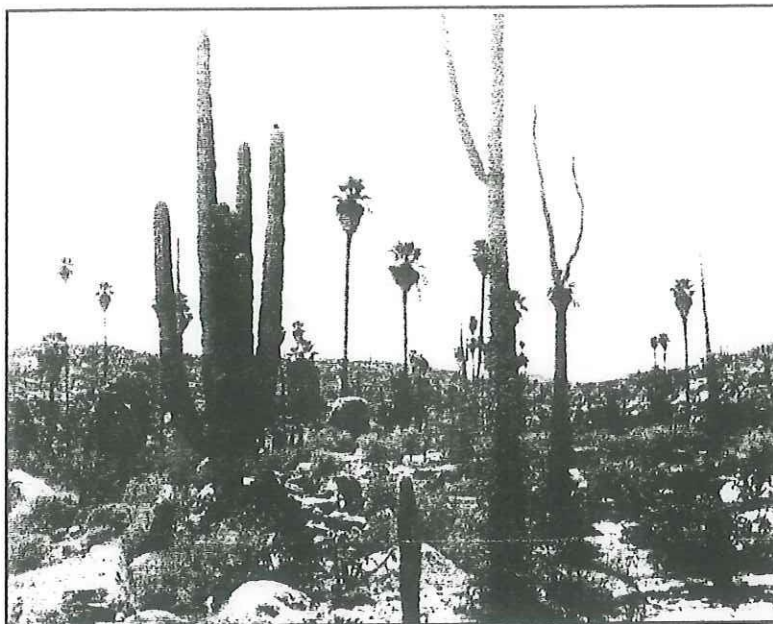


Fig. 1. El aspecto 'prehistórico' del paisaje del desierto central se debe a los cirios, cardones y palmas. Foto por E. Goldman, 1905, cerca del actual Cataviñá.

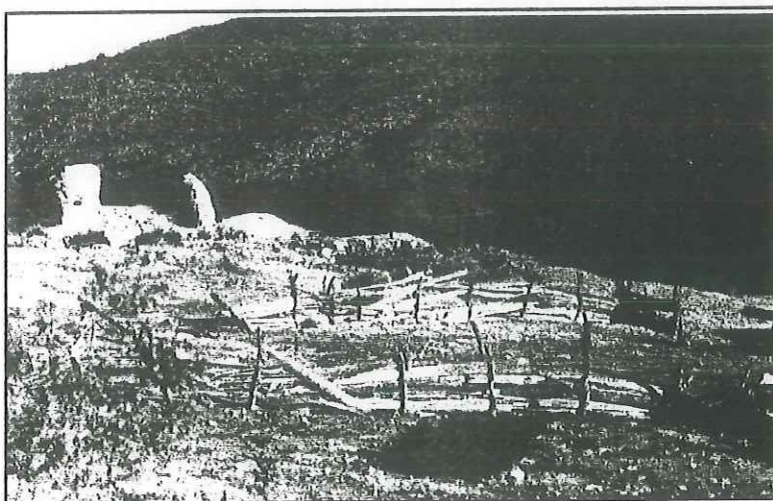


Fig. 2. Uso del cirio en la construcción de un corral, al lado de la misión San Fernando Velicatá. Este uso se dió en varios ranchos pero solamente en los 1960/70s. Foto por S. Bullock, 1996.

en el sector rural, la considera una de las especies prioritarias en cuanto a conservación y recuperación (INE-SEMARNAP 1997). También tuvo una consideración especial en el decreto que estableció la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre “Valle de los Cirios” (Diario Oficial, 2 de junio de 1980, Apéndice 1)

Otro de los factores que motiva cautela en cuanto al aprovechamiento del cirio es su lento crecimiento. Sobre este tema se ha publicado solamente un estudio, el cual estuvo restringido a dos sitios en Baja California, basado en una muestra de 19 cirios en total (Humphrey y Humphrey 1990). En ese trabajo se midió el crecimiento de las plantas ocasionalmente durante 17 años y se estimó que plantas de 13 m de altura podrían tener entre 360 y 500 años. Si el crecimiento del cirio es tan lento, herramientas o métodos de estudio histórico que abarcan varias décadas podrían ser de gran relevancia para el estudio de esta especie.

2. ANTECEDENTES

El cirio es de interés para la ciencia aplicada (INE-SEMARNAP 1997) y básica (Nilsen et al. 1990). El estudio más extenso que ha sido publicado contiene muchas observaciones importantes (Humphrey 1974, Humphrey y Humphrey 1990) pero todavía falta mucha información extensa y precisa sobre aspectos de su historia natural, crecimiento, mortalidad y reclutamiento. Asimismo, falta conocer su capacidad de respuesta a los impactos antropogénicos y la factibilidad de aprovechamientos forestales.

2.1 La técnica de la fotografía repetida.

Información más precisa sobre la dinámica de poblaciones de plantas en las zonas áridas de la península de Baja California, a plazo de varias décadas, es tema de un estudio emprendido en 1996 (Bullock et al. no pub.). Los datos se derivan de la técnica de la fotografía repetida. Esta técnica consiste en conseguir fotografías tomadas varios años atrás, localizar los sitios donde fueron tomadas –con una precisión de centímetros- volver a capturar las vistas y analizar las diferencias entre las fotos antiguas y actuales. De la base de fotografías repetidas en el desierto bajacaliforniano, los análisis de unos 53 sitios en cuanto a reclutamiento y mortalidad señalan una disminución muy notoria en las poblaciones de cirio, mientras la observación cualitativa de las mismas fotos sugiere que el crecimiento varía mucho entre individuos y sitios.

La técnica de la fotografía repetida ha sido aplicada a la investigación de cambios en paisajes debidos al pastoreo, incendios forestales, variación climática, sucesión ecológica, desarrollo urbano, construcción de presas, etc. (e. g. Hasting y Turner 1965a, Rogers et al. 1984), y en la dinámica de poblaciones sin perturbar (e. g. Turner 1990). Sin embargo, no existe ningún estudio publicado sobre su aplicación en el estudio de crecimiento de plantas.

2.2 La Familia Fouquieriaceae.

Fouquieriaceae es una familia pequeña restringida a zonas áridas de México y el sudoeste de Estados Unidos. De las once especies reconocidas, seis pueden considerarse

endémicas restringidas y el cirio no está entre ellas (Henrickson 1972). La familia se distribuye desde el oeste de Baja California, norte de Arizona y este de Texas hasta el sudeste de Oaxaca. Las especies del sur de México se encuentran en porciones áridas de la selva baja caducifolia.

La familia es distintiva por algunas características únicas, como es el tipo de desarrollo de las espinas (Henrickson 1972). La familia está caracterizada por una variedad de formas de crecimiento, desde arbustos leñosos pequeños hasta suculentas columnares. La forma básica de crecimiento, de arbustiva a árbol pequeño, ocurre en seis especies: *F. ochoterena*, *F. leonilae*, *F. macdougallii*, *F. diguetii*, *F. burragei* y *F. formosa*. Están caracterizadas por uno o más troncos basales que dan origen a una serie de tallos laterales ramificados y ascendentes. Una forma derivada es la forma de candelabro o hábito de crecimiento tipo ocotillo, que se caracteriza por un tronco robusto reducido que da origen a tallos ascendentes en forma de varas rectas. Esta forma ocurre en *F. splendens* y *F. shrevei*. Las tres especies restantes se distinguen por la presencia de reservorios de almacenamiento de agua del xilema central parenquimatoso. En *F. fasciculata* y *F. purpusii* el tejido suculento está restringido a la porción basal o central del tronco; las partes terminales son leñosas. El hábito de crecimiento del “cirio”, *F. columnaris*, es por mucho el más distintivo: el tronco central cónico y con adelgazamiento continuo es suculento desde la base hasta la punta o ápice.

La familia consiste de un solo género, *Fouquieria*, compuesto de tres subgéneros. Todas las especies no suculentas están dentro del subgénero *Fouquieria*, *F. fasciculata* y *F. purpusii* dentro del subgénero *Bronnia* y *F. columnaris* en el subgénero *Idria* (sensu Henrickson 1972).

2.3 El cirio

Distribución.

El cirio ocurre naturalmente sólo en una parte del desierto de la Península de Baja California, en una pequeña área de Sonora y en la isla Ángel de la Guarda (Turner et al. 1995). Es decir, está restringido no sólo al Desierto Sonorense (sensu Shreve 1951) sino a

una zona limitada de ese desierto. En Sonora la distribución es costera, su rango de norte a sur es de aproximadamente 48 km mientras que de este a oeste es una franja de alrededor de 3 km de ancho (Humphrey 1974). Las poblaciones de cirio en la Península de Baja California se encuentran discontinuamente en un área que va del noroeste al sudeste por cerca de 400 km y de este a oeste por 120 km (Figura 3). En la isla Ángel de la Guarda se encuentra sólo en las cimas y laderas expuestas al norte de los cerros más altos cerca de la punta norte (Moran 1983).

En su rango de distribución esta especie parece resistir sequías de primavera y verano, pero su supervivencia parece depender de la regularidad y la cantidad de precipitación en otoño e invierno (Warren 1979).

Los tallos.

Se reconocen cuatro tipos de tallos para *F. columnaris* (Humphrey 1935, Henrickson 1969): el tronco primario suculento, ramas axiales u ortotrópicas también suculentas, ramas laterales largas y ramitas cortas casi sin extensión de los entrenudos. Por motivos de claridad en este trabajo la referencia será de tallos suculentos o simplemente tallos a los dos primeros y como ramas laterales al tercero. Las ramas laterales son delgadas y presentan generalmente una orientación horizontal y es en ellas donde se desarrollan las espinas y las ramitas cortas que producen la mayoría de las hojas. En cambio los tallos suculentos son voluminosos y con una tendencia a crecer en forma vertical. Los individuos grandes logran diámetros de alrededor de 40 cm, siendo de 78 cm el diámetro más grande que se ha medido en el campo (Clark y Clark 1982). El tallo suculento tiene un cilindro con tejido lignificado, principalmente en el floema, que proporciona la resistencia como para que los individuos puedan lograr grandes alturas (Henrickson 1969). La parte central del tronco, como también un cilindro entre el floema y la corteza, es de tejido parenquimatoso de almacenamiento de agua. Como el tejido sólido forma sólo una pequeña porción dentro del tallo, la presión de turgencia en el interior del tejido suculento proporciona fuerza extra al tallo. Por ello, se supone que los tallos suculentos pueden colapsarse y doblarse hacia abajo como resultado de caídas fuertes en la turgencia, debidas a sequías o daños.

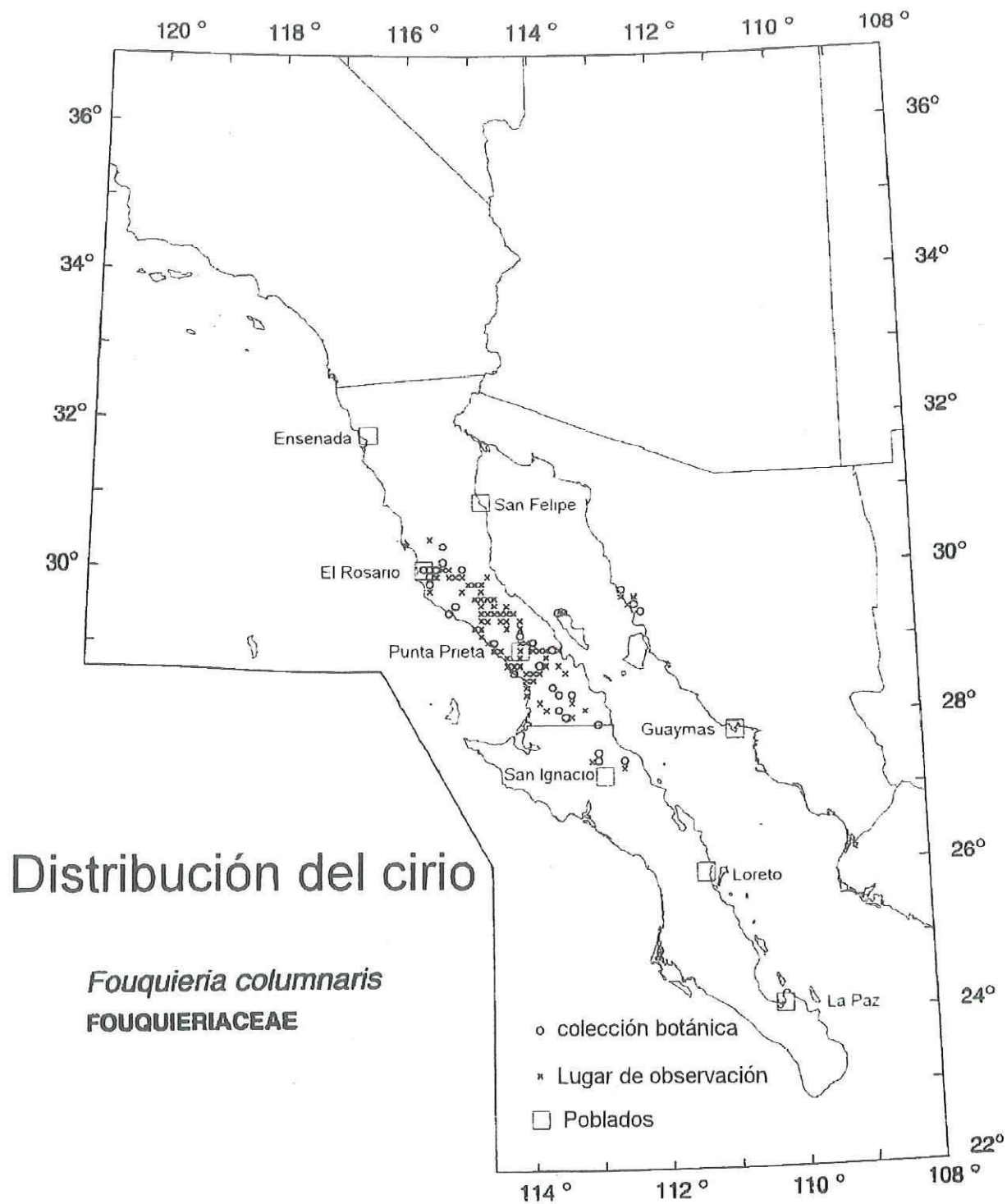


Figura 3. Distribución del cirio. Los sitio de "presencia registrada" son de Turner et al. 1995. Mapa modificado de Turner et al. 1995

Muchos individuos tienen un solo tallo suculento que se desarrolla de forma recta y completamente vertical, el cual presenta un continuo adelgazamiento de la base a la punta. De su apariencia deriva el nombre de “cirio”. Sin embargo, existen muchas variaciones de este patrón: muchas plantas crecen con dos o más tallos desde la base, otras presentan ramificaciones a diferentes alturas ya sea de una manera fortuita, o como resultado de la ruptura del tallo original, o siguiendo un patrón claramente dicotómico o de ramificación múltiple (Humphrey 1974). Asimismo, los tallos suculentos pueden ser curvos o presentar contorsiones originando una apariencia distinta a un cirio. De estos individuos deriva tal vez el nombre de “Boojum”*. Cabe señalar que hay grandes diferencias entre sitios o regiones en la altura de la planta (Humphrey y Humphrey 1969) y en su ramificación (lateral y axial). También se ha observado diferencias entre sitios en la tendencia de producir un solo tronco o dos o más troncos desde la base de la planta.

El contenido de agua del tallo suculento del cirio es mayor que el de otras plantas de tallo “suculento” como *Bursera microphylla* y *Pachycormus discolor* y en cambio es parecido al de las cactáceas: en el cirio es de 3.6 kg H₂O/m³ en comparación con 4.2 para *Pachycereus pringlei* y 3.2 para *Opuntia cholla* (Nilsen et al. 1990).

Producción de hojas, flores y frutos.

F. columnaris puede producir más de una cohorte de hojas por año. El crecimiento de las hojas puede ocurrir en cualquier época del año y es controlada principalmente por la humedad del suelo. Las condiciones apropiadas para producir hojas generalmente son durante la temporada de lluvias de invierno y en algunas ocasiones después de lluvias de verano excepcionalmente favorables (Humphrey 1974).

El cirio tira sus hojas generalmente entre mediados de marzo y mediados de abril, dependiendo de la eficiencia de las lluvias invernales (Humphrey 1974). Sin embargo, se han observado individuos con cierto número de hojas por períodos más largos.

* El nombre fue acuñado por un botánico en 1922 cuando vió por primera vez a *F. columnaris* y la relacionó con el “boojum” una criatura mítica del cuento *The Hunting of the Snark* de Lewis Carroll.

Las flores generalmente se desarrollan en panículos originados en las puntas de los troncos suculentos o un poco más abajo pero muy cercanas a ellas. Los pedúnculos empiezan a crecer en el inicio de la sequía de primavera durante abril y continúan creciendo hasta junio. La mayoría de las flores abren durante julio, agosto y septiembre. La maduración de la semilla continúa hasta octubre y noviembre. Observaciones cualitativas sugieren que hay abundante producción de semillas aún en periodos en que ha habido poco o nulo crecimiento de los tallos suculentos (Humphrey 1974).

Las semillas son diseminadas por el viento. Las alas son pequeñas con respecto al tamaño de la semilla y por lo tanto es probable que las semillas generalmente caigan en una zona cercana a la planta. No hay estudios de la longevidad de semillas o la posible existencia de un banco de semillas en el suelo.

La altura en la cual sucede la primera floración de las plantas es variable entre sitios. En los sitios más pobres los individuos tienden a ser más pequeños durante la primera floración que los individuos en los sitios más favorables. Humphrey (1974) sugiere que la edad es el factor que determina la primera floración ya que los individuos de los sitios más favorables crecen más rápido que los individuos de los sitios más pobres.

Época de crecimiento de los tallos.

El crecimiento terminal de los tallos suculentos de juveniles y adultos ocurre sólo durante el periodo de finales de invierno y principios de primavera (febrero, marzo y abril), nunca durante el verano u otra época del año (Humphrey 1974). Por ejemplo: individuos que fueron trasplantados cerca de Tucson, Arizona, y que fueron mantenidos con humedad en el suelo durante un periodo de tres años mostraron crecimiento en el tallo suculento sólo durante el periodo invierno-primavera (Humphrey 1974). En cambio, las plántulas de menos de un año crecen en cualquier época del año.

Por otra parte, el crecimiento de las ramas laterales puede suceder en cualquier época del año; generalmente ocurre después de las lluvias invernales (entre los meses de febrero, marzo y abril) y en ocasiones en las de verano (entre julio y octubre).

Crecimiento y edad.

La cantidad de crecimiento suele ser muy variable entre sitios, entre individuos y en el tiempo. Después de inviernos lluviosos el crecimiento puede ser muy notable, hasta 18 cm en algunas plantas, mientras que después de inviernos con poca lluvia el crecimiento puede ser poco o aún nulo, incluso pueden presentarse años sucesivos sin crecimiento (Humphrey 1974, Humphrey y Humphrey 1990). Asimismo, Humphrey (1974) sugiere que el contexto geográfico es importante, que el crecimiento es más lento en sitios cercanos al Océano Pacífico o con suelos particularmente pesados.

En cuanto al crecimiento del cirio, los únicos datos que han sido publicados refieren a sólo 2 sitios y 19 plantas en Baja California y un sitio con 12 plantas en Sonora, en un lapso de 17 años (1969-86; Humphrey y Humphrey 1990). Las plantas en Baja California tenían una altura inicial de 2 a 12 m, mientras que en Sonora de 0.6 a 6.4 m y todos los individuos eran de un solo tallo suculento, sin ramificación. Por otra parte, en Sonora los registros fueron de anuales a bianuales mientras que en Baja California las visitas fueron más esporádicas generalmente de dos a tres años. De los datos reportados por el autor se observan 3 individuos de Sonora que no presentaron crecimiento durante 4 años (1973-1977) mientras que en Baja California más del 70% de las plantas no creció de 1970 a 1972 y como el 40% de 1980 a 1982. En contraste hubo periodos de buen crecimiento como de 1977 a 1980 y de 1982 a 1985 con algunos individuos creciendo alrededor de 10 cm anualmente.

Humphrey y Humphrey (1990) estimaron las tasas de crecimiento para cada individuo para todo el lapso de tiempo (17 años). Las tasas variaron desde 1.44 cm por año hasta 7.9 cm por año con un promedio general de 3.5 cm por año. Por otra parte, no se encontraron correlaciones lineales significativas entre la altura de la planta y la tasa de crecimiento del cirio; a pesar de este resultado sugieren que entre más alta es la planta menor es su tasa de crecimiento, esto porque observaron coeficientes de correlación negativos (no significativos). A pesar de las limitaciones y variabilidad en los datos, Humphrey en 1974 sostenía que los cirios crecen más rápido entre las tallas de 0.9 a 3 m mientras que Turner et al. (1995) mencionan que el cirio crece más rápido (4-5 cm/año) a

alturas de 2.5 a 3.5 m; estos últimos autores basan sus comentarios en investigaciones en proceso y que aún no han sido publicadas.

Asimismo, Humphrey y Humphrey (1990) mencionan que las tasas de crecimiento son extremadamente lentas durante los primeros años de establecimiento, aunque no presentan datos ni hay otro trabajo publicado para sostener esta aseveración. En un trabajo previo, Humphrey (1974) comenta que no se ha estudiado la tasa de crecimiento de plántulas en su ambiente natural pero que se han hecho varias observaciones sobre individuos transplantados. Presenta información sobre el desarrollo de tres plántulas transplantadas cerca de Tucson, Arizona: esos individuos lograron una altura de 3.5, 5.3 y 5.5 cm en 7 meses desde la germinación.

Por otro lado, la determinación de la edad del cirio es difícil. En organismos que presentan rasgos anatómicos o morfológicos confiablemente anuales la estimación de la edad se obtiene directamente de esos rasgos (Keeley 1993, Rundel et al. 1995), pero para organismos que no los tienen, como el cirio, la relación del crecimiento (en altura, longitud o diámetro) permite estimar edades (p. e. Piñero et al. 1984, Lieberman y Lieberman 1985, Parker 1988, Humphrey y Humphrey 1990, Pierson y Turner 1998). Así, para el cirio la estimación indirecta de la edad se ha hecho por extrapolación del crecimiento en altura o longitud de sus troncos suculentos (Humphrey y Humphrey 1990). De esta manera se ha llegado a estimar que plantas de cirio de 15 m de altura pueden tener de 500 a 600 años (Humphrey y Humphrey 1990, Turner et al. 1995). No se ha estimado su longevidad por carbono-14 dadas unas incertidumbres sobre detalles anatómicos del crecimiento y los daños que causaría.

2.4 Crecimiento en otras especies.

En el sahuaro, una cactácea columnar gigante (*Carnegiea gigantea*), se ha observado que el crecimiento de la planta depende del tamaño del individuo (Steenbergh y Lowe 1977). Entre los individuos de pocos centímetros hasta los dos metros el crecimiento aumenta conforme aumenta la altura. En cambio en los individuos de 2 m en adelante el crecimiento es menor conforme se tiene mayor altura. Esto se atribuye a que a alturas de

alrededor de los 2 m se presenta la primera floración, y desde esa edad en adelante se invierten recursos no sólo al crecimiento sino también a la reproducción. Sin embargo, ese máximo también es consecuencia de la forma de medir tamaño ya que se refiere al crecimiento del tronco principal sin considerar el crecimiento de los brazos, como podría ser el caso en el cirio. Cuando se suma el crecimiento de los brazos del sahuaro al crecimiento de su tronco principal el máximo no se presenta; el aumento en el crecimiento es continuo aunque con variaciones en la pendiente de la curva (Steenbergh y Lowe 1983).

2.5 Factores que afectan el crecimiento.

El crecimiento de plantas leñosas, igual que el de otros organismos, es controlado por su herencia y el ambiente, operando juntos a través de sus procesos fisiológicos (Kozlowski et al. 1991). En algunas especies se ha notado variaciones genéticas entre individuos en cuanto a forma de la planta, tamaño que alcanza, densidad de la madera, longevidad, retención de las hojas, tolerancia a la sequía y resistencia a las plagas y enfermedades. Estas características están relacionadas entre sí y con el crecimiento, por lo que se puede aseverar una compleja influencia de la genética en la variación del crecimiento entre individuos. Por otra parte, el medio ambiente determina la extensión en que se manifiestan las potencialidades hereditarias de la planta, así en plantas de la misma especie existen diferencias en tamaño en plantas creciendo en suelos húmedos y fértiles o en secos e infértiles.

Los requerimientos medio ambientales para el crecimiento son pocos y sencillos. Sin embargo, el crecimiento de los árboles es limitado más a menudo por condiciones ambientales desfavorables que por limitaciones en la capacidad de los procesos fisiológicos (Kozlowski et al. 1991). El crecimiento de las plantas leñosas está influenciado por una gran variedad de estreses ambientales bióticos y abióticos. Los principales factores abióticos incluyen sequía, baja fertilidad del suelo, pobre estructura del suelo, extremos de temperatura, contaminación, fuego y viento. Los principales factores bióticos incluyen competencia entre las plantas, ataques de insectos, enfermedades, actividades de humanos y

herbivoría. Algunos factores limitantes ambientales actúan persistentemente o crónicamente mientras que otros ocurren azarosamente en cortos periodos de tiempo.

El control ambiental del crecimiento es complejo y es difícil de cuantificar el impacto de un solo factor ya que el crecimiento de las plantas es la respuesta integrada a las influencias de numerosos estreses continuos y periódicos (Kozlowski et al. 1991). Además, en las plantas leñosas grandes, las plantaciones experimentales requieren de mucho tiempo y espacio, mientras que extrapolación de este tipo de estudios a las condiciones naturales es problemático. Por ello, para el caso del cirio, es importante comparar el crecimiento de individuos de un mismo lugar con la integración de algunas variables relevantes del micrositio individual como pueden ser: posición fisiográfica, presencia de capas duras en el suelo, pedregosidad y profundidad del suelo, competencia por vecinos, entre otros.

El agua y sobre todo la humedad del suelo es el parámetro ambiental que más afecta el crecimiento de las plantas en el desierto (Fuller 1974, Ehleringer 1985). La cantidad de agua acumulada en el suelo depende no solo de la cantidad de agua que se percola de la superficie después de una lluvia sino también de la cantidad evaporada de la superficie del suelo. El hecho de que el agua se quede en la superficie y se exponga a una mayor evaporación o que penetre a mayor profundidad y se evite, hasta cierto grado, la evaporación depende de la textura del suelo. Así, un suelo arcilloso será el hábitat más seco mientras que el arenoso garantizará un mejor suministro de agua para las plantas en los desiertos (Walter y Stadelmann 1974). Asimismo, el suelo en las grietas de las rocas puede contener mayor humedad si la lluvia penetra fácilmente dentro de las grietas y suficiente cantidad de suelo está presente dentro de ellas para retener el agua.

Por otro lado, se reconoce que la infiltración y acumulación de agua en el suelo depende no sólo de la textura sino también de la posición fisiográfica y geomorfológica del sitio, de las características superficiales y de la vegetación (Noy-Meir 1973).

Características de la vecindad en cuanto a otras plantas puede ser un factor que afecte notablemente el crecimiento de un individuo en particular. En general las plantas grandes captan más recursos y modifican el ambiente de plantas pequeñas reduciendo los recursos disponibles (Ford y Sorrensen 1992). Sin embargo, hay que enfatizar que el tamaño

por sí solo es insuficiente para describir el estado competitivo de una planta, y que este depende también del espacio ocupado, o bien de la distancia a la que se encuentran los vecinos.

Al decrecer la densidad de la cobertura vegetal, las plantas se encuentran más separadas. Así cada una tiene más área y/o volumen de suelo disponible y un sistema radicular más grande que puede desarrollar más extensivamente horizontalmente (Walter y Stadelmann 1974). Los sistemas radiculares se hacen más largos a medida que es mayor la aridez.

Por otro lado, no todas las plantas compiten entre sí. Variaciones espacio-temporales en la humedad del suelo y la correspondiente adaptación de las plantas en cuanto a la estratificación de las raíces y sus ciclos de actividad, permite la coexistencia de muchas especies (Noy-Meir 1973). Por ejemplo, Yeaton y colaboradores (1977) encontraron que diferencias en la profundidad de las raíces hacen que la competencia interespecífica sea reducida y se permita una coexistencia más cercana entre ciertas especies.

En los desiertos la competencia es menor en comparación con otros biomas. Algunos autores argumentan que los principales problemas de las plantas del desierto no son con sus vecinos sino con su ambiente (Ehleringer 1985). Tal vez es mejor decir que entre más árido esté el sitio menos sería la importancia de la competencia. Por ejemplo, en el sahuaro se ha observado que en condiciones ambientales desfavorables son las características físicas del ambiente las que limitan la densidad de las poblaciones mientras que en las condiciones favorables son la presencia de otras plantas (Niering et al. 1963).

2.6 Aplicación del estudio del crecimiento al manejo forestal.

Información sobre el crecimiento de los individuos y el comportamiento demográfico de las poblaciones es de vital importancia para el aprovechamiento de cualquier especie en su ambiente natural. Por ejemplo, en el caso del manejo forestal la respuesta a la pregunta: ¿cuándo hay que cortar los árboles?, es una cuestión capital y está determinada en gran medida por las características del crecimiento de los árboles.

Por otro lado, es importante conocer la variabilidad del crecimiento en el campo para establecer los sitios de aprovechamiento. Por ejemplo, Mesón y Montoya (1993) sostienen que los métodos de corta son aplicables sólo en aquellas condiciones en las que los arbolados se comportan como recursos renovables, es decir, cuando su regeneración es asegurable o, al menos, previsible. Ciertamente que muchas veces lo son; pero existen circunstancias de muy difícil regeneración- peñascales, pedregales, crestas muy batidas por los vientos y ventiscas, zonas límites altitudinales del bosque, etc.- en las que no debe cortarse bajo ningún concepto; pues, aunque los beneficios teóricamente producidos se reduzcan con el tiempo, peor sería la desaparición misma y definitiva del arbolado. Sólo puede regenerarse y por lo tanto cortarse lo que realmente se puede regenerar.

En la Ley Forestal de México se menciona que el programa de manejo forestal deberá contener por un lado los estudios dasométricos del área y por el otro las técnicas que se utilizarán en el aprovechamiento y la referencia a los ciclos de corta de acuerdo con los principios de manejo forestal sustentable que se establezcan en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). En una de ellas, en la NOM 005-RECNAT-1997 que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal, se presentan algunas definiciones (punto 2) entre las que sobresalen las siguientes:

- Madurez de cosecha: es el conjunto de características específicas de cada planta, que determina el momento adecuado para realizar su aprovechamiento en forma sostenible, y se identifica por su etapa de desarrollo y dimensiones.
- Madurez reproductiva: se refiere a la etapa o periodo, en que la planta alcanza las condiciones óptimas para su reproducción sexual.

En la misma NOM, en cuanto a la información que deberá presentar el dueño o poseedor del predio en la notificación (punto 3.1.2), sobresalen los siguientes rubros:

- Descripción de los criterios de madurez de cosecha y reproductiva y las técnicas de aprovechamiento de cada especie.

- La definición y justificación del periodo de recuperación al que quedarán sujetas las áreas intervenidas de acuerdo a las características de reproducción y desarrollo de las especies bajo aprovechamiento.

Asimismo se presentan algunos criterios y especificaciones técnicas para varias especies en el punto 3.1.8 y en el 3.1.9 se establece que para especies no mencionadas el responsable técnico establecerá los criterios y especificaciones técnicas en la notificación respectiva.

Cabe destacar que para el caso del cirio falta información técnica para establecer criterios de madurez de cosecha, reproductiva y los periodos de recuperación.

2.7 Historia del manejo del cirio

Ante la falta de información pública compilada o al menos archivada sobre el manejo del cirio, todavía no es posible presentar una síntesis confiable de los hechos históricos ni es conveniente comentar la visión que sobre el asunto tienen funcionarios gubernamentales, técnicos forestales y ejidatarios.

En la década de los 70's hubo cierta explotación del cirio para uso local y para comercialización en México y en el extranjero. Actualmente no parece haber actividad sistemática, aunque ha habido solicitudes de permisos en años recientes. El aprovechamiento del cirio ha sido básicamente sobre madera muerta y a baja escala, casi rudimentario.

En 1980 el cirio recibió mención particular con el decreto presidencial que estableció la Zona de Protección Forestal y Refugio de la Fauna Silvestre: Valle de los Cirios (Diario Oficial, 2 de junio de 1980). Este decreto afectó la región comprendida entre los paralelos 28 y 30 y los meridianos 113 y 116. Asimismo, el 29 de julio de 1983 el cirio fue incluido en el apéndice II de la CITES para tener un control estricto en su tráfico internacional. Con estos dos eventos, la explotación cesó casi por completo, a excepción de sólo dos permisos que se han otorgado en años recientes para la explotación de madera muerta y en poco volumen.

En 1994, el Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAP contrató un estudio en donde se propone una redistribución de la zona de protección "Valle de los Cirios" en

cinco regiones de menor tamaño. Sin embargo, no parece haber documentos oficiales al respecto, ni se conoce de algún plan o acciones de manejo formalizadas.

En 1997, en el programa de diversificación productiva en el sector rural, al cirio se le menciona como una de las especies prioritarias para programas de conservación y recuperación (INE-SEMARNAP 1997). En ese programa se sugieren los siguientes elementos para el proyecto de recuperación:

- Crear el Comité Consultivo Técnico con expertos de cirios.
- Realizar el diagnóstico sobre el estado actual de sus poblaciones en Baja California y Sonora.
- Impulsar un acuerdo de cooperación entre las universidades de Baja California y Sonora para el desarrollo conjunto de proyectos de conservación y aprovechamiento.
- Fomentar la instalación de UMA y unidades comercializadoras.
- Realizar estudios poblacionales y planes de manejo para aprovechamiento bajo el esquema de UMA.
- Impulsar acuerdos con las delegaciones de la SEMARNAP y PROFEPA para la vigilancia del recurso.

A partir de 1998 el departamento de Areas Naturales Protegidas de la Delegación de SEMARNAP en Baja California ha estado trabajando en un diagnóstico de la zona de protección “Valle de los Cirios” (Aguilar-Rodríguez com. pers.).

Actualmente, en el área de distribución del cirio hay otros dos decretos de protección aparte del ya mencionado “Valle de los Cirios” (Figura 4). La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, que cubre la parte sur de la distribución del cirio, y La Zona de Reserva y Refugio de Aves Migratorias y de la Fauna Silvestre Islas del Golfo de California, que protege, entre muchas otras, a la Isla Angel de la Guarda lugar donde existe una pequeña población del cirio.

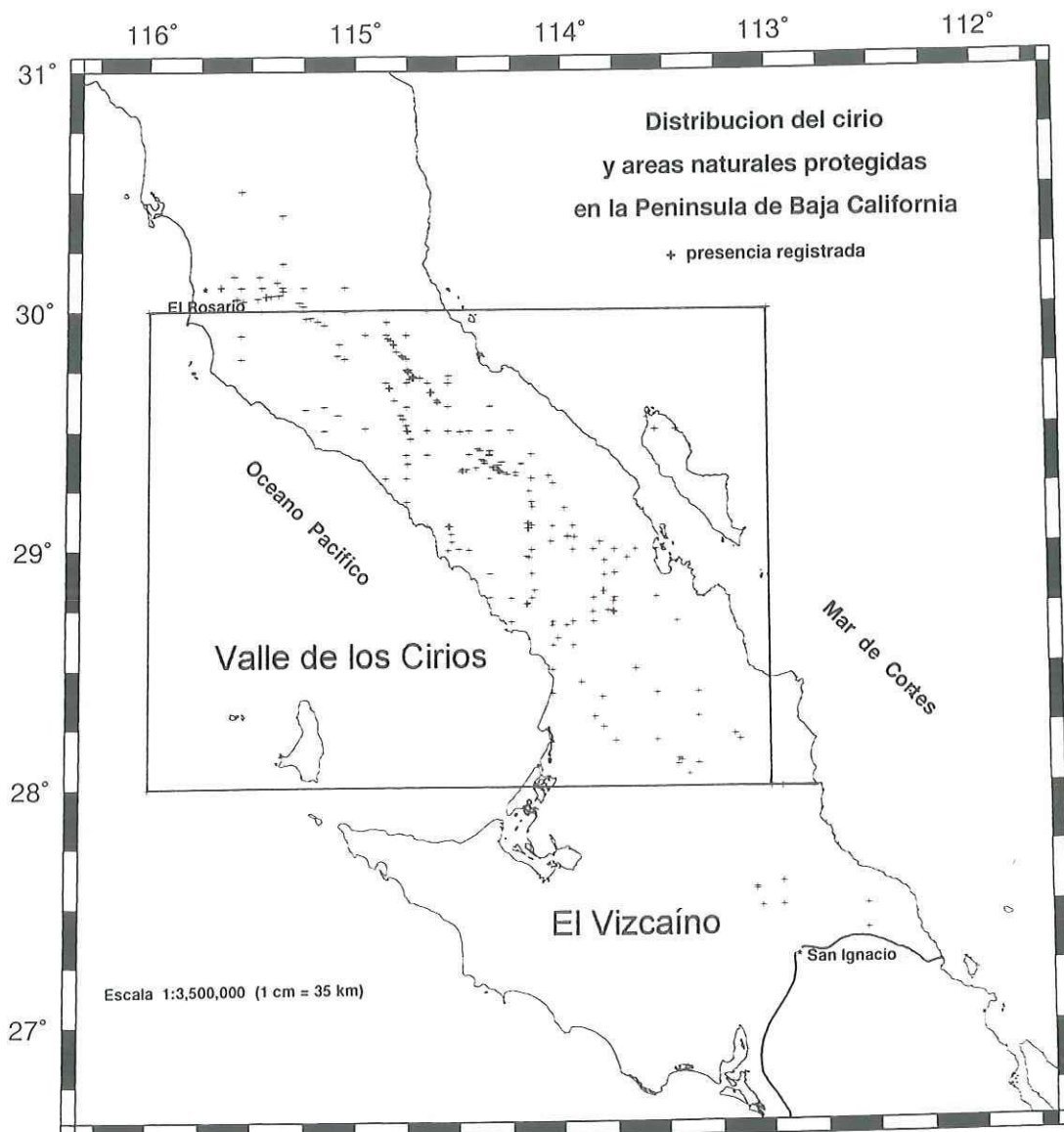


Figura 4. Areas Naturales Protegidas en la zona de distribución del cirio. Los sitios de “presencia registrada” son de Turner et al. 1995 y de la base de datos de fotografías repetidas de Bullok et al. (sin publicar).

3. OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Analizar el patrón de crecimiento en altura y longitud del cirio y su variación i) a través de la ontogenia de la planta, ii) entre individuos en un sitio, iii) entre sitios alejados y iv) a través del tiempo.

Objetivos secundarios:

- Presentar una técnica accesible, confiable y rápida para el estudio de crecimiento de plantas columnares con pocas ramificaciones y en paisajes abiertos.
- Analizar relaciones alométricas relevantes tanto para el conocimiento de la especie como para su manejo forestal.
- Generar información de largo plazo que contribuirá a hacer estimaciones más confiables de la edad del cirio.
- Describir condiciones del medio como posibles causantes de la variabilidad en el crecimiento.
- Analizar la relevancia de estas aportaciones en el contexto del manejo del cirio.

4. ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Sitios de muestreo

En este trabajo se estudiaron individuos de cirio de la región centro norte de su área de distribución en Baja California, entre 29.97° N y 29.11° N (Figura 5). La mayoría de los sitios se encuentran sobre una planicie con variados afloramientos de tonalita, entre 29.876°N y 29.627° (c. 25 km), a unos 45-60 km del Pacífico pero al oeste del parteaguas (Cuadro I).

Cuadro 1. Sitios de estudio.

Localidad	longitud	latitud N	Tipo de roca*	Número de cirios medidos	Año de la foto antigua	Periodo en años
San Fernando	115.215	29.973	Ignea extrusiva ácida y caliza	8	1963	35
Paso de Agua Dulce	114.827	29.876	Ignea intrusiva ácida	7	1905	93
El Llano	114.814	29.860	Conglomerado	9	1963	35
La Virgen A	114.800	29.828	Ignea intrusiva ácida	1	1905	93
La Virgen A	114.800	29.828	Ignea intrusiva ácida	6	1905	93
La Virgen B, 0.22 km S	114.801	29.827	Ignea intrusiva ácida	8	1949	49
La Virgen C, 0.25 km S	114.799	29.826	Ignea intrusiva ácida	15	1949	49
Cataviñá, cuadrante LC-1***	114.749	29.755	Ignea intrusiva ácida	11	1963	35
Cataviñancito	114.739	29.754	Ignea intrusiva ácida	5	1949	49
Arroyo San Luis	114.714	29.724	Ignea intrusiva ácida	7	1930	68
Jaraguay	114.603	29.627	Ignea intrusiva ácida	11	1930	68
La Rinconada	114.492	29.496	Ignea intrusiva, extrusiva y Caliza**	25	1963	35
Cuarzo	114.447	29.462	Ignea intrusiva ácida y Basalto**	8	1951	47
				121		

*Fuente: INEGI

**Obs. pers.

***Cuadrante permanente establecido por Hastings y Turner en 1963

Los datos del trabajo no publicado de Raymond Turner y colegas que se analizan en esta tesis provienen del sitio "Cataviñá, cuadrante LC-1" (Cuadro 1) y el cuadrante LC-3 adyacente (alrededor de 200 m al norte).

Los datos publicados de Humphrey y Humphrey (1990) que se reanalizan aquí provienen de los sitios La Turquesa (20 km al noreste de Chapala por el camino a San Luis Gonzaga) y La Víbora (probablemente por el camino que va a Bahía de los Ángeles) en Baja California y Punta Cirio en Sonora.

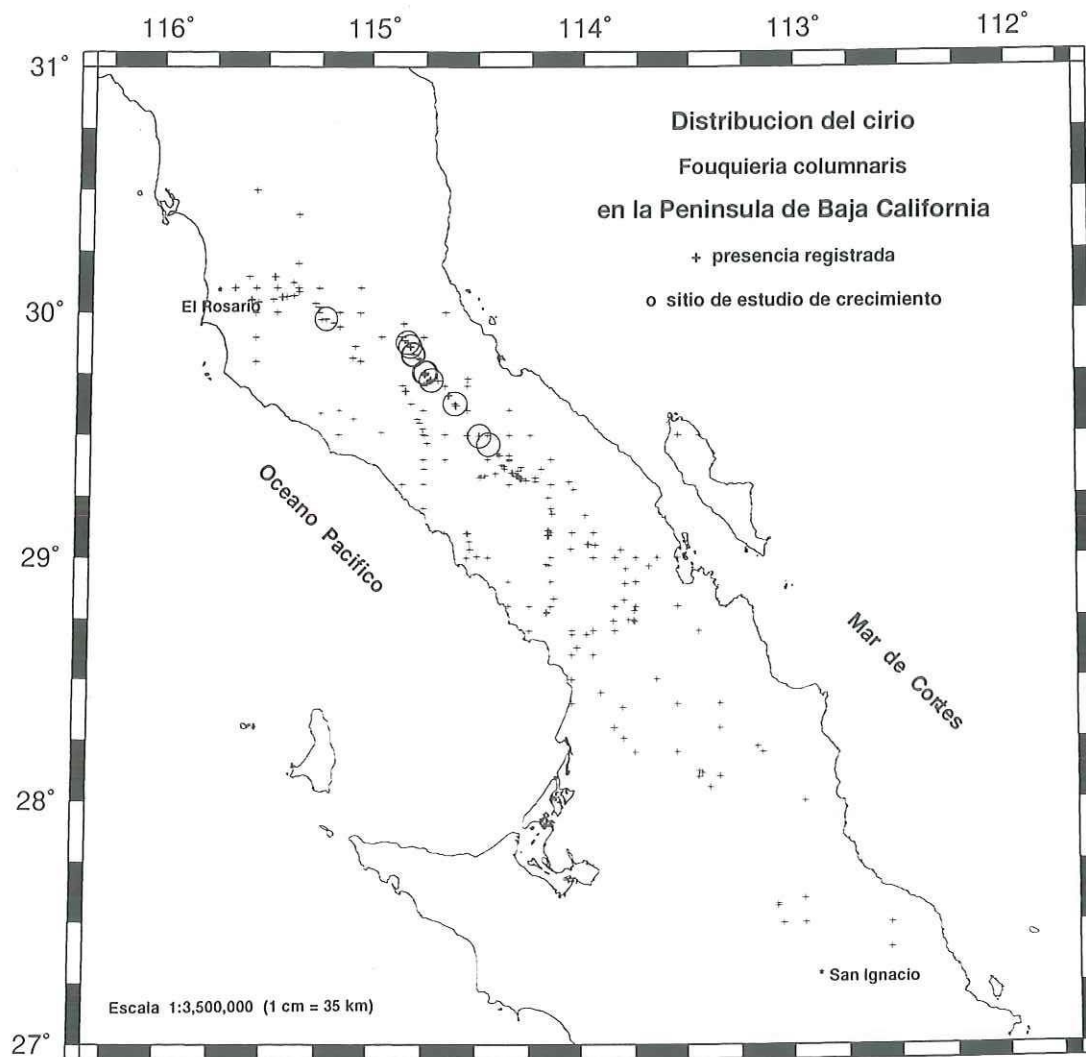


Figura 5. Sitios de repetición fotográfica para el estudio del crecimiento del cirio. Ver también Cuadro 1.

4.2 Ambiente físico regional

Geología

La geología de la península generalmente se divide en terrenos prebatolíticos, batolíticos y posbatolíticos (Gastil et al. 1975). En el área de estudio, el terreno prebatolítico es dominado por rocas volcanoclásticas y volcánicas mesozoicas metamorizadas de la Formación Alisitos. El terreno batolítico expuesto en Baja California es principalmente tonalita (73% por área), pero va en composición de granito a gabro. El terreno posbatolítico es dominado por rocas volcánicas del Mioceno-Plioceno, principalmente de composición riolítica-andesítica, y basalto y andesita basáltica del Plioceno-Pleistoceno.

Suelos

En los alrededores de la región de estudio se han llevado a cabo algunas investigaciones sobre las características de los suelos (Graham y Franco-Vizcaíno 1992; Franco-Vizcaíno et al. 1993). En uno de ellos, se analizaron los suelos derivados de rocas volcánicas, plutónicas y metavolcánicas (Graham y Franco-Vizcaíno 1992). Como el objetivo era analizar el intemperismo y pedogénesis *in situ*, sin influencia de acarreo horizontal, se eligieron sitios cercanos a las cimas. La combinación de su posición fisiográfica junto con el clima árido tienden a producir suelos poco profundos. Sin embargo, aún así se encontraron características de fuerte desarrollo morfológico, incluyendo horizontes eluviales, incremento de arcilla en el subsuelo, fuerte estructura prismática y de bloques, colores rojizos e iluviación. Los suelos derivados de materiales volcánicos fueron Paleargids con horizontes nátricos arcillosos, subsuelos salinos y horizontes petrocálcicos. Los suelos en las rocas metavolcánicas y granodiorita fueron Haplargids de textura franca o migajosa y no presentaron ni salinidad ni sodicidad y su naturaleza fue completamente no calcárea. Los suelos derivados de granodiorita tuvieron valores de pH tan bajos como 4.0. En el sitio de Tonalita (en la zona de La Virgen, 29°50'N, 114°47'W) la posición fisiográfica fue un poco diferente a las otras, más retirada de la cima sobre una pendiente suave; el suelo no presentó desarrollo morfológico y fue clasificado como Torripsamments típico con

textura arenosa. Este tipo de suelo en particular es el que está más representado en nuestros sitios de estudio (i.e. Agua Dulce, La Virgen A, B, C, LC-1, Cataviñancito, San Luis y Jaraguay). Su porcentaje de arena fue de 80 % en la capa de 0-4 cm y aumentó ligeramente con la profundidad; el contenido de arcilla también aumentó ligeramente hacia abajo mientras que el de limo disminuyó. El horizonte A (capa de 0 a 4 cm) presentó una débil estructura de bloques subangulares de finos a medios; en el horizonte C1 (capa de 4 a 23 cm) no hubo estructura desarrollada siendo masiva su agregación de partículas; el horizonte C2 presentó otra vez débil estructura de bloques subangulares finos. El pH fue casi uniforme en todos su horizontes, de 6.7 a 6.8; mientras que el contenido de sales resultó bajo como se indica por los valores de la conductividad eléctrica de 0.2 a 0.6 dS/m. Para el resto de los sitios que no cuentan con este tipo de suelo no hay estudios pedológicos relevantes publicados hasta la fecha.

Clima

La precipitación promedio anual en la región de estudio es de 80 a 160 mm y menor a 100 mm en la costa del Golfo de California (Reyes et al. 1990). El porcentaje que corresponde a la precipitación de invierno en el flanco oeste del Desierto Central es de 70-90 % mientras que en la costa del Golfo es del 40-60 %.

En la costa del Océano Pacífico, el clima es más fresco y con neblinas frecuentes, mientras que en la costa del Golfo de California, hay menos nubosidad, el clima es continental, es seco, más caliente en verano y más frío en invierno que en el lado oeste (Hastings y Turner 1965b).

Tormentas frontales de la corriente de chorro viniendo del noroeste o norte producen precipitación en invierno con alto grado de homogeneidad espacial en el nivel local, mientras que el flujo anticiclónico del monzón norteamericano produce lluvias en verano con gran variabilidad espacial (Hastings y Turner 1965b). Estas últimas son de diversos tipos meteorológicos pero derivadas de masas de aire cálido-húmedas de origen tropical o subtropical. Los eventos más notorios del monzón son los huracanes que pueden dejar, ocasionalmente, fuertes lluvias en la región (Court y Meskimen 1980).

Aunado a esa variabilidad espacial, existe una alta variabilidad interanual de la precipitación (Reyes y Rojo 1985). Esto se relaciona quizás a la influencia de fenómenos como El Niño y La Niña (Pavía y Badán 1998), y a lo azaroso de que una tormenta tropical precipite sobre esta región de Baja California (Court y Meskimen 1980).

A través de todo el rango de distribución del cirio, Warren (1979) encontró que durante las estaciones de otoño e invierno la regularidad y cantidad de la precipitación son más confiables que durante las otras dos temporadas.

4.3 Vegetación

Entre los desiertos de Norteamérica, el Desierto Sonorense es el que cuenta con mayor número y variedad de formas de vida y la mayor diversidad de comunidades vegetales (Shreve 1951). Shreve (1951) subdivide a este desierto en 7 regiones y reconoce como la Región del Vizcaíno al tercio central de la península que va desde El Rosario hasta San Ignacio y desde la costa del Océano Pacífico hasta el parteaguas cuya orientación sigue a lo largo del eje de la península; asimismo, se incluye también las planicies del Desierto del Vizcaíno (sensu Nelson 1921) que se encuentran en la proyección triangular de la península que da forma a la Bahía de Vizcaíno (estas planicies abarcan los alrededores de las lagunas Ojo de Liebre y San Ignacio y se extienden hacia el interior cerca de El Arco). En la Región del Vizcaíno abundan las plantas de hojas suculentas (e.g. géneros *Agave* y *Dudleya*) por lo que también Shreve (1951) lo designa como el desierto sarcofilo. Esta región junto con la costa del Golfo de California también se reconoce geográficamente como el Desierto Central de Baja California (Aschmann 1959). Lo que Shreve designa como Vizcaíno Norte y Vizcaíno Sur coincide más o menos con la distribución del cirio y es la zona que a continuación se describe. Las especies dominantes son *Agave cerulata*, *Ambrosia chenopodifolia*, *Fouquieria columnaris*, *Pachycereus pringlei*, *Larrea tridentata*, *Eriogonum fasciculatum*, *Pachycormus discolor*, *Opuntia spp*, *Yucca spp*. entre otros (Shreve 1951, Peinado et al. 1995, Zippin y Vanderwier 1994). La composición de especies es rica, sin embargo por la variedad de substratos geológicos y pedológicos y por las diferencias geomorfológicas, entre otras características, existen áreas de gran diversidad

vegetal que contrastan con zonas adyacentes de muy poca diversidad (e.g. Franco-Vizcaíno et al. 1993). De hecho, de todo el Desierto Sonorense ésta es la región de mayor contraste entre áreas muy ricas y muy pobres en riqueza vegetal (Shreve 1951). Peinado et al. (1995) mencionan a *Ambrosia chenopodifolia* y *Larrea tridentata* como las especies características en las zonas florísticamente pobres de esta región y a *Agave cerulata* y *Fouquieria columnaris* las de las ricas. Entre las zonas de mayor riqueza vegetal destacan las planicies de granito con sus grandes rocas claras y esa colección formidable de plantas singulares de diferentes formas de vida que dan a la zona una belleza especial de fama mundial. *Fouquieria columnaris* y *Pachycereus pringlei* a menudo alcanzan alturas de 14 m, y varios ejemplares excepcionales han sido medidos alrededor de 20 m (Shreve 1951).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Fotografía y mediciones

La forma tradicional de medir el crecimiento en plantas columnares del desierto (cardón, sahuaro, cirio, etc.) ha sido por medio de medición directa de la altura o longitud de varias plantas identificadas individualmente por marcaje o mapeo. Esta medición se repite varias veces a intervalos cortos (1 a 5 años; e. g. Humphrey y Humphrey 1990, Steenbergh y Lowe 1983, Parker 1988, Salazar com.pers., Clark com. pers.) o bien pocas veces en tiempos largos (de una a varias décadas) en lo que se conoce como cuadrantes permanentes (e. g. Pierson y Turner 1998). Cualesquier técnica requiere del paso de varios años para tener resultados confiables, a menos que el organismo presente rasgos anatómicos o morfológicos confiablemente anuales (Keeley 1993, Rundel et al. 1995). En este trabajo se presenta una técnica rápida para estudiar el crecimiento de plantas columnares de lento crecimiento de zonas áridas.

En el grupo de ecología de la vegetación terrestre del CICESE se cuenta actualmente con una colección de más de 360 pares de fotos del desierto bajacaliforniano. Cada par se refiere a una foto antigua (ya sea de principios de siglo como el año 1905 o años como 1930 ó 1963) y a una foto reciente (1996, 1997 ó 1998) tomada en el mismo lugar y exactamente repetida en cuanto al encuadre del paisaje. De esos pares de fotos se eligieron 13 pares que correspondían a la parte media de la península entre San Fernando y Laguna Chapala, y en las que se presentaban cirios de nitidez suficiente como para medir su altura y longitud en la misma foto. El hecho de trabajar una parte limitada del área de distribución del cirio obedeció por un lado a cuestiones logísticas y por otro a trabajar con menor variabilidad, de la de por sí grande, en el crecimiento del cirio. Las fotos correspondieron a lugares con algunas variaciones en cuanto a pendientes, tipo roca y profundidad del suelo. El número de fotos o de sitios fue decidido con base en el número total de cirios que se podían medir.

Una vez elegidas las fotos o los pares de fotos se visitó cada sitio, se tomó una foto nueva y se procedió a la determinación directa de la altura y longitud de cada cirio. Las mediciones se realizaron con una pértiga de plástico telescópica con pico horizontal. La

altura se refiere a la distancia del suelo a la punta del tallo suculento más alto. Para su determinación se colocó la pértiga a un lado de ese tallo y se extendió hasta que el pico se hizo descansar sobre el ápice del tallo. La longitud se refiere a la suma de la altura con los largos del resto de los tallos suculentos de ese cirio. Para su determinación la pértiga se colocó a un lado de los otros tallos suculentos y se midió la distancia del suelo a la base de cada tallo, es decir justo en la ramificación, y la distancia del suelo al ápice de ese tallo; por diferencia se obtiene la longitud o tamaño de ese tallo suculento en particular y con la suma de las medidas de los demás tallos y la altura se obtiene la longitud total del cirio. Así, para cirios con varios tallos suculentos la longitud es mayor que la altura, mientras que para cirios con un solo tallo suculento la medida es la misma (Figura 6).

Durante la medición de la altura y longitud de cada cirio se hicieron algunas medidas de referencia a puntos del campo que eran notables tanto en la foto antigua como en la reciente. Un observador posó su barbilla en el tripié de la cámara fotográfica para igualar la posición de sus ojos con la posición de la lente de la cámara cuando fue tomada la foto. De esta manera se lograba observar las características del paisaje con la misma distribución en que se ubican en la foto. Otra persona con la pértiga a un lado del cirio y siguiendo las indicaciones del observador, extendía la pértiga hasta que su pico coincidía exactamente con algún rasgo del paisaje en particular. Estos rasgos fueron marcados en una copia de la fotografía antigua por el observador en el tripié, así como también el número correspondiente a cada planta medida. Los puntos de referencia sirvieron para obtener una escala de los tamaños verdaderos en el campo en relación con los tamaños relativos en las fotos, tanto en las nuevas como en las antiguas. Esto se hizo con cada cirio en cada una de las fotos elegidas.

Las fotos en el campo se tomaron de tal manera que la posición de la cámara para la foto actual estuviera dentro de errores de nivel de centímetros en comparación con la posición de la cámara durante la exposición de la foto antigua. De esta manera las características paisajistas son equivalentes en ambas fotos y es posible empalmarlas en el momento de la proyección para hacer la impresión. La impresión de las fotos se hizo proyectando el negativo sobre la misma foto antigua para ajustar la altura del proyector de

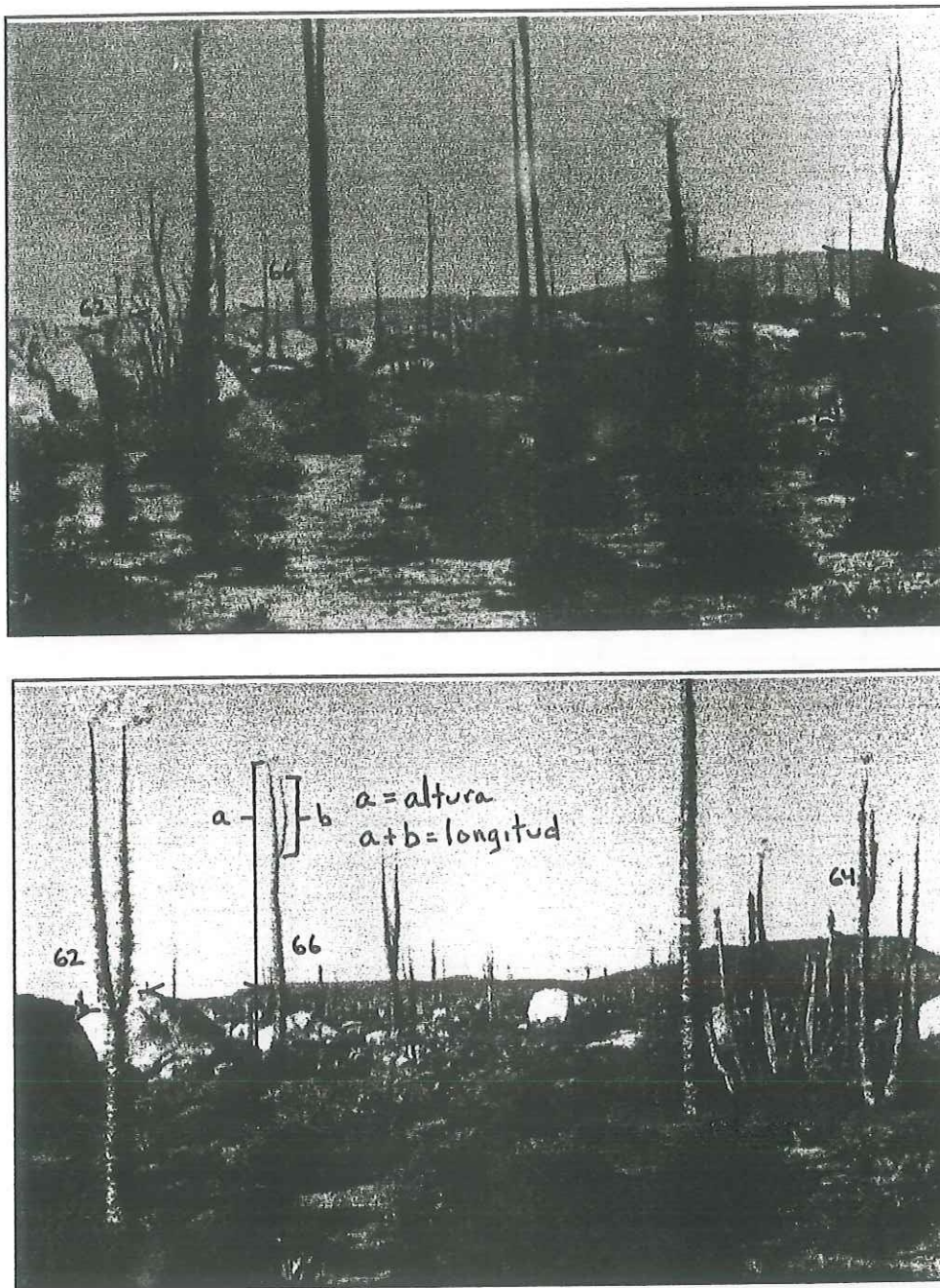


Fig. 6. Uno de los sitios de estudio cerca de La Virgen. La foto de arriba fue tomada en 1905 por E. Goldman; la de abajo en 1998 por M. Escoto. Las marcas en la foto de abajo indican puntos de referencia que sirven para calibrar la escala apropiada a una planta particular. Se señala la medición de altura y de longitud.

tal manera que la impresión de la foto actual sea al mismo tamaño, escala y encuadre que la foto antigua. Por ello, cuando las fotos son escaneadas a una misma resolución tendrán el mismo número de píxeles por característica del paisaje que no haya cambiado con el tiempo.

Las mediciones en las fotos fueron hechas sobre imágenes escaneadas con la ayuda del programa de computo Scion Image de Scion Corporation, una modificación del programa Image de los Institutos Nacionales de Salud ("NIH") de E.U.A.

Una vez obtenidas las longitudes actuales y antiguas es posible calcular el incremento anual promedio mediante la relación:

$$\text{Crecimiento anual} = \frac{Long_2 - Long_1}{t_2 - t_1}$$

Donde $Long_2$ es la longitud actual medida en el campo, $Long_1$ la longitud antigua estimada en la fotografía antigua calibrada, t_2 año de medición en el campo y t_1 año de la fotografía antigua.

En el campo se midieron las alturas y longitudes de 158 individuos pero por dificultades en la medición en la fotografía antigua (ver resultados, punto 6.2) sólo fue posible estimar el crecimiento anual de 121 cirios. De hecho se midieron algunos individuos de más ya que se tenía la duda si era posible medirlos en la foto antigua. Esto fue parte del proceso de establecimiento de la técnica de trabajo. El número de individuos por sitio está señalado en el Cuadro 1.

5.2 Uso de datos sobre crecimiento del cirio generados por otros autores

Comparación de métodos

Hastings y Turner establecieron cuatro cuadrantes permanentes en 1963 en Baja California (Turner, datos no pub.). Entre otras cosas ellos midieron con un teodolito las alturas de todos los cirios que estaban dentro de los cuadrantes y tomaron algunas fotografías de los sitios. Gracias a ese antecedente y a la obtención de las fotos y datos, en el presente trabajo fue posible hacer una verificación de la estimación de las alturas antiguas por fotografía calibrada con las alturas obtenidas por medición con teodolito. Se eligió una

foto de Turner y Hastings y se midieron los cirios disponibles en la foto; en total fueron 11 cirios en los que se pudieron estimar sus alturas con la fotografía antigua calibrada, éstas se compararon con las medidas obtenidas en el campo en el mismo año.

Autocorrelación en el crecimiento

Se analizaron los datos reportados por Humphrey y Humphrey (1990) para 29 cirios de Sonora y Baja California. Los cirios fueron medidos de una manera discontinua durante 17 años (1969-1986): en algunos casos se midieron cada año (sobre todo en Sonora), mientras que otras veces cada dos o tres años, y hubo una ocasión en que se tardó cinco años en volverlos a medir (en Baja California). Los autores reportaron las mediciones de cada individuo en cada visita por lo que fue posible el análisis de su información. Se obtuvo el crecimiento anual para cada intervalo de medición en cada individuo. En los casos en que el lapso de tiempo fue de dos o más años se obtuvo el incremento anual promedio. Se organizaron los datos por pares en dos columnas; en la primera el incremento anual de cada individuo en un lapso de tiempo i y en la segunda sus respectivos incrementos anuales para el lapso de tiempo $i+1$; enseguida en la misma primera columna se añadió el incremento anual promedio en el lapso $i+1$ para cada individuo y en la segunda sus respectivos incrementos anuales para el lapso $i+2$, esto se hizo sucesivamente hasta completar todos los intervalos de tiempo. El análisis de correlación entre los datos de ambas columnas permite conocer si existe autocorrelación en el crecimiento del cirio. También se analizó la autocorrelación para intervalos más largos que los medidos en el campo por los autores, es decir, uniendo dos o más intervalos; esto para atenuar los errores de medición que hayan tenido los autores, ya que en lapsos cortos de poco crecimiento se manifiestan más fuertemente cualquier error de medición.

La autocorrelación se refiere a que los individuos con las mayores tasas de crecimiento en un periodo dado, vuelven a ser los de mayores tasas en un periodo posterior y lo mismo sucede para individuos con tasas intermedias y bajas. Es decir, mantienen su posición con respecto a los demás en cuanto a velocidad de crecimiento.

Los datos de Turner y Hastings (no publicados) de su sitio cerca de Cataviñá permitieron analizar la autocorrelación (1963-1967 a 1967-1971) como también el crecimiento de individuos chicos, en particular para individuos con un solo tallo suculento y de menos de 3 m de altura en la primera medición.

5.3 Relaciones dimensionales del cirio

Las medidas actuales de longitud, altura y número de tallos en los 158 cirios considerados en el campo sirvieron para hacer algunos análisis de sus relaciones dimensionales.

Por otro parte, se tomaron otras mediciones morfométricas en sólo cuatro sitios (Agua Dulce, La Virgen C, Cataviñancito y San Luis). Los sitios fueron seleccionados por tener el mismo tipo de roca y por estar relativamente cercanos entre ellos. En total fueron 31 cirios y las variables fueron diámetro del tallo suculento y longitud de las ramas laterales.

Con un compás forestal se midió el diámetro del tronco a 0.5 y a 1.5 m sobre el nivel del suelo. Mientras que con una cinta métrica se midió el largo promedio de las ramas que se encontraban alrededor de 1-1.5 m de altura. Asimismo, se hicieron algunas otras observaciones como la distribución de ramas laterales sobre el tronco, daños a la planta, y presencia de hojas, flores y frutos.

5.4 El crecimiento anual del cirio

Por sitio de repetición fotográfica

Los datos sobre el crecimiento anual promedio de cada individuo fueron agrupados por sitio. Esto fue para tratar de conocer dos aspectos: i) si en algunos de los sitios existía correlación significativa entre longitud inicial y crecimiento anual, y ii) si había diferencias en cuanto a crecimiento entre los distintos sitios.

Los datos de dos fotos tomadas en un mismo lugar (La Virgen A) se agruparon juntos, así se tiene entonces un total de 7 cirios y no 6 y 1 como se anota en el cuadro 1. Como consecuencia todos los sitios cuentan entonces con más de 5 individuos cada uno.

Para analizar diferencias entre los sitios por medio de análisis de varianza (ANOVA) fue necesario primero analizar diferencias en variabilidad entre los sitios. Se correlacionaron las medias contra las varianzas de los 15 sitios (incluyendo los 3 de Humphrey y Humphrey 1990). La correlación resultó significativa ($r = 0.74$, $p = 0.0016$) igual que pruebas de homoscedasticidad (Prueba de Levene; $p = 0.0005$). La diferencia entre las varianzas era grande y no permitía el uso de ANOVAs para comparar las medias. Fue necesario transformar los datos por medio de logaritmos. De esta manera, las diferencias entre las varianzas disminuyeron como se indica por la correlación entre medias y varianzas ($r = 0.14$, $p = 0.62$) y por la prueba de Levene ($p = 0.115$).

Para probar diferencias entre los sitios se usó la prueba de Tukey para muestras de tamaños diferentes.

Por periodo de medición

Se agruparon los datos por periodos de medición y se analizaron con o sin los datos de Jaraguay y La Rinconada (por sus características singulares). Se analizó por medio de ANOVAS y pruebas de Tukey si existen diferencias entre periodos de medición. Asimismo, por medio de regresión lineal se analizó si en alguno de ellos había relación significativa entre longitud inicial y el crecimiento.

Los intervalos de tiempo fueron de 93, 68, 49, 35 y 17 años. En el intervalo de tiempo de 1949 a 1997 (49 años) que incluyó a tres sitios se le agregó el único sitio con fotografía antigua de 1951 por considerar que dos años no significan una gran diferencia para la escala de tiempo considerada. Los tres sitios de Humphrey y Humphrey (1990) también se incluyeron en este análisis e involucraron un intervalo de 17 años (1969-1986).

5.5 Características del micrositio

En los mismos 4 sitios (Agua Dulce, La Virgen C, Cataviñancito y San Luis) en que se hicieron mediciones de diámetro y longitud de ramas laterales (ver punto 5.3) se realizaron observaciones sobre las características del micrositio para los mismos 31 cirios anteriormente mencionados. Se midió la pendiente dentro de un radio de 5 m del cirio con

un clinómetro y la exposición con una brújula. Asimismo, se hicieron observaciones sobre la posición fisiográfica del cirio. Se le asignó un valor de 1 a la cima y ladera alta, 2 a ladera media, 3 a ladera baja y 4 al llano. Se le agregó un medio punto más si el cirio estaba justo en el paso de algún drenaje superficial notable. Por otra parte, también se anotó si había evidencias de caliche superficial en el suelo.

Otra observación fue la cobertura del suelo por piedras para diferentes áreas o anillos alrededor de cada cirio focal. Las áreas fueron: a) de 0 a 1.5 m de radio del cirio, b) de 1.5 a 3 m de radio, c) de 3 a 6 m y d) de 6 a 12 m. La cobertura de piedras se refiere a rocas grandes que disminuyen el volumen de área disponible dentro de un determinado radio alrededor del cirio. Es decir, el complemento de la cobertura por piedras es el área de suelo disponible para la vegetación. Dentro de cada radio o anillo de observación arriba señalado, se hizo una estimación de la posible profundidad promedio del suelo. Esto se hizo definiendo cinco clases de profundidades y ubicando cada área en algunas de ellas según se podría suponer a partir de sus características superficiales. Por ejemplo, la clase 1 se define por la ausencia de suelo, el cirio crece directamente sobre rocas aunque puede haber pequeñas áreas con poca acumulación de suelo; mientras que la clase 2 se define por la poca profundidad del suelo (menor a 10 cm), esto se aprecia entre otras cosas porque en la superficie la roca aparece muy a menudo. En este sentido las siguientes clases serían de suelos más profundos hasta llegar a la clase 5, donde el suelo es muy profundo (más de 1m), en el sitio no hay rocas expuestas cercanas, es plano y de acumulación de suelo.

Una vez obtenida la información del área de suelo y de su clase de profundidad, se combinaron ambas variables para obtener un volumen de suelo:

$$\text{Volumen} = (\text{área de suelo})(\text{clase de profundidad})$$

Asimismo, el hecho de trabajar a diferentes radios permitió la comparación del crecimiento del cirio según diferentes áreas, así como adecuar el área según el tamaño del cirio (ver siguiente sección) y compararla también con el resto de los datos.

5.6 Vecinos

El análisis de los vecinos se hizo solamente para los cirios de 3 sitios (La Virgen C, Cataviñancito y San Luis). En total fueron 24 cirios a los que se les hicieron algunas anotaciones sobre los vecinos que los rodeaban hasta una distancia de 12 m. Dado el gran número de formas de vida, especies y tamaños y dado que el objetivo era obtener la influencia general de la mayoría de los vecinos, fue necesario primero separar los vecinos en dos grandes categorías. En una se ubicaron las especies arbustivas generalmente caducifolias cuyos tamaños, al menos en la zona estudiada, son pequeños y relativamente homogéneos entre todos los individuos. Las especies fueron: *Ambrosia chenopodiifolia*, *Ambrosia dumosa*, *Viguiera laciniata*, *Viguiera parishii*, *Eriogonum fasciculatum*, *Solanum hindsianum*, *Encelia californica*, *Acalypha californica*, *Euphorbia tomentulosa*, *Euphorbia misera*, *Calliandra californica*, *Krameria sp.*, *Lycium spp.*, *Lotus sp.*

A los arbustos que se encontraban dentro de un radio de 6 m con respecto al cirio focal se les anotó el nombre de la especie y la distancia al cirio. No se anotó ninguna medida de tamaño de la planta por considerar que los tamaños fueron más o menos uniformes y sería más conveniente trabajar con base en número de arbustos. Se tomaron en consideración únicamente los arbustos con una copa mayor a 0.5 m de diámetro.

Al resto de las plantas, que incluyen arbustivas de mayor tamaño que las anteriores y generalmente perenifolias, especies suculentas y especies arbóreas, se les midió el tamaño y distancia al cirio focal. Se incluyeron todos los vecinos mayores de 0.5 m de altura en un radio de 6 m y todos aquellos mayores de 1 m en una distancia de 6 a 12 m del cirio focal. Para estimar el tamaño se midió el diámetro de la copa de las especies arbustivas y arbóreas y se calculó el área o cobertura de la copa; para las especies suculentas columnares como la biznaga y el cardón se midió la altura y longitud de la planta. Se midió la distancia al cirio focal con un distanciómetro de ondas sonoras. Se midió también el rumbo de cada planta con respecto al cirio focal con una brújula.

Debido a que existe en las plantas en general una relación directamente proporcional entre la biomasa aérea y la subterránea, es de suponer que cirios pequeños tienen raíces más pequeñas que cirios más grandes. Por ello, para cirios de longitud inicial menor a 6 m se

consideró un radio de 6m (i.e. un área de 113.1 m²), mientras que para cirios mayores de 6 m los 12 m de radio (i.e. un área de 452.4 m²). Se sumaron los tamaños de todas las plantas que se encontraban dentro de ese radio y se dividió entre el área considerada (113.1 ó 452.4); esto último para estandarizar los dos grupos de datos. Debido a la falta de estudios previos sobre competencia del cirio se hicieron combinaciones de especies de acuerdo a ciertas características fisiológicas y de distribución de raíces que sugerían pudiera existir competencia con el cirio. Cabe señalar que este esquema de análisis, por áreas relativas y conjuntos de especies, resultó después de una exploración extensiva de los datos originales detallados.

6. RESULTADOS

6.1 Comparación de métodos

En una foto de 1963 se midieron 11 cirios por el método de la fotografía calibrada y se compararon con una medición realizada con un teodolito ese mismo año (1963) y para los mismos cirios. La correlación fue altamente significativa y con un coeficiente de correlación de 0.9987 (Figura 7). Como una indicación de la variación de esta relación se calculó como regresión dando una desviación estándar de 12.6 cm. Todas las fuentes de error están incluidas en el análisis, desde la toma de la fotografía y su impresión, hasta la medición en las fotos, e incluso está incluida cualquier diferencia que pudiera existir entre la medición con pértiga y con teodolito. Por otro lado, es importante señalar que los errores son en la medición de las alturas en un instante en particular, es decir son puntuales, no acumulativos. Por lo tanto, entre más grande sea el periodo que ha transcurrido entre la foto antigua y la foto reciente menor va a ser el error en la estimación del crecimiento anual de cada cirio. La comparación de métodos también enfatiza que las mediciones y estimaciones no tienen error proporcional al tamaño, pero si se espera que el error aumente con la distancia del cirio en relación con el teodolito o con la posición de la cámara fotográfica.

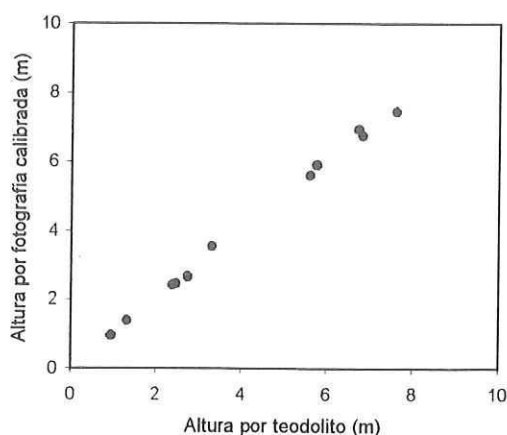


Figura 7. Correlación de las estimaciones de altura en 1963 por medio de fotografía calibrada (1998) y por teodolito (1963).

6.2 Características de la muestra

Las longitudes y alturas, antiguas y actuales de los 121 cirios en que fue posible la estimación del crecimiento anual correspondieron a un rango amplio de variación (Apéndice 2). Por ejemplo, alturas antiguas fueron generalmente desde individuos pequeños apenas mayores de un metro hasta algunos de 8 o más metros (Figura 8). Cabe destacar que individuos con alturas mayores de 8 m no fueron tan escasos en la fotografía antigua como aparenta. Algunos de los individuos antiguos mayores desaparecieron antes de 1998. Otros no fueron completamente visibles en la fotografía antigua como para ser medidos; por ejemplo, algunos tenían tallos que estaban detrás de otros tallos del mismo cirio o estaban tapados por otras plantas. Individuos menores de un metro fueron escasos en las mediciones ya que es difícil observar cirios pequeños en las fotografías porque se confunden con los matorrales o sus puntas son tapadas por sus propias ramas, rocas u otras plantas.

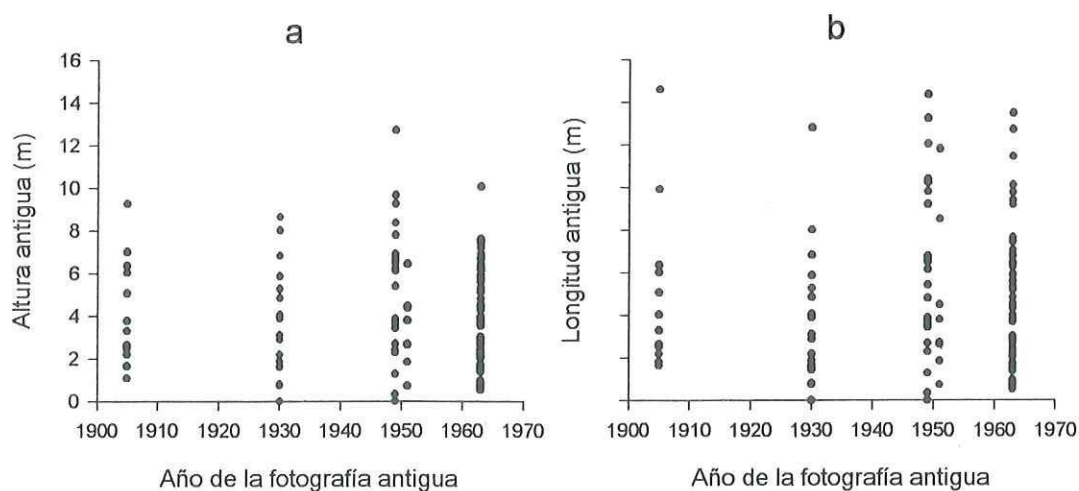


Figura 8. Altura y longitud de los cirios analizados por año de la fotografía antigua.

De los 158 individuos medidos en el campo el 52% correspondió a individuos de un solo tallo suculento y el 75% a individuos de uno a dos tallos (Figura 9).

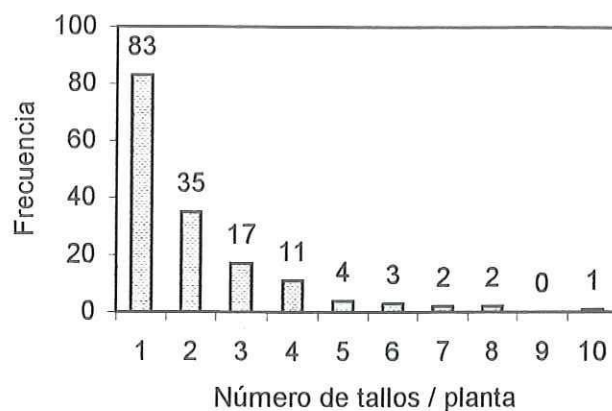


Figura 9. Distribución de frecuencias de organismos con diferentes números de tallos en la muestra.

6.3 Relaciones dimensionales del cirio

Los individuos más altos en la muestra (de entre 11 y 15 m) fueron tanto de un solo tallo como de 10 (Figura 10). Cabe hacer notar que no eran estrictamente los individuos más altos de los sitios sino los individuos que aparecían en ambas fotos (antigua y actual) de una manera nítida.

Aunque se observa una relación entre el número de tallos y la altura (Figura 10a; $r=0.51$, $p<0.001$), existe una relación más fuerte entre el número de tallos y la longitud (Figura 10b; $r=0.8$, $p<0.001$). Esto se explica porque la longitud es la suma de las longitudes de cada tallo y entre mayor número de tallos mayores longitudes se pueden lograr. En la Figura 10a se observa que los individuos de 4 o más tallos generalmente son más altos de 7 m, aunque las ramificaciones pueden originarse en partes bajas de la planta.

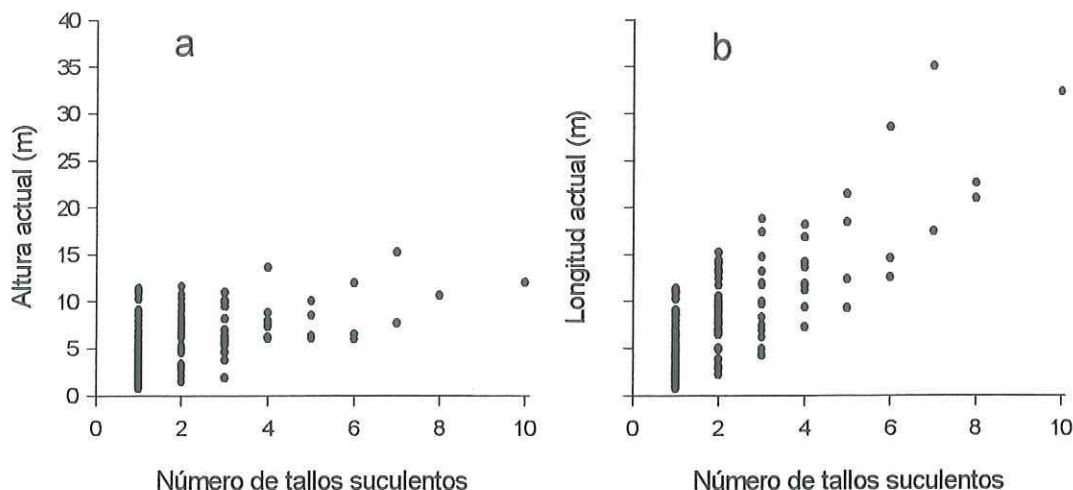


Figura 10. Relaciones entre el número de ápices y la altura y longitud.

De la muestra de 31 cirios de los sitios Agua Dulce, La Virgen C, Cataviñancito y San Luis se obtuvieron otras relaciones alométricas o relaciones dimensionales. El diámetro a la altura de 1.5 m (diámetro a la altura del pecho, “dap”) se correlacionó tanto con la longitud como con la altura de las plantas. Para este análisis se descartaron los individuos con ramificaciones y/o un tamaño debajo de 1.5 m (cuatro descartados). En la Figura 11a se observa que la relación altura-diámetro tiene una pendiente fuerte hasta que la altura alcanza c. 8 m y el diámetro c. 21 cm; luego hay poco aumento en altura. Por otro lado, el diámetro se correlaciona con la longitud total de los tallos suculentos en forma lineal (Figura 11b; $r=0.86$, $p<0.001$). La variación en individuos grandes se puede deber entre otras cosas a la posición de las ramificaciones, es decir, si se encuentran cerca de la base o si están muy cercanas a las puntas, o a truncamientos que haya tenido el individuo en los tallos principales resultando por lo tanto en una apariencia de mayor volumen a pesar de una pequeña altura o longitud.

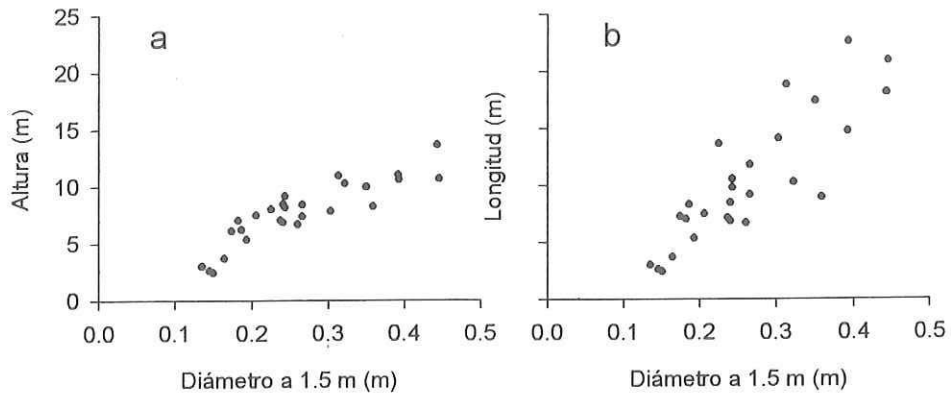


Figura 11. Relación entre el diámetro de los cirios con la altura y longitud. El coeficiente de correlación (r) es de 0.883 para la altura y diámetro mientras que para longitud y diámetro es de 0.863.

La longitud de las ramas laterales no mostró relación alguna con ninguna de las otras medidas morfométricas: longitud, altura y diámetro. Solamente hubo relaciones significativas cuando se combinaron algunas de las medidas. Con el cociente altura/dap hubo una relación negativa más fuerte (Figura 12a; $r=-0.63$, $p<0.001$) que con longitud/dap (Figura 12b; $r=-0.45$, $p<0.05$). Aparentemente, individuos de mayor diámetro con respecto a su altura presentaron ramas laterales más largas. Sin embargo, algunos datos se dispersan mucho por lo que habrá que esperar análisis con muestras más grandes para discutir posibles implicaciones de esto.

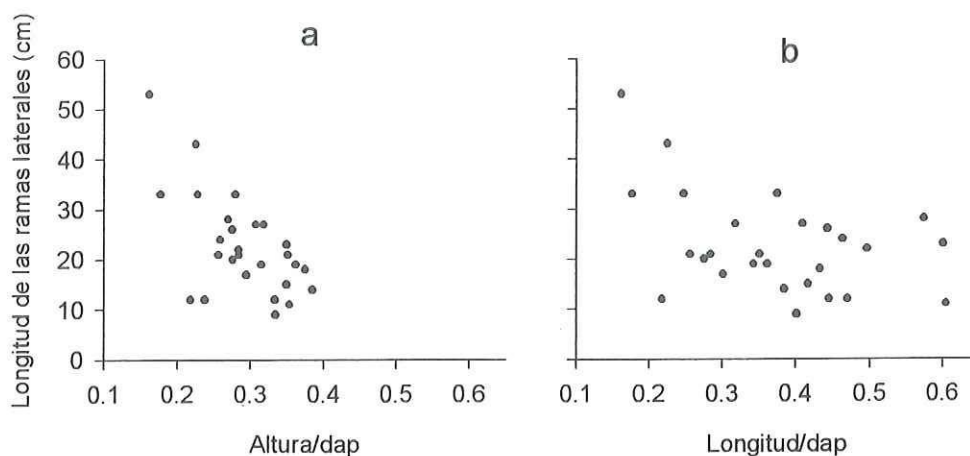


Figura 12. La longitud de las ramas laterales en relación con el cociente altura/dap y longitud/dap.

6.4 El crecimiento anual del cirio

Por sitio de repetición fotográfica

En la mayoría de los sitios de repetición fotográfica (11 de 12) no existe relación significativa entre la longitud inicial y el crecimiento anual de los cirios. Solamente en “La Virgen C” se observó una relación significativa (Cuadro 2, Figura 13). Asimismo, para los datos de Humphrey y Humphrey (1990) tampoco hubo relación significativa. Para hacer compatibles estos últimos datos con el resto de los sitios se calcularon de la misma manera que los demás, es decir obteniendo el crecimiento “*anualizado*” a partir de los datos de longitud inicial y final sin considerar las mediciones intermedias.

Cuadro 2. Promedios y desviaciones estándar en el crecimiento anual así como resultados de la regresión longitud-crecimiento en cada sitio.

Sitio	Crecimiento anual (m)			Regresión longitud-crecimiento	
	Promedio	Desv. est.	n	Coef. determinación	Probabilidad
San Fernando	0.062	0.031	8	0.11	0.43
Agua Dulce	0.072	0.030	7	0.16	0.37
El Llano	0.062	0.034	9	0.01	0.75
La Virgen A	0.084	0.029	7	0.02	0.78
La Virgen B	0.048	0.034	8	0.05	0.58
La Virgen C	0.063	0.039	15	0.37	0.016 *
LC-1	0.055	0.017	11	0.01	0.8
Cataviñancito	0.037	0.021	5	0.7	0.074
San Luis	0.047	0.019	7	0.31	0.18
Jaraguay	0.022	0.009	11	0.004	0.85
La Rinconada	0.023	0.009	25	0.1	0.12
Cuarzo	0.034	0.020	8	0.05	0.59
Turquesa	0.033	0.013	9	0.04	0.6
Víbora	0.040	0.013	10	0	0.97
Sonora	0.036	0.017	12	0.18	0.17

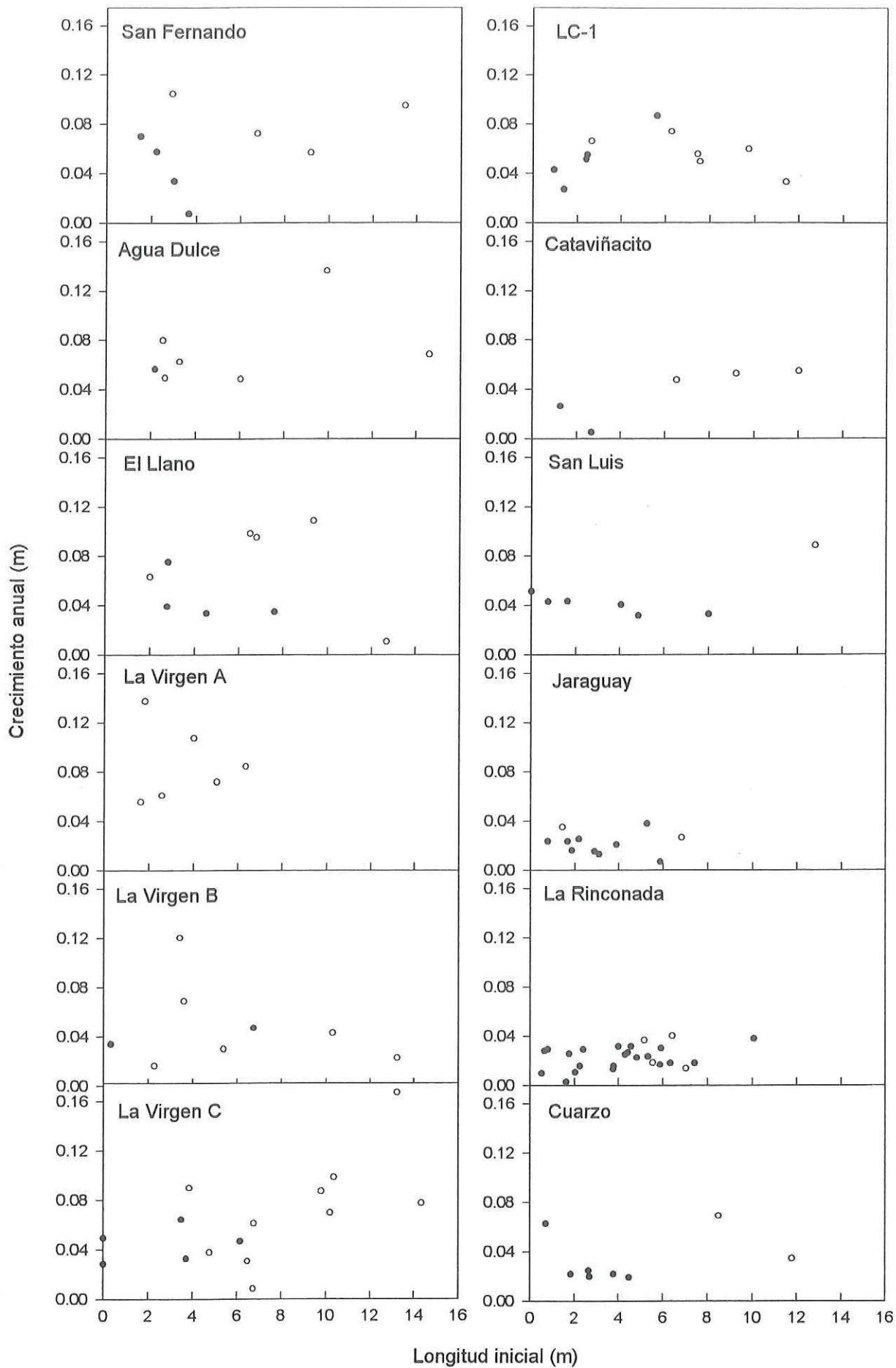


Figura 13. Crecimiento anual de los individuos en cada sitio. En negro los individuos de un sólo tallo y en blanco los de dos o más tallos.

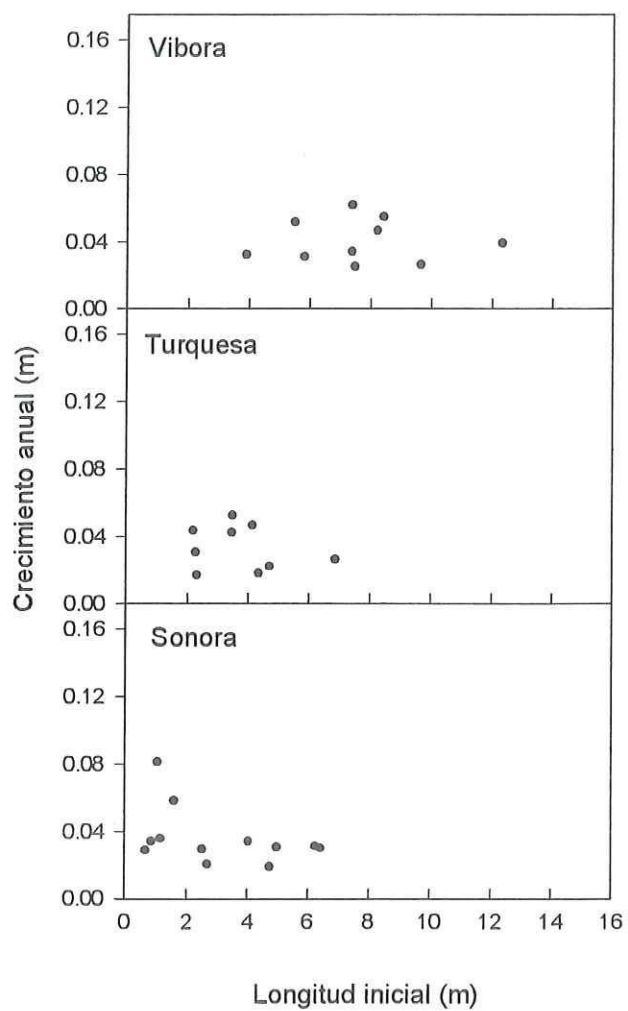


Figura 13 (continuación). Crecimiento anual de los individuos en cada sitio.

La prueba de ANOVA de una vía mostró diferencias altamente significativas entre los sitios ($p < 0.001$). La prueba de Tukey para muestras de tamaños diferentes destacó diferencias significativas de los sitios Jaraguay y La Rinconada con los valores más bajos de crecimiento anual (0.022 y 0.023 m/año respectivamente) en relación con Agua Dulce, El Llano, La Virgen A, La Virgen C y LC-1 que presentaron las mayores tasas de crecimiento (Cuadro 2 y Cuadro 3). En la Figura 13 se observa la poca dispersión de los datos y poco crecimiento anual promedio para los sitios Jaraguay y La Rinconada en relación con el resto. La muestra de Jaraguay es de un periodo de crecimiento de 68 años, mientras que La Rinconada de 35 años. Entre el resto de los sitios con valores intermedios de crecimiento anual no se observaron diferencias significativas a pesar de que involucran diferentes periodos de medición desde 17 años (para los sitios de Humphrey y Humphrey 1990) hasta 93 años. Los 3 sitios de Humphrey y Humphrey (1990) no mostraron diferencias con ninguno de los otros 12 sitios incluyendo Jaraguay y La Rinconada.

Por periodo de medición

Solamente en el intervalo de 49 años el crecimiento anual promedio mostró una relación significativa con la longitud inicial del cirio ($R^2=0.16$, $p=0.016$; Cuadro 4, Figura 14). En el resto de los intervalos con o sin La Rinconada y Jaraguay no hubo una relación significativa ($p>0.05$).

La muestra del intervalo de 93 años presentó un crecimiento anual promedio significativamente mayor que las muestras de 17 y 49 años. Incluso incluyendo los datos de La Rinconada y Jaraguay la muestra de 93 años es la única que presenta diferencias significativas con el resto. Entre los otros intervalos no hubo diferencias significativas. En la Figura 13 se observa que para la muestra de 93 años no hubo tasas de crecimiento menores a 4 cm por año. Llama la atención que tasas de crecimiento relativamente altas (de alrededor de 7.2 y 8.4 cm/año; ver Cuadro 2) se hayan observado para los dos sitios con periodos de más de 90 años (Agua Dulce y La Virgen A).

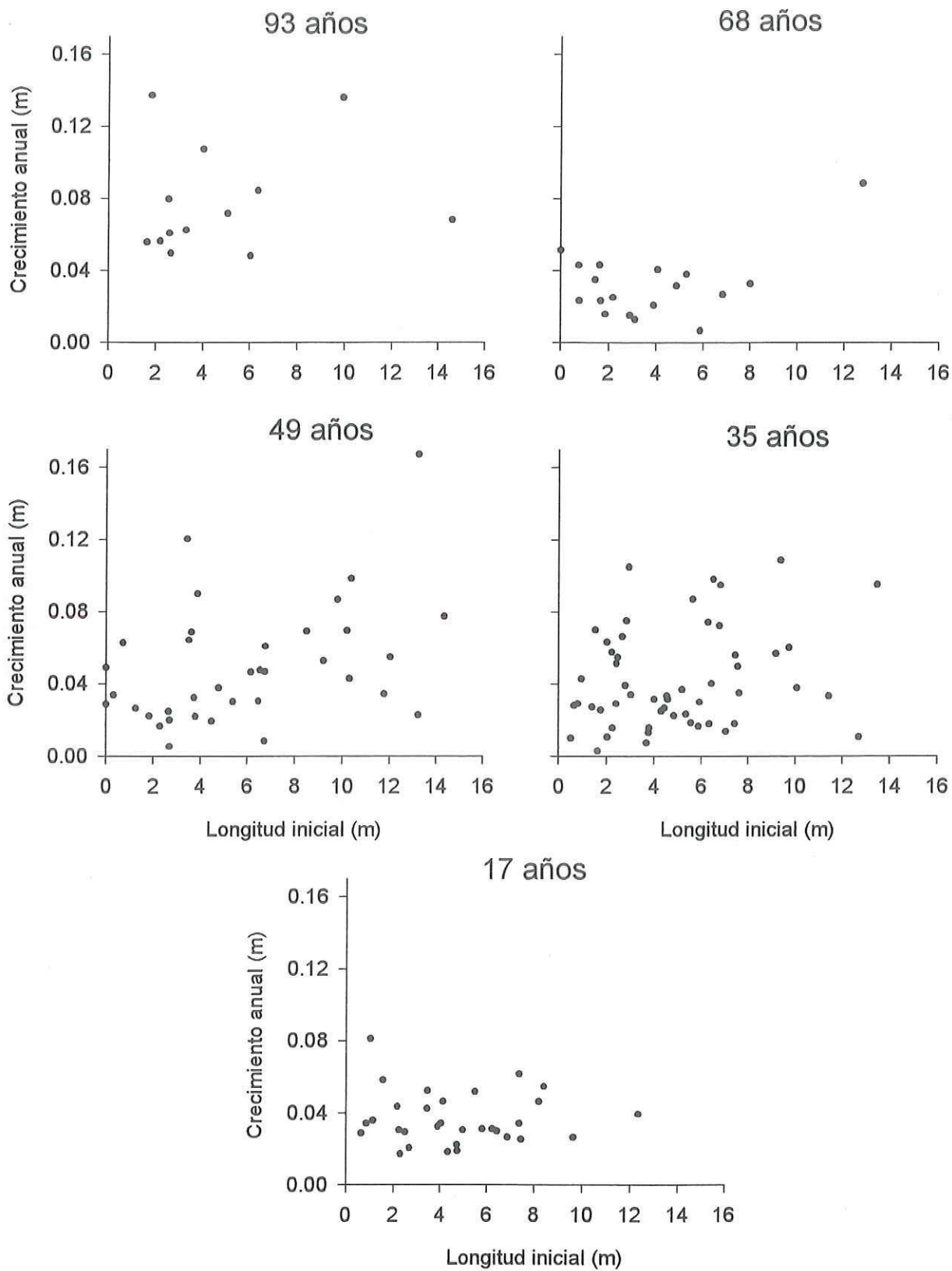


Figura 14. Crecimiento anual de los individuos agrupados según el periodo en que fueron medidos.

Cuadro 4. Regresión longitud inicial-crecimiento para los datos agrupados por periodo de medición.

Intervalo de medición	número de datos	coef. det.	Probabilidad
17 años (Humphrey y Humphrey 1990)	31	0.0017	0.82
35 años	53	0.05	0.09
35 años sin La Rinconada	28	0.009	0.62
49 años	36	0.159	0.016 *
68 años	18	0.18	0.075
68 años sin Jaraguay	7	0.31	0.18
93 años	14	0.02	0.59

El total de los individuos

Agrupando el total de los datos generados en el presente trabajo (121) se obtiene una tasa promedio de crecimiento anual de 4.7 cm con una desviación estándar de 3.08 y con máximas y mínimas de 16.7 y 0.3 respectivamente (Figura 15). Si se agregan los datos de Humphrey y Humphrey (1990) se tiene un total de 152 individuos, una media de 4.48 cm/año y una desviación estándar de 2.85 conservándose los mismos extremos (Figura 15). Para ambas situaciones se observa una dependencia del crecimiento anual con respecto a la longitud total inicial del cirio aunque con muy poca explicación de la variabilidad ($p=0.0007$ y $R^2=0.092$ para el primer caso y $p=0.00065$ y $R^2=0.074$ en el segundo).

Como se ha visto en párrafos anteriores, se podría considerar que existen sitios con lento crecimiento y poca variación (La Rinconada y Jaraguay) y sitios con tasas altas de crecimiento (Agua Dulce y La Virgen A). El resto de los sitios serían de crecimiento intermedio y entre ellos se podrían ubicar incluso los sitios de Humphrey y Humphrey (1990).

En el Cuadro 4 ya se ha observado que Agua Dulce y La Virgen A juntos no presentan relación de dependencia crecimiento-longitud ni los datos de Humphrey y Humphrey de 1990 (ver datos de 17 años). Agrupando los datos de Jaraguay y La Rinconada juntos tampoco la presentan ($n=36$, $p=0.18$, $R^2=0.05$). El resto de los datos sí presentan una relación significativa aunque con poca explicación de la variabilidad ($n=71$, $p=0.011$, $R^2=0.089$).

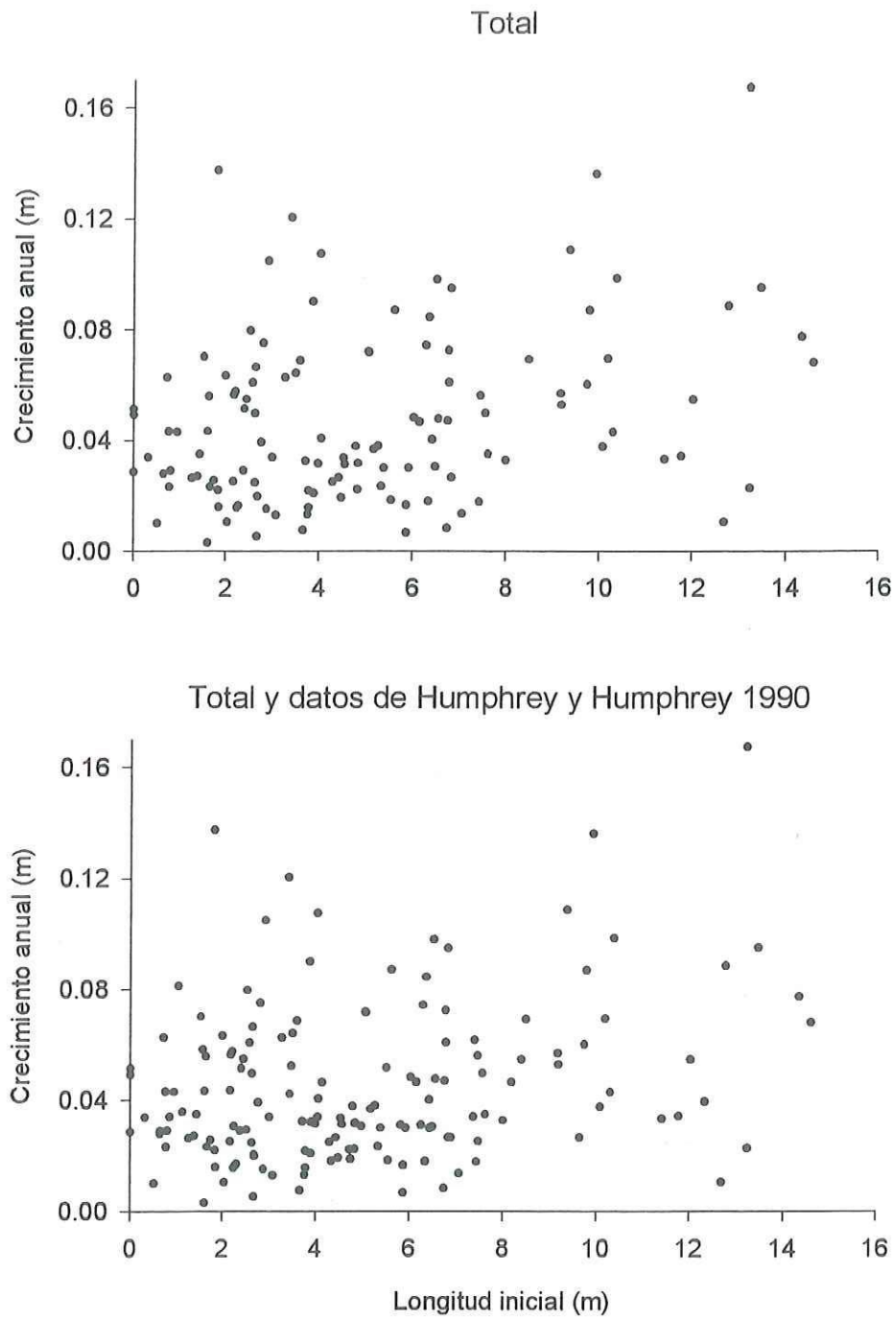


Figura 15. Crecimiento anual en el total de los individuos.

Cabe hacer notar que en estas combinaciones se han estado agrupando sitios con diferencias en cuanto a tipo de roca subyacente y/o intervalo de medición. Por ello, se hicieron otros grupos tratando de que los sitios presentaran características en común. La Virgen B, La Virgen C y Cataviñancito comparten el mismo tipo de roca, son del mismo año y están relativamente cercanos. La relación crecimiento-longitud en este grupo resultó significativa ($n=28$, $p=0.037$, $R^2=0.15$). La Rinconada y San Fernando también comparten tipo de roca e intervalo de medición, aunque están alejados; la relación crecimiento-longitud resultó no significativa ($n=33$, $p=0.06$, $R^2=0.11$). En ambos grupos la muestra no es tan grande. Por ejemplo, el primero es equiparable a La Rinconada sola ($n=25$) en donde la relación resultó no significativa.

Individuos de un solo tallo.

Del total de los datos se dejaron aquellos individuos que han crecido con un solo tallo hasta la medición final. Los datos de Humphrey y Humphrey (1990) son de individuos que fueron elegidos precisamente por tener un solo tallo y así se han mostrado en cualquiera de los análisis anteriores. Por ello, no fueron considerados para este análisis. La relación longitud inicial (que en este caso es equivalente a altura inicial) y crecimiento resultó no significativa ($n=65$, $p=0.66$, $R^2=0.03$, Figura 16). Con el resto de los individuos (de dos o más tallos) también se analizó la relación longitud-crecimiento. La relación resultó no significativa ($n=56$, $p=0.75$, $R^2=0.002$, Figura 16). Entre los dos grupos se nota una mayor variabilidad en individuos de dos o más tallos y es en ellos donde se logran los mayores crecimientos anuales.

En la Figura 17 se presenta una relación del crecimiento anual y el número de ápices o tallos que tenía el individuo en el momento de la medición final. La correlación fue altamente significativa ($n=121$, $p<0.0001$, $r=0.6$).

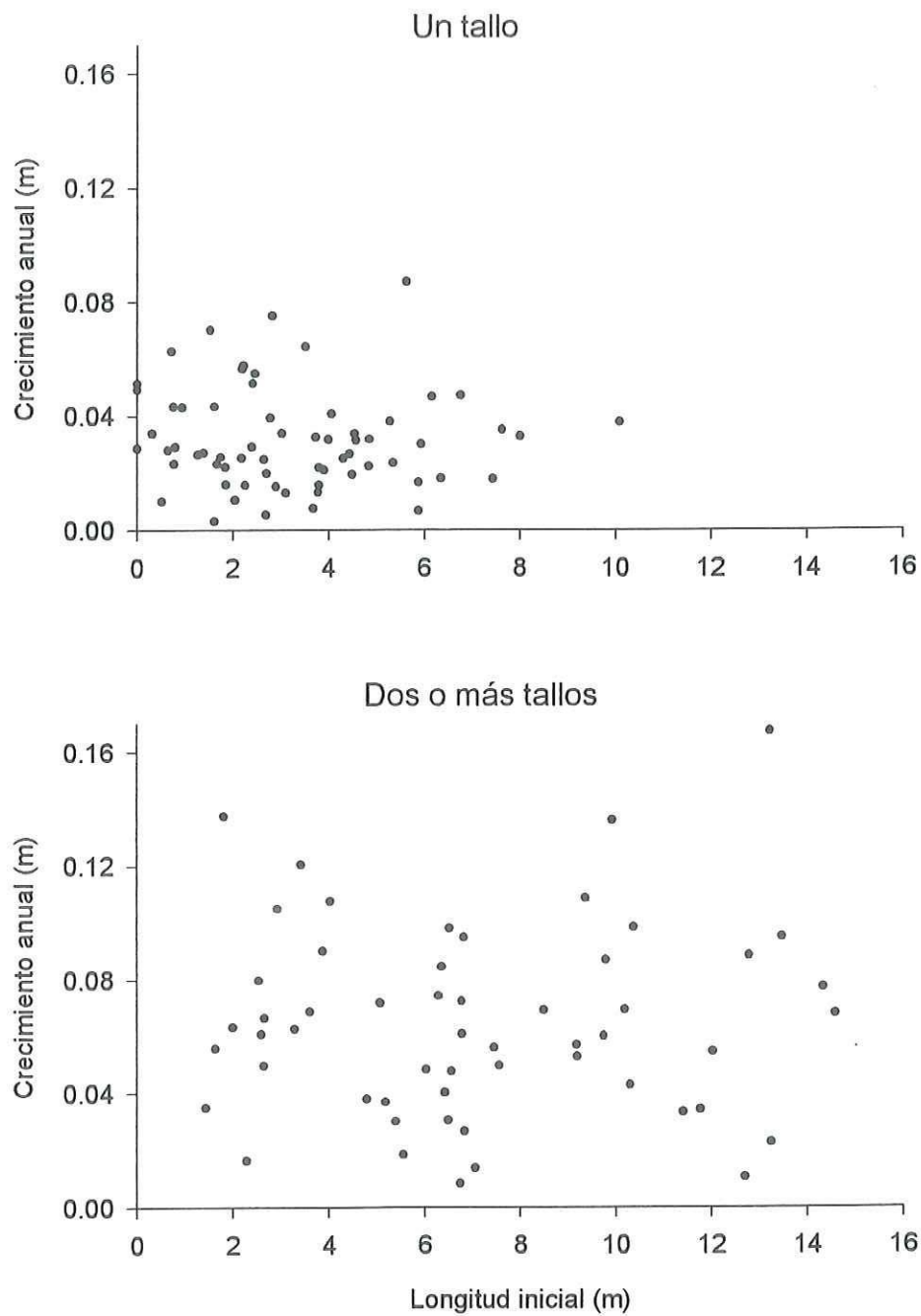


Figura 16. Crecimiento anual en individuos de un solo tallo e individuos de dos o más tallos.

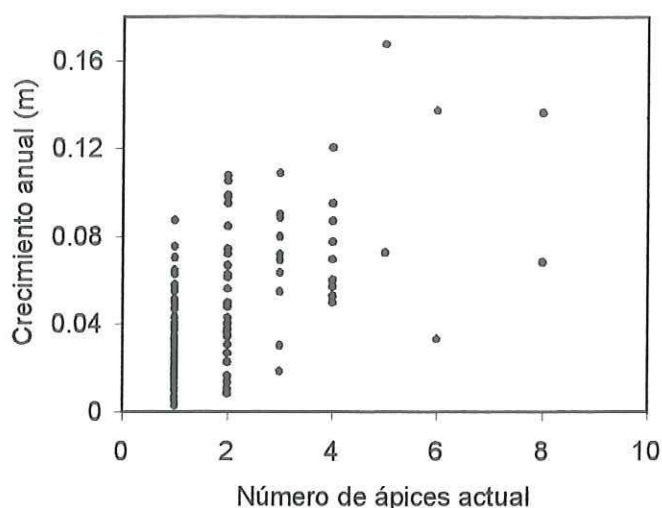


Figura 17. Crecimiento anual y número de ápices de cada individuo.

Con base en el resultado anterior, que implica que los individuos con mayor número de tallos tienden a crecer más, se realizó una comparación del crecimiento de individuos de un solo tallo entre sitios para observar si las diferencias observadas en el Cuadro 3 se seguían manifestando con individuos de un solo tallo. Como había algunos sitios con pocos individuos de un solo tallo (ver Figura 13) se hicieron dos agrupaciones mientras que algunos sitios sí se trabajaron individualmente. El criterio de la agrupación fueron las diferencias mostradas en el Cuadro 3. Así, en el grupo uno quedaron los sitios que habían resultado diferentes con respecto a La Rinconada y Jaraguay, estos fueron Agua Dulce, El Llano, La Virgen C y LC-1 (el sitio La Virgen A no contaba con ningún individuo de un solo tallo). En el grupo dos, quedaron el resto de los sitios de este estudio que no fueron diferentes a La Rinconada y Jaraguay. Cabe destacar que aquí sería más válida la comparación de los sitios de este estudio con los de Humphrey y Humphrey (1990), puesto que en estos últimos, los individuos se eligieron precisamente por ser de un solo tallo. Por ello, estos sitios se presentaron por separado. En el Cuadro 5 se observa que Jaraguay y La Rinconada siguen mostrando diferencias con respecto a los sitios del grupo

Cuadro 5. Crecimiento anual promedio de individuos de un solo tallo para cada sitio o agrupaciones de sitios.

Sitio	Crecimiento anual (m)			Comparaciones múltiples en el crecimiento promedio por sitio					
	Promedio	Desv. est.	n	La Rinconada	Turquesa	Vibora	Sonora	Grupo dos	Grupo uno
Jaraguay	0.020	0.009	9	1.000	0.292	0.032	0.154	0.389	0.004
La Rinconada	0.022	0.009	21		0.464	0.047	0.136	0.131	0.000
Turquesa	0.033	0.013	9			0.962	1.000	1.000	0.644
Víbora	0.040	0.013	10				0.994	0.897	0.989
Sonora	0.036	0.017	12					0.997	0.718
Grupo dos	0.035	0.017	20						0.225
Grupo uno	0.048	0.017	15						

uno y no con el grupo dos, además, ahora sí se manifiestan diferencias de estos dos sitios con respecto a la Víbora.

Por otra parte, se obtuvo la proporción de los individuos de un solo tallo para cada sitio y se analizó con el promedio del crecimiento anual de cada sitio (Figura 18). La correlación resultó significativa ($p=0.001$, $r=-0.81$). Se observa que los sitios Jaraguay y La Rinconada destacan por su menor crecimiento y mayor proporción de individuos de un solo tallo (Figuras 18 y 19).

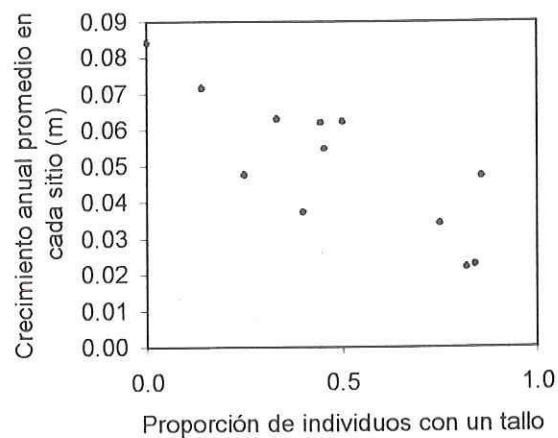


Figura 18. Crecimiento anual promedio por sitio y proporción de individuos de un tallo.

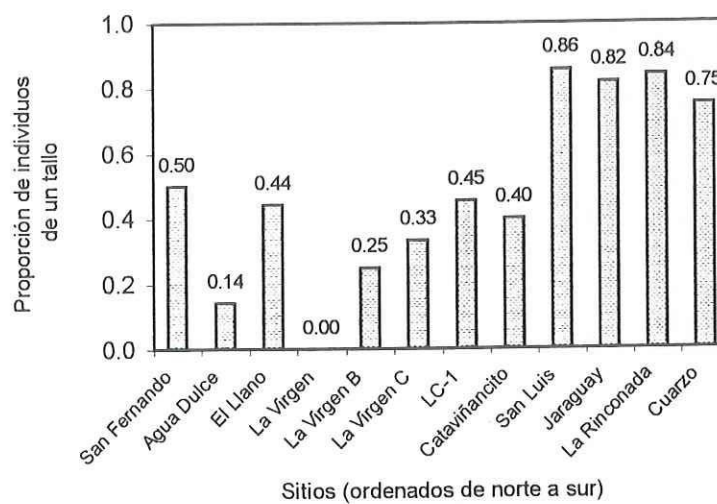


Figura 19. Proporción de individuos de un solo tallo en cada sitio.

Los sitios que están más hacia el sur muestran mayores proporciones de individuos con un solo tallo (Figura 19). La prueba de comparación de proporciones para varias muestras mostró diferencias significativas entre los sitios ($p < 0.001$). Asimismo, después de una transformación de las proporciones con arcosenos (Zar 1984), una prueba análoga a la de Tukey para muestras de diferente tamaño destacó diferencias significativas entre varios sitios (Cuadro 6). San Luis, Jaraguay, La Rinconada y Cuarzo fueron diferentes de varias sitios más norteños, pero no del más norteño de todos, San Fernando, que se destaca por la presencia de roca basáltica y caliza y que está más hacia el oeste.

Individuos menores a 3 m.

Una de las debilidades de la técnica de la fotografía calibrada es en la distinción de cirios menores de 0.5 m. En este trabajo, en varios casos, no se pudo diferenciar entre arbustos y cirios pequeños. Por ello, para observar el patrón de crecimiento en tallas pequeñas se analizaron datos de los cuadrantes permanentes de Raymond Turner. En esa muestra de individuos pequeños (menores de 3m en 1967 y de un solo tallo) sí se encontró una relación fuerte entre el crecimiento y el tamaño inicial. Se aprecia en la Figura 20 que después de 1.5 m de altura la dispersión de los datos es muy parecida a la que se ha visto en el resto de los datos aquí presentados.

Un modelo (Bullock 1999) que se ajusta y describe la distribución de los datos ($n=48$, $p < 0.001$, $R^2=0.57$) es el siguiente:

$$\text{Crecimiento anual} = 0.059 - 0.064 * e^{-1.381 * \text{altura}}$$

Longitud final en lugar de la longitud inicial

Se analizó el crecimiento anual de los individuos de cada sitio con relación a su longitud final. En el Cuadro 7 se observa una tendencia general en el aumento de los coeficientes de determinación y en la disminución de las probabilidades en comparación con los resultados en el Cuadro 2. Las relaciones se hicieron significativas para más sitios: La

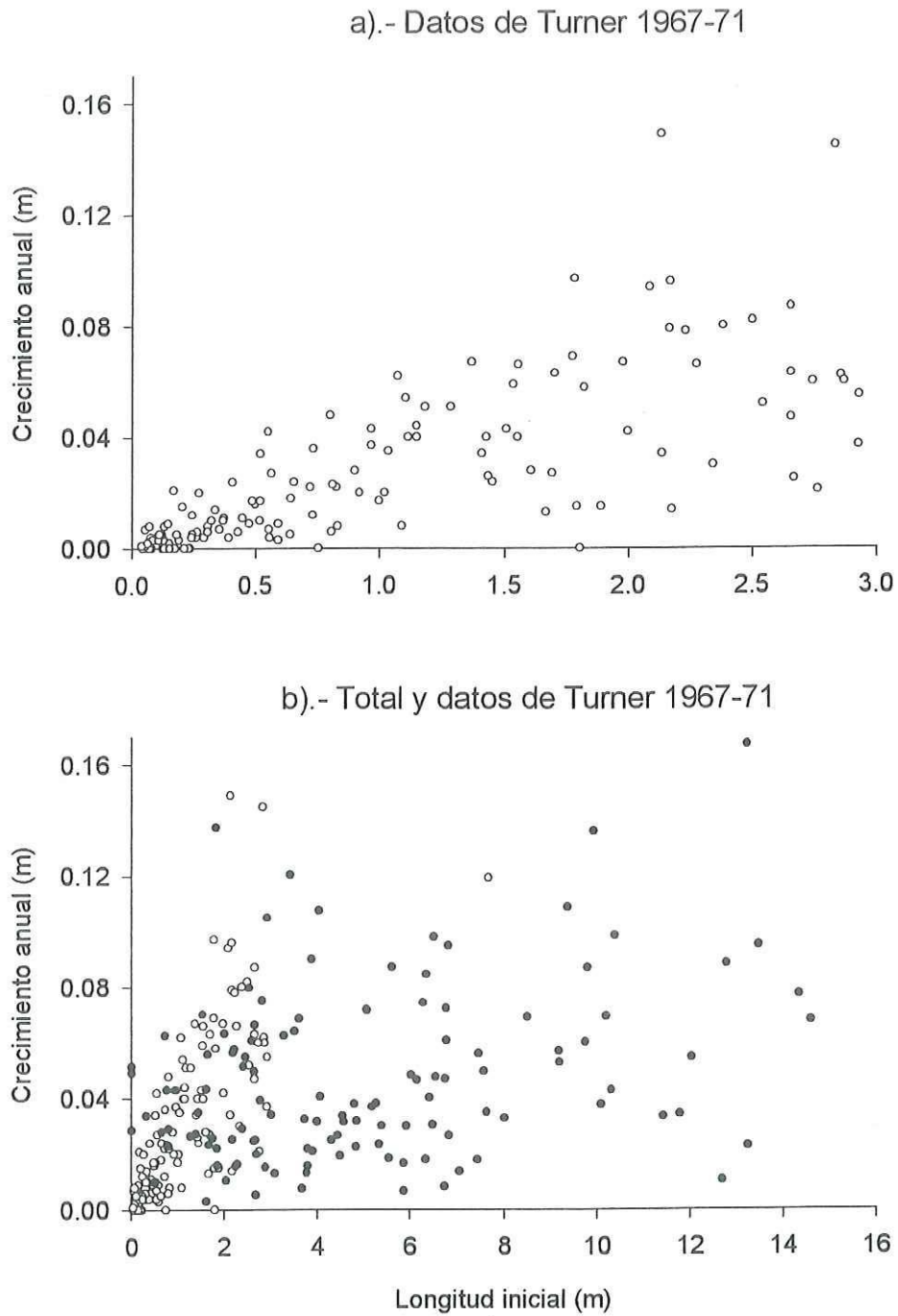


Figura 20. Crecimiento anual a). en individuos menores de 3m (datos de Turner) y b). lo mismo (c) presentado con el total de los individuos de este estudio (●).

Virgen A, Cataviñancito y La Rinconada, además de La Virgen C en la que ya se había observado una relación con la longitud inicial. Parece ser que los individuos de tasas altas de crecimiento alcanzan longitudes finales mayores que los de tasas lentas y hacen positiva la relación crecimiento-longitud. Esto sucede sobre todo en sitios en que el intervalo de medición es grande ya que hay más tiempo para que las diferencias en longitudes finales se hagan más notorias. En los sitios con intervalos de crecimiento corto como los de Humphrey y Humphrey (1990) no hubo mejoramiento de las relaciones en comparación con aquellas del Cuadro 2. Cabe destacar, que esta relación no indica una dependencia del crecimiento con el tamaño sino más bien que en la muestra los individuos con tasas altas de crecimiento tienden a alcanzar longitudes mayores en comparación con los de tasas bajas.

Cuadro 7. Resultados de la regresión longitud final-crecimiento para los individuos de cada sitio.

Sitio	Regresión longitud-crecimiento	
	Coef. determinación	Probabilidad
San Fernando	0.28	0.18
Agua Dulce	0.54	0.06
El Llano	0.05	0.570
La Virgen A	0.65	0.03*
La Virgen B	0.02	0.720
La Virgen C	0.64	0.0004*
LC-1	0.06	0.460
Cataviñancito	0.79	0.04*
San Luis	0.51	0.070
Jaraguay	0.06	0.460
La Rinconada	0.19	0.03*
Cuarzo	0.19	0.270
Turquesa	0.003	0.890
Vibora	0.01	0.770
Sonora	0.09	0.340

6.5 Autocorrelación del crecimiento

En un análisis de los datos de Humphrey y Humphrey (1990) no hubo autocorrelación significativa cuando se consideraron los periodos de medición que reportan los autores (1 a 3 años). Sin embargo, debido a que de un año a otro cuando los cirios casi

no crecen o el crecimiento es muy pequeño el error de medición se hace grande y enmascara cualquier autocorrelación; de hecho, en los datos se aprecian algunos crecimientos negativos tal vez ocasionados por el error del método. Por ello, se hicieron otros análisis a estos mismos datos ya sea considerando periodos más grandes (3 ó más años) o sólo aquellos periodos de crecimiento notable en los cirios. En la Figura 21 se muestra la correlación para dos periodos de crecimiento notable de tres años cada uno, la correlación fue altamente significativa ($n = 15$, $p < 0.001$, $r = 0.82$); los datos fueron de los sitios La Víbora y La Turquesa juntos.

Con datos de Turner (sin publicar) en los cuadrantes LC1 y LC3 cercanos a Cataviña también se observa autocorrelación en los individuos. Los periodos de medición fueron dos de 4 años y la correlación resultó altamente significativa ($n = 48$, $p < 0.001$, $r = 0.77$). Por otra parte, también se analizó la correlación de un periodo de medición de cuatro años con otro de 30, la autocorrelación fue igualmente significativa aunque el coeficiente de correlación fue menor ($r = 0.47$, datos no mostrados).

6.6 Efectos de micrositio y vecinos

En el Cuadro 8 se muestran algunas características de los vecinos considerados como grandes y posibles competidores para el cirio. Al resto de los vecinos, los llamados aquí arbustos, fueron considerados como no competitivos con el cirio. El número de arbustos dividido entre el promedio de todas las distancias de cada arbusto dio una correlación positiva con el crecimiento del cirio (Figura 22, $n=23$, $r=0.52$, $p=0.0097$). Esto sugiere que en donde el cirio está creciendo más, también existe un mayor número de arbustos y/o están más cercanos a él. Es decir, parece haber sitios óptimos donde el cirio crece más y en estos sitios también se ven más arbustos.

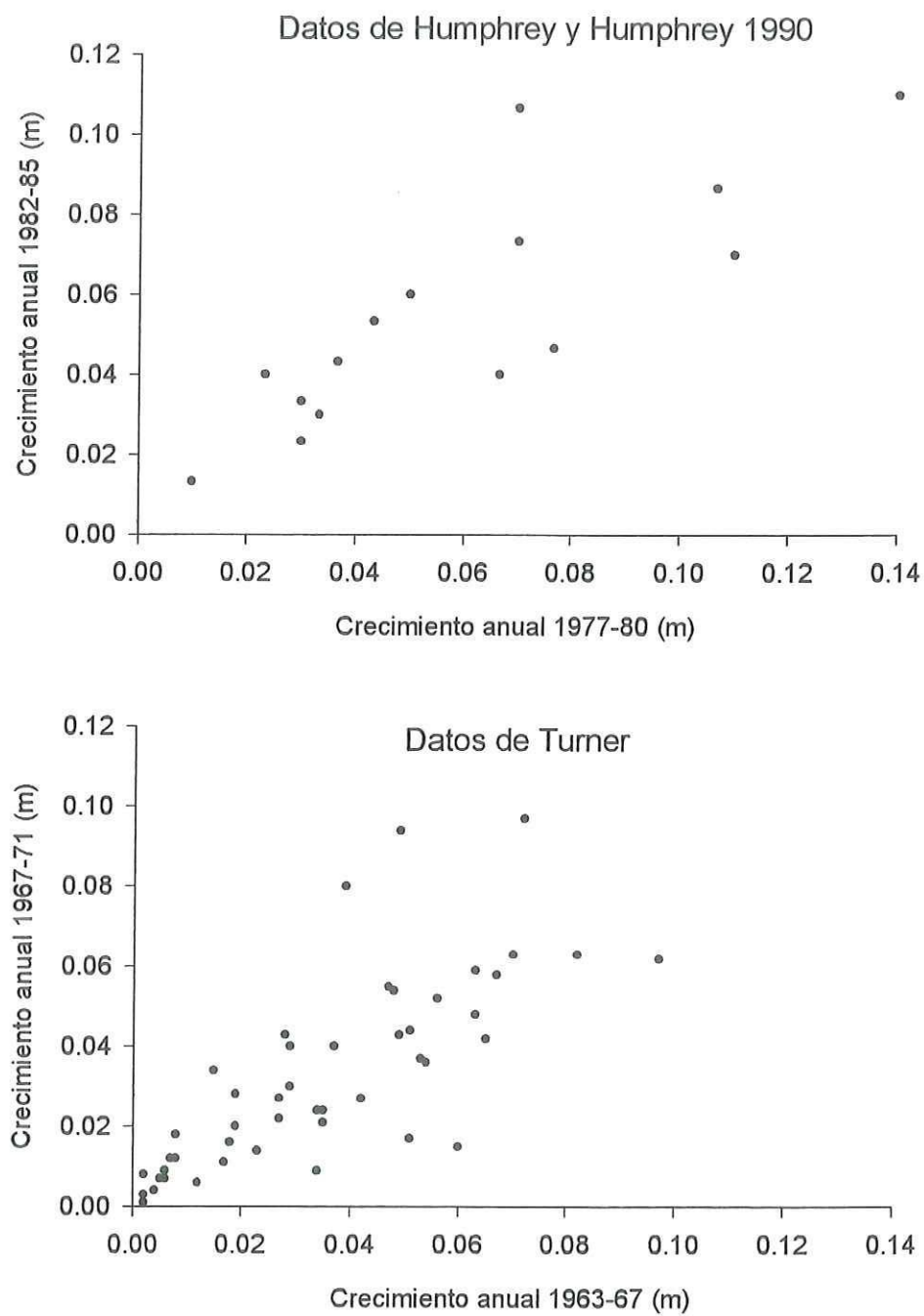


Figura 21. Autocorrelación del crecimiento en el cirio.

Cuadro 8. Características de algunos vecinos del cirio presentes en los sitios La Virgen C, Cataviñancito y San Luis.

Especie	tallo	Hojas	Profundidad de raíces	Potencial de agua
<i>Acacia greggii</i>	leñoso	caducas en invierno	medianamente profundas	hasta -4 (a)
<i>Agave spp.</i>		suculentas	5 a 15 cm (e)	-0.3 a -1.6 (e)
<i>Bursera microphylla</i>	suculento	hojas después de lluvias		
<i>Ferocactus spp.</i>	suculento	no	5 a 15 cm (e)	-0.1 a -0.8 (e)
<i>Fouquieria columnaris</i>	suculento	hojas después de lluvias	10 a 30 cm (h)	-1 a -2 (b)
<i>Fouquieria splendens</i>	~ suculento	hojas después de lluvias	superficiales	
<i>Larrea tridentata</i>		perennes	10 a 30 cm (f,g)	-2.5 a -8 (a,c)
<i>Lophocereus schottii</i>	suculento	no		
<i>Opuntia spp.</i>	suculento	no	4 a 10 cm (a)	-1 a -1.5 (a)
<i>Pachycereus pringlei</i>	suculento	no	4 a 20 cm (j)	
<i>Pachycormus discolor</i>	suculento	hojas después de lluvias/invierno		-1 a -2.5 (b)
<i>Prosopis sp.</i>	leñoso	perennes	profundas	hasta -4.5 (d)
<i>Simmondsia chinensis</i>		perennes	10 a 30 cm (i)	-2.5 a -7 (a,c)
<i>Viscainoa geniculata</i>		perennes		

aTurner et al. 1995

bFranco-Vizcaíno et al. 1990

cFranco- Vizcaíno 1994

dRundel y Nobel, 1991

eNobel 1988

fYeaton et al. 1977

gBriones et al. 1996

hObservación personal

iFranco-Vizcaíno y Khattak 1990

jSalazar com. pers.

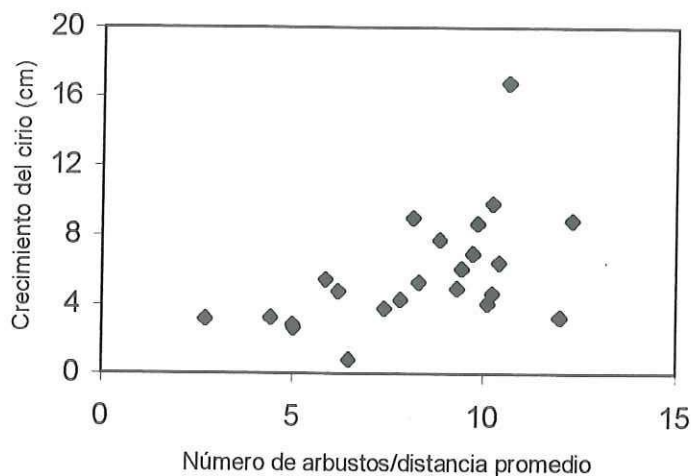


Figura 22. Relación de vecinos arbustivos con el crecimiento del cirio.

Con un análisis de correlación se trató de verificar la estimación que se hizo en el campo sobre el área y tipo de suelo, así como las mediciones de tamaño de diferentes especies de vecinos. Se analizó la suma del tamaño de todos los vecinos más el tamaño del cirio focal con respecto al área y tipo de suelo en 12 m de radio alrededor del cirio focal. Cabe destacar que para este análisis no se realizó ninguna ponderación para los tamaños de los vecinos, fueron sumadas directamente longitudes de tallos (de individuos suculentos columnares) con áreas de las copas (de individuos arbóreos y arbustivos). A pesar de lo anterior la correlación resultó muy cercana a ser significativa (Figura 23; $n=23$, $r=0.40$, $p=0.058$).

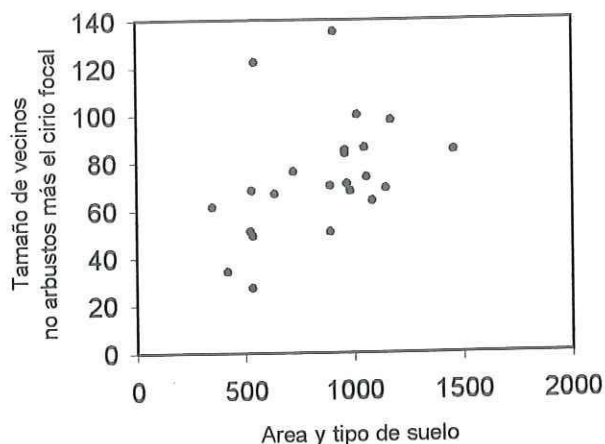


Figura 23. Relación entre las plantas no arbustivas y el área y tipo de suelo en que se encuentran.

Hay que recordar (sección 4.3) que el área de suelo se refiere a la estimación de la superficie no cubierta por rocas, mientras que el tipo de suelo es una clasificación (con valores del 1 al 5) de la profundidad del suelo según se podría suponer basándose en sus características superficiales. Para combinar los dos parámetros simplemente se multiplicaron. Es muy probable que la mayor fuente de error provenga de la estimación del tipo de suelo. Por otra parte, algunos vecinos extremadamente grandes también contribuyen en la variación de los datos por ejemplo, los dos puntos que se disparan de la nube de datos (Figura 23) corresponden a lugares donde había cardones muy grandes y ramificados.

Se buscó una combinación de especies que pudiera explicar algo de la variabilidad en el crecimiento del cirio y que a su vez se apoyara en evidencia fisiológica o de distribución de raíces que sugiriera una posible competencia con el cirio. La mejor combinación incluyó a los siguientes vecinos *Agave spp.*, *Bursera microphylla*, *Ferocactus spp.*, *Fouquieria columnaris*, *Fouquieria splendens*, *Larrea tridentata*, *Lophocereus schottii*, *Opuntia spp.*, *Pachycereus pringlei*, *Pachycormus discolor*, *Simmondsia chinensis* y *Viscainoa geniculata*. Es decir, del Cuadro 8 sólo se descartaron *Acacia gregii* y *Prosopis sp.*, las dos especies de raíces profundas. El resto de las especies comparte con el cirio una distribución similar de raíces y/o la absorción de agua a potenciales parecidos. La suma de los tamaños

de estas especies dividida entre el área de suelo considerada (113.1 m^2 para cirios menores de 6 m y 452.4 m^2 para cirios mayores de 6 m ; ver sección 4.4) se relaciona negativamente con el crecimiento del cirio (Figura 24; $n=24$, $r^2=0.28$, $r=-0.53$, $p=0.007$).

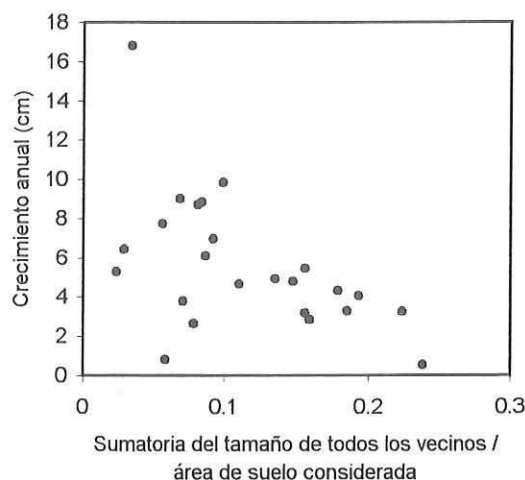


Figura 24. Relación del crecimiento del cirio con el tamaño de todos los vecinos competidores.

El punto que se encuentra más cercano al vértice del gráfico corresponde a un lugar con caliche superficial y eso explicaría tanto el lento crecimiento del cirio como la escasez de vecinos.

En cuanto a las características del micrositio, en análisis de regresión múltiple se encontró que la combinación de los factores presencia de capas duras en el suelo (caliche) y la posición fisiográfica del cirio explicaron una parte de la variación en el crecimiento ($n=24$, $R^2=0.38$, $p=0.006$). Estos dos factores junto con la suma de tamaños de los vecinos (estandarizada según el área particular) explicaron el 50 % de la variación ($n=24$, $R^2=0.50$, $p=0.0024$; Cuadro 9). Ninguno de los otros factores del micrositio fue relevante, ni siquiera área y tipo suelo.

Es importante recordar que los tres sitios analizados (La Virgen C, Cataviñancito y San Luis) presentan un mismo tipo de roca subyacente y es muy probable que la textura del

suelo sea parecida, asimismo, se encuentran relativamente cercanos entre sí y ninguno presenta pendientes fuertes.

Por otro lado, cabe aclarar que para estos mismos datos también fue significativa la regresión crecimiento anual longitud inicial del cirio ($n=24$, $R^2=0.37$, $p=0.0013$).

Cuadro 9. Resultados de la regresión múltiple considerando caliche, fisiografía y vecinos para explicar el crecimiento del cirio.

Resumen de la regresión para la variable dependiente "crecimiento del cirio"

R= 0.710 R²= 0.505 R² Ajustada= 0.430

F(3,20)=6.7958 p<0.00243 Error estándar del estimador: 2.6018

	BETA	Error est. de BETA	B	Error est. de B	t(20)	p-level
Intercepto			8.0515	2.5355	3.1754	0.0048
Fisiografía	0.5552	0.2410	1.6066	0.6974	2.3035	0.0321
Caliche	-0.6277	0.2134	-2.8423	0.9663	-2.9415	0.0081
Vecinos	-0.4192	0.1868	-24.0511	10.7183	-2.2439	0.0363

Analisis de Varianza

	Suma de Cuadrados	g.l.	Mean Squares	F	p-level
Regress.	138.012	3	46.0040	6.7958	0.0024
Residual	135.390	20	6.7695		
Total	273.402				

7. DISCUSIÓN

7.1 Método

El método de fotografía repetida calibrada en comparación con otras alternativas permite hacer estudios rápidos de un gran número de individuos con intervalos largos (parece que las fotos más antiguas del cirio son de 1889). Además, no se depende de que haya habido gente estudiando el mismo tema desde hace años, sino que se aprovecha de los “recuerdos” precisos de cualquier visitante. Esto posibilita enormes coberturas espaciales además de las temporales. Sin embargo, hay que destacar que la información generada es complementaria a la generada con otras técnicas, de hecho, para ciertos datos se requiere de técnicas convencionales. Por ejemplo, para el caso de este estudio, en las fotografías no se distinguieron adecuadamente a los individuos menores de 0.5 m y fue necesario disponer de información generada con estudios de cuadrantes permanentes. Por otro lado, el estudiar el crecimiento año tras año tiene su importancia, por ejemplo, para esclarecer los efectos de la variación climática. En tal caso, son adecuados los métodos tradicionales, siempre y cuando los errores sean mucho menores que el mismo crecimiento.

Con el cirio se tienen ciertas limitantes que no necesariamente se tendrían con otras especies. Por ejemplo, en los primeros años de crecimiento del cirio, al igual que muchas plantas de los desiertos, se desarrolla mejor bajo la sombra de plantas nodrizas o entre las rocas (Humphrey 1974). Asimismo, la apariencia de cirios pequeños, con su gran cantidad de ramas laterales y su tallo suculento robusto, es completamente arbustiva. Por estas dos razones es muy difícil distinguir en las fotografías a individuos pequeños creciendo bajo, o muy cercanos a, los arbustos aún conociendo la posición exacta donde debería estar el individuo. En otras especies (e.g. el cardón) esta dificultad se puede sobrellevar en parte por presentar una apariencia distinta entre arbustos e individuos pequeños.

Por otro lado, en cirios grandes en ocasiones resulta difícil distinguir sus ápices suculentos en la fotografía. En esta especie, las puntas son más delgadas que el resto del tallo suculento y en algunos casos éstas se superponen con ciertas características del paisaje en la foto y se hace difícil su distinción. En cardones o biznagas, por ejemplo, lo anterior no sería una dificultad ya que tienen puntas casi tan robustas y notables como el resto del tallo.

Otro factor que afecta la medición en algunos cirios es el hecho de que sus tallos suculentos se doblen fuertemente. Esto representa un mayor problema cuando se doblan hacia la posición de la cámara o en sentido contrario a ella (paralelo a la línea de vista). Si el doblez es en el mismo plano que la foto (perpendicular a la vista) es posible seguir la curva en la imagen con ayuda de los programas de cómputo y en esas condiciones la medición sobre fotos calibradas es más precisa y fácil que la medición directa en el campo. En este trabajo se requirió seguir una curvatura solamente para un cirio. Sin embargo, si fueron descartados algunos individuos con dobleces más o menos paralelos a la línea de vista.

Una característica favorable en el cirio es que en varios lugares la mayoría de los individuos presentan un solo tallo suculento. Cuando se tienen muchos tallos suculentos se corre el riesgo de que algunos tapen a otros e impidan su medición en las fotografías, o bien, no se tenga la certeza de que existan más tallos detrás de los que sí se ven. Esto podría ser una desventaja en cuanto al uso de esta técnica en ciertas especies con forma de candelabro como las pitahayas o los viejitos; sin embargo, se puede medir el crecimiento para ciertos tallos.

La técnica de la fotografía repetida calibrada, puede ser una herramienta útil en la estimación de áreas y volúmenes de ciertos individuos. Los programas de cómputo actuales, como Scion Image, permiten la estimación de áreas en partes seleccionadas de las fotos y con ello se puede estimar el volumen de las plantas, siempre y cuando sean simétricas como por ejemplo de tallos cilíndricos regulares.

Así, la técnica puede ser usada para muchas especies tanto de cactáceas columnares, como de datilillos, palmas, etcétera.

7.2 Autocorrelación

La autocorrelación mostrada en el cirio sugiere que los individuos presentan características especiales ya sea internas (genéticas, fisiológicas, enfermedades) y/o externas (ambiente físico, interacciones biológicas) que favorecen que se mantengan sus tasas particulares de crecimiento. Es decir, individuos que crecen mucho en un periodo de clima

adecuado es muy probable que vuelvan a crecer mucho en otros periodos semejantes, mientras que los que crecen poco tienden a seguir así.

Hay que destacar que se observó que la autocorrelación se sigue manifestando para tiempos tan largos como 30 años, aunque con un menor coeficiente de correlación (no se cuenta con datos para periodos mayores). Con el tiempo hay una mayor posibilidad de que las plantas experimenten cambios significativos en cuanto a competencia, disponibilidad de agua, nutrientes disponibles, daños mecánicos o plagas. Por ejemplo, una planta con el tiempo puede alcanzar otras zonas de suelo con fuentes más confiables de humedad, o bien, puede haber cambios notables en la composición o abundancia de vecinos.

Para los mismos datos donde no se encontraron relaciones significativas entre el crecimiento y el tamaño sí resultó significativa la autocorrelación, por ejemplo, en los datos de Humphrey y Humphrey (1990). La implicación es que los individuos se ven más afectados por esas condiciones individuales que por su tamaño. Sin duda el mejor indicador del futuro crecimiento de un individuo es la tasa de crecimiento que ha tenido en años recientes.

Este factor de autocorrelación del crecimiento es de suma importancia para el tema de estimación de edad y posiblemente para la identificación de localidades y micrositios particularmente favorables o desfavorables.

7.3 Crecimiento en relación con la longitud

Los resultados aquí presentados han mostrado una relación entre el crecimiento y el tamaño de los individuos cuando son menores de 1.5 m, mientras que para individuos mayores no se presenta esa relación. No se observaron mayores tasas de crecimiento entre las tallas de 0.9 a 3 m como lo sugiere Humphrey (1974) ni entre 2.5 a 3.5 m como lo mencionan Turner et al. (1995). En los datos de Humphrey y Humphrey (1990) tampoco se observa eso.

Cuando se analizaron los sitios por separado no se observó alguna relación significativa excepto para un sitio. Lo mismo sucedió cuando los datos se agruparon por periodo de medición. En otras agrupaciones como en el total de los datos la relación se

mostró significativa. Sin embargo, existe un riesgo al agrupar diferentes sitios donde las tasas crecimiento y las máximas alturas alcanzadas son diferentes entre ellos, ya que se puede observar dependencia del crecimiento con respecto al tamaño cuando en realidad ésta no exista. Por ejemplo, se ha observado que los individuos alcanzan alturas mayores en lugares donde crecen más rápido. Entonces es muy probable que la relación resultó significativa porque agrupamos individuos de sitios de lento crecimiento y con tamaños menores con sitios de crecimiento variable y tamaños que incluyen a individuos más grandes ya que los de lento crecimiento pesan mucho en un extremo de la nube de datos.

Por otro lado, el combinar diferentes intervalos también tiene sus desventajas. Para comentar esto, primero hay que diferenciar dos aproximaciones generales al estudio de crecimiento de las plantas: la clásica y la funcional (Hunt 1982). La clásica se refiere a la medición del tamaño o biomasa de la planta en dos puntos distantes en el tiempo y la obtención de una tasa de crecimiento promediada según el tiempo que transcurrió de un punto al otro. Es decir, no se observó la variación del crecimiento en todo el lapso y se obtuvo un valor estandarizado para el intervalo. Mientras que en la aproximación funcional la medición del tamaño se hace “instantáneamente”, es decir, se sigue el crecimiento mediante varias mediciones durante el desarrollo de las plantas. La aproximación usada en este trabajo sería clásica si se analizaran únicamente individuos del mismo tamaño, puesto que se obtienen tasas de crecimiento promedio a partir de dos mediciones de altura o longitud. Sin embargo, como se midieron organismos de diferentes tamaños se puede analizar de cierta manera el desarrollo de las plantas en general. Ahora, en caso de que existiera una relación del crecimiento con el tamaño entre mayor sea el intervalo involucrado mayores cambios relacionados con el tamaño quedarían enmascarados dentro del intervalo. Luego si estos datos los agrupamos con datos de intervalos cortos estaríamos provocando que se compararan individuos cuyo crecimiento “anualizado” resume buena parte de su vida con otros cuyo crecimiento apenas involucra una pequeña etapa de su desarrollo.

Cabe hacer notar que Humphrey y Humphrey (1990) siguieron el crecimiento de los individuos de una manera instantánea por 17 años, es decir con la aproximación funcional, y tampoco encontraron una relación del tamaño con el crecimiento.

En resumen, los datos sugieren dos posibilidades: a) la tasa de crecimiento del cirio no cambia con el tamaño de las plantas mayores a 1.5 m y b) la tasa de crecimiento del cirio aumenta notablemente con el tamaño de la planta en individuos menores a 1.5 m y luego ligeramente en individuos más grandes.

Si tomamos como válida la situación "b" (a pesar de las indicaciones estadísticas de este trabajo) sería parecido a lo que se ha observado en otras especies. Para el caso del sahuaro, cuando se toma en cuenta el crecimiento de los brazos, se observa un aumento continuo del crecimiento con el aumento en tamaño de la planta aunque con variaciones en la pendiente de la curva (Steenbergh y Lowe 1983). Asimismo, Parker (1988) encontró un aumento en las tasas de crecimiento con la longitud total de las plantas para el caso de *Stenocereus thurberi* y para *Lophocereus schottii*. Sin embargo, en ese trabajo faltaría un análisis de autocorrelación en el crecimiento para justificar el procedimiento analítico que se usó. Con cuatro individuos de *L. schottii* medidos anualmente durante 14 años Parker analizó cada intervalo como una situación independiente sin considerar la autocorrelación como una posibilidad en los individuos. De esta manera se analizaron 46 datos en lugar de 4.

En las cactáceas columnares y órganos, entre mayor es el tamaño de los tallos mayor es el área fotosintética y la superficie evaporativa. En cambio en el cirio, el tallo realiza algo de fotosíntesis, pero el área fotosintética más útil y la única superficie de intercambio gaseoso está determinada por el número de hojas (Franco-Vizcaíno et al. 1990). A su vez el número de hojas depende de las lluvias recientes, y del tamaño y número de ramas laterales largas y cortas, más que del tamaño de la planta. El aumento en tamaño le puede conferir ciertas ventajas en cuanto a sobrevivir sequías prolongadas (Burgess y Shmida 1988), pero no se relaciona tan directa y simplemente con la producción de fotosintatos como en las cactáceas. Por otra parte, el costo de mantener tejido no-fotosintético aumenta con el tamaño (Waring 1987, Friend 1993) en una relación no-lineal en esta especie de tronco cónico. Por lo anterior parece plausible que no haya una relación entre crecimiento y tamaño (longitud o altura) para individuos mayores de 1.5 m.

Sobre el crecimiento de plantas menores a 1.5 m es importante hacer algunas reflexiones. En la sección 2 se comentó sobre el crecimiento de tres "plántulas"

transplantadas (Humphrey 1974). El valor promedio (4.8 cm) es muy cercano al promedio general que aquí hemos encontrado (4.7 cm por año). Así, parece posible que en años muy húmedos las plántulas recién germinadas logren crecimientos notables en el primer año. Sin embargo, en nuestros análisis de los datos de Turner se observó que individuos de 0.25 a 0.5m tuvieron tasas de crecimiento durante 4 años de 0.5 a 2 cm por año mientras que los menores de 0.25m de 0 a 1 cm por año. Estos son los primeros resultados sobre el crecimiento de plantas de esos tamaños ya que la planta más pequeña con que trabajaron Humphrey y Humphrey (1990) “*in situ*” fue de 0.66m. Si el crecimiento es de un cm para individuos menores de 25cm y se ha mantenido durante su vida, entonces individuos de 25cm tendrían 25 años de vida. Sin embargo, hay razones para rechazar esta cifra como demasiado baja. En varias especies de plantas suculentas se conoce que la mortalidad es alta en tallas muy pequeñas y mucho menor en tallas intermedias (e.g. Pierson y Turner 1998); se esperaría lo mismo para el cirio. Asimismo, la mortalidad será menor conforme más rápidamente se formen mayores cantidades de reservas internas, resultado que depende de la misma tasa de crecimiento (Burgess y Shmida 1988). De ser así para el caso del cirio, entonces entre más rápido crezcan los individuos pequeños y dejen atrás esos tamaños más vulnerables, mayores posibilidades tendrán de resistir sequías y continuar con vida. Esta hipótesis podría llevar al siguiente razonamiento: si la sobrevivencia en tamaños pequeños es mucho mayor para individuos con tasas altas de crecimiento, entonces son éstas las tasas que se deberían usar para estimar las edades de individuos más grandes. Parece que este asunto debe resolverse con el seguimiento de esos individuos pequeños en los cuadrantes permanentes.

7.4 Crecimiento en el tiempo

Se observó que no había diferencias entre 49 y 93 años de medición en sitios tan cercanos como los de La Virgen que se encuentran en la misma planicie y a escasos 200 metros. Sin embargo destaca que en los sitios de 93 años no había individuos de lento crecimiento. Esto puede ser que en periodos largos se han eliminado los individuos lentos (que sí se observan en periodos más cortos para la misma zona). Por otra parte, también se

observó sitios como en Jaraguay donde todos los individuos mostraron tasas bajas por 68 años. Combinando estos resultados con aquellos sobre la autocorrelación del crecimiento y los efectos de factores del micrositio, parece que la variación entre individuos se debe en gran medida a la variación en calidad del (micro)sitio, por lo que las diferencias se mantienen a largo plazo.

Sería interesante investigar, como lo sugieren Niering et al. (1963) para el caso del sahuaro, que en condiciones favorables la competencia sea más importante mientras que en las situaciones desfavorables sean las características físicas del ambiente las más limitantes.

7.5 Diferencias de crecimiento entre sitios

Los sitios en este estudio se encuentran principalmente en la parte central de Baja California. Así fueron elegidos para limitar la variabilidad en el crecimiento, ya que se conocía que hacia el Océano Pacífico los cirios crecen muy lentamente en comparación con el interior de la península (Humphrey 1974). Asimismo, en la colección de fotografías repetidas que sirvió de base para este estudio Bullock (com. pers.) ha observado menor crecimiento aparente en los cirios de poblaciones más cercanas a la costa del Pacífico. Por otra parte, tampoco se seleccionaron sitios cercanos a los límites de distribución del cirio y se trató de abarcar sólo una parte de la distribución latitudinal. Sin embargo, aún así en nuestros resultados encontramos algunas diferencias entre sitios en cuanto a crecimiento. La Rinconada y Jaraguay presentan poco crecimiento promedio y menor variabilidad entre individuos. Asimismo destacan por la presencia mayoritaria de individuos de un tallo.

En La Rinconada los cirios crecen en un monte con substrato muy diferente a los otros sitios, hay rocas basálticas en la superficie, afloramientos de roca caliza y el granito subyacente es negro; mientras que en Jaraguay la roca subyacente es granítica semejante a varios de los otros sitios con mayor crecimiento. En La Rinconada la textura del suelo es más fina que en los suelos derivados de roca granítica. Sin embargo, llama la atención que en San Fernando, donde los cirios están al pie de un cerro, que también cuenta con afloramientos de caliza y en donde la textura del suelo también es fina, el crecimiento promedio fue parecido al resto de los sitios. Quizás el hecho de que los individuos se

encuentren al pie del cerro en una bajada y no en lo alto de éste o en pendientes fuertes como sucede en La Rinconada explique estas diferencias.

En Jaraguay es difícil encontrar una explicación, ya que individuos en condiciones aparentemente similares (pendientes fuertes, roca granítica y suelo con textura gruesa) también se encuentran en Agua Dulce donde por el contrario crecieron a tasas altas.

Sin embargo, existe otra posibilidad que puede explicar el lento crecimiento en ambos sitios, siendo diferencias en agua disponible debidas a la misma topografía. Se conoce que los tallos suculentos del cirio solamente crecen en la primavera después de las lluvias invernales y no con las de verano (Humphrey 1974); que la germinación ocurre en el invierno y probablemente la escasa precipitación invernal sea uno de los principales factores que determinen la distribución actual del cirio (Humphrey 1974, Warren 1979). Son precisamente las lluvias invernales más confiables y homogéneas en esta región que las de verano-otoño (Bullock, com.pers.). Asimismo, se conoce que la precipitación de invierno en la península disminuye de norte a sur pero en rangos latitudinales mayores que los aquí estudiados (Hastings y Turner 1965). Bajo esta situación las diferencias en precipitación en sitios cercanos sólo podrían explicarse por fenómenos como el efecto orográfico sobre la lluvia y las sombras orográficas. De San Fernando hasta San Luis, es decir abarcando nueve de los sitios, no existen cumbres altas al oeste que interrumpan el frente de humedad proveniente del Pacífico, generalmente son menores de 600 msnm y las pocas que hay de 900 msnm están varios kilómetros alejadas de los sitios. Mientras que en Jaraguay y La Rinconada y medianamente Cuarzo, se encuentra en cañones rodeados de cumbres cercanas y más elevadas. Al oeste de Jaraguay se encuentran Mesa San Ignacio y Mesa Jaraguay con alturas mayores a 800 y 900 msnm y un poco al sudoeste Mesa El Gato con alturas mayores a 1100 msnm. De la misma manera La Rinconada tiene muy cerca hacia el oeste cumbres de 900 y 1000 msnm (por ejemplo cerro El Platón con más de 1000 msnm). Hacia el este de estos dos sitios se encuentran cumbres todavía más elevadas como cerro El Pedregoso con 1400 msnm y hacia el sudeste de éste se encuentra arroyo La Turquesa, muy probablemente el lugar donde trabajaron Humphrey y Humphrey (1990). En Cuarzo la situación sigue siendo semejante pero se diferencia de los otros dos en que no presenta pendientes

pronunciadas. Se encuentra en una depresión donde inician las zonas de las lagunas secas. En resumen se sugiere que la sombra orográfica con la consecuente disminución de la precipitación podría explicar el poco crecimiento presente no sólo en La Rinconada y Jaraguay, sino también en Cuarzo y La Turquesa, condición discutida también por Humphrey y Humphrey (1990). Asimismo, si esta explicación se aplica para toda la zona de distribución del cirio se esperaría que hubiera mayor precipitación en las zonas cercanas al parteaguas de la península, pero en su lado oeste. En cambio en las zonas alejadas aún en el lado oeste se esperaría menor precipitación por la falta de lluvia orográfica. Esta explicación parece plausible ya que los sitios que mostraron mayores tasas de crecimiento (Agua Dulce, El Llano, La Virgen, etc) se encuentran en drenajes muy cercanos al parteaguas. También se explicaría el lento crecimiento de los individuos al este del parteaguas (La Turquesa) y los cercanos a la costa del Pacífico.

El hecho que individuos de un solo tallo dominen sitios donde las tasas de crecimiento resultaron bajas y, por otra parte, una relación significativa entre el número de tallos y el crecimiento, sugiere que el dominio de cirios ramificados indica una situación de crecimiento óptimo mientras que donde abundan los cirios de un solo tallo se relaciona con sitios no óptimos. En otras especies sucede algo parecido: en el sahuaro se ha observado mayor proporción de individuos de un solo tallo en condiciones de poca humedad, en los límites occidentales de su distribución y en plantas de lento crecimiento, mientras que en individuos de rápido crecimiento, en condiciones de precipitaciones relativamente altas, la ramificación es muy común; de hecho se asocia el número de brazos como una función de la tasa de crecimiento (Yeaton et al. 1980, Steenbergh y Lowe 1983). Así, la proporción de individuos ramificados pudiera servir como indicador de las condiciones del sitio y de las condiciones de crecimiento de los individuos. Esto puede tener una aplicación importante en el manejo de la especie.

A pesar de que varios sitios mostraban diferencias en sus tipos de roca y el grado de pendiente no se encontraron diferencias significativas en las tasas de crecimiento. San Fernando, El Llano y Cuarzo con rocas subyacente distintas, Agua Dulce y San Luis con pendientes de moderadas a fuertes no fueron diferentes en crecimiento con respecto a los

sitios de La Virgen (A, B y C), LC-1, Cataviñancito y San Luis. Sin embargo, la mayoría de ellos presentó una gran variación en el crecimiento entre individuos.

7.6 Edad del cirio

Si suponemos que las tasas de crecimiento no varían con el tamaño de la planta y que la tasa de crecimiento promedio anual es de 4.7 cm por año para todos los sitios entonces los cirios de 13 m de altura podrían tener 276.6 años.

Sin embargo, la estimación de edad debe hacerse a alturas o longitudes que sean posibles lograr en esos sitios donde se generaron los cálculos de tasas de crecimiento o curvas de crecimiento-longitud. Esto ya que se ha observado que existen diferencias en cuanto a las alturas que se pueden lograr en diferentes sitios (Humphrey y Humphrey 1969). Por otra parte debido a la autocorrelación del crecimiento las estimaciones tendrían un margen de error grande si se basan en tamaño y no en observaciones del crecimiento particulares para el cirio en cuestión.

Por ejemplo, en Jaraguay con una tasa promedio de 2.3 cm por año, para un individuo de 8m de altura su edad sería de 347.8 años. Por otro lado, el individuo más grande en este sitio creció a una tasa de 3.7 cm por año; a su altura actual de 11 m su edad sería de 297.3 años. En La Virgen A, con una tasa promedio de 8.4 cm por año y con plantas tan largas como 15m su edad sería de 178.6 años. Por otro lado, la planta más alta fue de 14.5m y tuvo una tasa promedio de 13 cm año, por lo que tendría una edad estimada de 111.5 años. Así, para los individuos más altos de cirio para los diferentes sitios, se puede estimar edades que fluctuarían desde 111.5 años hasta 347.8 con un promedio de 230 años. Con estas estimaciones de edad el cirio sería muy parecido en cuanto a longevidad a muchas plantas nativas de Baja California (Cuadro 10).

7.7 Edad del cirio más alto

Humphrey (1991) encontró que el cirio más alto registrado hasta la fecha mantuvo un crecimiento anual promedio de 12.9 cm por año en un lapso de 13 años (1976 a 1989). Al tratar de estimar su edad mencionaba que si se suponía que ese cirio hubiera mantenido

Cuadro 10. Longevidad para varias especies de árboles de Baja California y algunas plantas del Desierto Sonorense

Especie	Diámetro del tronco			Altura en la madurez			Duración de vida
	Rango promedio	máx	máx	Rango promedio	máx	máx	
<i>Abies concolor</i>	0.9	1.2	1.8	37	46	61.0	150-400
<i>Pinus attenuata</i>	0.3	0.6	0.9	18	24	30.5	100-150
<i>Pinus contorta</i>	0.3	0.8	0.9	9	21	45.8	120-300
<i>Pinus jeffreyi</i>	0.9	1.2	2.7	27	31	39.7	300-500
<i>Pinus lambertiana</i>	0.6	1.2	3.1	49	55	76.3	300-600
<i>Pinus monophylla</i>	0.3	0.6	0.9	6	9	15.3	150-225
<i>Quercus agrifolia</i>	0.3	0.9	1.8	9	18	33.6	150
<i>Carnegiea gigantea</i>				3	8	12	150-200 (a,b)
<i>Fouquieria splendens</i>							150-200 c
<i>Fouquieria columnaris</i>	0.2	0.4	0.7	5	15	20 ó 26.4	150-350
<i>Pachycereus pringlei</i>						20	>220-300 (d,e)

Los datos de las primeras 7 especies son de Altman y Dittmer 1962 (en Kozlowski, 1971)

aPierson y Turner, 1998

bSteenbergh y Lowe 1983

cDarrow 1943 en Turner et al. 1995

dSalazar com. pers.

eTurner et al. 1995

esa misma tasa de crecimiento por toda su vida, su edad sería de 208 años. Sin embargo, argumentó que en sus estudios previos (i. e. Humphrey y Humphrey 1990) se incluían años secos y tamaños pequeños donde el crecimiento es más lento y consideró más confiables los valores obtenidos en esos estudios: una tasa promedio de 3.7 cm por año; con ello estimó una edad para ese cirio en particular de 713 años (Humphrey 1991).

Con los resultados del presente trabajo tenemos evidencias que sostienen otro razonamiento. Primero, existe una autocorrelación notoria del crecimiento: individuos que han crecido mucho tienden a seguir el mismo ritmo. Segundo, tasas de crecimiento promedio de 12 cm o más por año se observaron en dos individuos en un lapso de 93 años y en otros dos por 49 años. A su vez, tasas entre 8 y 12 cm/año fueron observadas en 13 individuos sobre intervalos de 35 y 93 años. Por lo tanto, tasas de crecimiento altas sí se pueden mantener por grandes periodos de tiempo y tal vez toda la vida de la planta. Por estas razones, la edad de aquel cirio estaría mejor estimada en 208 años que en 713 años.

7.8 Crecimiento explicado por micrositio y vecinos

El área y tipo de suelo, parecen correlacionarse con la suma de tamaños de los vecinos y justificar, al menos en parte, la forma en que se estimaron ambos factores. Las irregularidades que puede tener la profundidad del suelo es un factor que tal vez explique la dispersión de esos datos, sin embargo es muy difícil de estimar; tal vez con métodos geofísicos de exploración se resuelva en parte este problema. Asimismo, las fracturas de las rocas permiten espacio adicional para la distribución de raíces de muchas plantas del desierto y esto es todavía más difícil de estimar. Un tercer factor importante es el desconocimiento de la distribución de raíces en el sitio particular: por ejemplo, vecinos que se encuentran en las orillas del área analizada, probablemente tienen una buena parte de sus raíces hacia el exterior del área; por lo tanto, su tamaño aéreo no sería un buen estimador de su influencia subterránea con respecto al cirio focal. A pesar de estas limitantes se pudo explicar una proporción apreciable de la variación en el crecimiento entre los cirios (50%).

Por otro lado, el análisis de diferentes combinaciones de vecinos como posibles competidores del cirio resultó en la eliminación de solo dos especies del grupo original. Estas fueron las freatofitas *Acacia gregii* y *Prosopis sp.*. Estas dos especies tienen una distribución de raíces notablemente más profunda que el resto de las especies. Las otras especies son de dos tipos generales: las especies suculentas con absorción de agua a potenciales altos (*Agave spp.*, *Bursera microphylla*, *Ferocactus spp.*, *Fouquieria columnaris*, *Fouquieria splendens*, *Lophocereus schottii*, *Opuntia spp.*, *Pachycereus pringlei* y *Pachycormus discolor*) y las especies arbustivas perennifolias con absorción de agua a potenciales bajos (*Larrea tridentata*, *Simmondsia chinensis* y *Viscainoa geniculata*). La distribución de raíces del cirio parece que se traslapa con la de todas estas especies no así el potencial de agua que es diferente con respecto a las arbustivas perennifolias. Sin embargo, la competencia entre especies de estos dos grupos parece plausible. Yeaton et al. (1977) observaron competencia entre *Larrea tridentata* y *Fouquieria splendens* y entre *Larrea tridentata* y *Opuntia fulgida*. Mientras que Briones et al. (1996) reportaron competencia entre *Larrea tridentata* y *Opuntia rastrera*. Entonces es probable que el cirio compita tanto con especies que absorben agua a potenciales bajos como con aquellas que absorben agua a potenciales altos, siempre y cuando la distribución de raíces se traslape. Esto último, debido a que se ha observado que especies con distribución de raíces muy diferentes no compiten entre sí (Yeaton et al. 1977, Briones et al. 1996).

La suma de tamaños de este grupo de vecinos competidores puede explicar una parte de la variación en el crecimiento del cirio. Sin embargo, se debe considerar áreas distintas para cirios de diferentes tamaños. En este estudio con sólo dos áreas se observó una relación entre crecimiento y la suma de tamaños de los vecinos. Las áreas fueron de 6 m de radio para cirios pequeños y de 12 m de radio para cirios grandes. Otra alternativa diferente a la aquí tomada es trabajar sólo con cirios de tamaño parecido y así disminuir el problema de considerar diferentes áreas.

De la información del micrositio sólo el caliche y la posición fisiográfica del cirio parecen explicar parte de la variación en el crecimiento del cirio. La pendiente y exposición para estos sitios no resultaron relevantes pero se espera que para otros sitios con pendientes

más pronunciadas sí tengan un efecto significativo. El área y tipo (la estimación de la profundidad) de suelo no mostraron relación significativa con el crecimiento del cirio. Aquí otra vez se debería considerar diferentes áreas para cirios de diferente tamaño. Sin embargo, con dos áreas de 6m de radio y 12m de radio no hubo correlación significativa con el crecimiento.

Los tres factores mencionados (caliche, posición fisiográfica y vecinos) explicaron el 50% de la variación en el crecimiento del cirio sin considerar el tamaño de la planta. El resto de la variación puede ser resultado de enfermedades, aspectos genéticos y/o fisiológicos de las plantas, y de los errores de estimación de estos tres parámetros y del crecimiento del cirio.

7.9 Implicaciones en el manejo

En el manejo forestal es importante el reconocimiento de sitios productivos de aquellos improductivos. Por ejemplo, Mesón y Montoya (1993) recomiendan la aplicación de métodos de corta solamente en sitios de alta regeneración. Asimismo, los forestales han encontrado que la altura de los árboles es el parámetro de crecimiento más apropiado para medir productividad del sitio (Zahner 1968). Para el caso del cirio parece que las alturas máximas alcanzadas en los diferentes sitios tienen una relación directamente proporcional con la productividad del sitio. Humphrey y Humphrey (1969) han observado diferencias en alturas máximas entre cirios de la costa del Pacífico con los del interior, asimismo existen algunas evidencias de que el crecimiento en el Pacífico es menor que en el interior (Humphrey 1974, Bullock com. pers.). Así, parece adecuado sugerir como indicadores de productividad las alturas máximas de los cirios. Por otra parte, aquí se ha sugerido que la proporción de individuos ramificados en cada sitio también podría indicar la productividad de éste. Asimismo, dado el factor de autocorrelación, el crecimiento reciente de los cirios también puede indicar no sólo lugares óptimos sino a individuos con tasas particulares de crecimiento. De esta manera, se pueden seleccionar individuos con ciertas características especiales, como el crecimiento vigoroso, para coleccionarles semillas destinadas a plantaciones o reforestaciones. En conclusión, para el caso del cirio se podría disponer de tres

indicadores biológicos que conjuntamente nos podrían auxiliar en el reconocimiento de la productividad de los sitios y de los individuos. Esta información sería útil tanto para el ordenamiento del territorio como para aprovechamientos forestales, labores de conservación, reforestación e investigación.

El método de la fotografía repetida igualmente es de utilidad para la identificación de sitios productivos e improductivos, particularmente en cuanto al reclutamiento. Asimismo, se recomienda como método complementario en labores de monitoreo para zonas de conservación, aprovechamientos y efectos de cambios climáticos.

Por otra parte, dada la relación significativa entre el "dap" y la longitud de las plantas parece razonable el uso de esta medida como indicador del tamaño de las plantas, siendo mucho más fácil medir que la longitud o altura. En muchas otras especies y sobre todo en las coníferas, el "dap" se ha usado durante mucho tiempo como indicador del tamaño tanto para investigaciones científicas como para las prácticas forestales. Sin embargo, es necesario comprobar que la relación existe en otras regiones, además de verificar su calibración y tomar en cuenta que es una estimación estadística.

El hecho de que el crecimiento del cirio pueda ser en algunos sitios algo más rápido de lo que antes se creía puede motivar el aprovechamiento del cirio. Sin embargo, este trabajo es sólo una aproximación al conocimiento de la especie sobre todo para individuos mayores a 1.5 m, y se ha comentado en párrafos anteriores la necesidad de profundizar más en el estudio del crecimiento en individuos pequeños (menores a 1.5 m). Asimismo, en la productividad de un sitio no sólo es importante la tasa de crecimiento sino también el reclutamiento de los individuos. Sobre este asunto Bullock (en preparación) ha observado que durante los últimos 100 años en diferentes sitios ha habido un menor reclutamiento en comparación con la mortalidad. Así, parece que hay una disminución en las poblaciones del cirio en grandes áreas de Baja California. Por lo que se recomienda ser prudentes en el ámbito regulatorio y motivar primero el debate y la investigación en el ámbito académico. Es conveniente el debate tanto para evaluar los resultados como para plantear si se requieren otras líneas de investigación diferentes a las que se están llevando a cabo actualmente (Turner et al. com. pers., Bullock com. pers., Clark, com. pers.). Por otra parte, falta

conocer cuales han sido los impactos humanos en las poblaciones del cirio. Por ejemplo, cual ha sido el efecto de la ganadería para las plantas del desierto bajacaliforniano, o como ha sido la recuperación de las poblaciones de cirio en las zonas donde ha habido aprovechamientos.

Es importante resaltar que el manejo de una especie vegetal o área natural no es sinónimo de aprovechamientos forestales. Manejo es un concepto mucho más amplio en donde se incluyen aspectos de conservación, educación, políticas de uso de suelo, legislación ambiental, gestión ambiental, etcétera, y no nada más aprovechamientos. Por ejemplo, el manejo de áreas silvestres es el manejo del uso e influencias humanas para preservar la naturaleza y su aislamiento. Ello incluye todo para administrar el área – la formulación de metas y objetivos, y todas las políticas, normas y acciones de campo para lograrlas (Hendee et al. 1990). El manejo del cirio desde la década de los 80's ha estado orientado hacia su conservación por los decretos de protección que existen para la mayoría de su área de distribución. Por su parte, esta investigación es una contribución parcial a las bases técnicas necesarias para labores de manejo más específicas tanto de nivel local como regional.

8. CONCLUSIONES

- La tasa de crecimiento del cirio, promediada sobre periodos de 35-93 años, diferentes sitios y micrositos fue de 4.7 cm por año.
- La tasa de crecimiento no parece depender del tamaño excepto para individuos menores de 1.5 m.
- El crecimiento presenta autocorrelación, lo que apoya la idea de que características particulares del cirio o del microsito son los que originan la variación entre individuos independientemente de su tamaño.
- Los individuos con más tallos crecen más en longitud.
- Gran parte de las variaciones en el crecimiento en individuos mayores de 1m se explica por las condiciones del medio (microsito físico y vecinos).
- Los individuos más grandes son los que mayores tasas de crecimiento han tenido y no necesariamente son los que más tiempo han vivido.
- La edad de los individuos más grandes es de alrededor de 250 años, pero la estimación está sujeta a grandes variaciones según sus supuestos.
- No se encontraron diferencias significativas entre los intervalos involucrados (desde 35 hasta 93 años).
- El crecimiento anual promedio y su variabilidad, además de la altura máxima y la proporción de individuos con un solo tallo, difiere entre sitios.
- Se sugiere que las diferencias entre sitios se deben a efectos de la topografía: mayor o menor precipitación por efectos orográficos y mayor o menor drenaje local por efectos de la pendiente.
- Se proponen dos indicadores morfológicos de la productividad de los sitios: las máximas alturas alcanzadas en los diferentes sitios y la proporción de individuos ramificados.
- Un tercer indicador, que también serviría para distinguir individuos con tasas altas de crecimiento, es la observación del crecimiento reciente en los individuos.
- Para fines dasonómicos la longitud total puede estimarse con base en el diámetro a la altura de 1.5 m (dap).

- La técnica de fotografía repetida calibrada demostró ser una buena herramienta para el estudio del crecimiento. Es posible hacer estimaciones rápidas y precisas de tasas de crecimiento de plantas con pocas ramificaciones y en paisajes abiertos.

9. LITERATURA CITADA

- Altman, P. L. y D. S. Dittmer. 1962. Growth, including reproduction and morphological development. Federation of American Societies for Exptl. Biology. Washington, D.C.
- Aschmann, H. 1959. The Central Desert of Baja California: Demography and Ecology. University of California Press. Los Angeles CA, U.S.A. 315p.
- Briones, O., C. Montaña y E. Ezcurra. 1996. Competition between three Chihuahuan desert species: evidence from plant size-distance relations and root distribution. *J. Vegetation Science* 7:453-460.
- Bullock, S. H. 1999. Developmental patterns of tree dimensions in a neotropical deciduous forest. *Biotropica*: en prensa.
- Burgess, T. L. y A. Shmida. 1988. Succulent Growth Forms in Arid Environments. Pp. 383-395 en: Whitehead, E. E., C. F. Hutchinson, B. m. Timmermann y R. G. Verity (eds), *Arid Lands: Today and Tomorrow*. Westview Press, Boulder. 1435p.
- Clark y Clark 1982. A new diameter record for the cirio, *Idria Columnaris*, in Baja California, Mexico. *Cact. Succ. Jour.* 54:64-65.
- Court, A. y L. Meskimen. 1980. Tropical storm landfalls in western North America, 1899-1948. pp. 198-201 en: Second Conference on Coastal Meteorology, Preprints. American Meteorological Society, Los Angeles.
- Daget, P. y S. Reyes. 1989. Sur la variabilite des precipitations dans la Basse Californie du nord (Mexique). *Geofis. Int.* 28(4):693-720.
- Darrow, R. A. 1943. Vegetative and floral growth of *fouquieria splendens*. *Ecology* 24:310-322.
- Ehleringer, J. 1985. Annuals and perennials of warm deserts. pp. 162-180 en: Chabot B. F. y H. A. Mooney (eds.), *Physiological Ecology of North American Plant Communities*. Chapman and Hall, New York, 351p.
- Ford, E. D. y K. A. Sorrensen. Theory and models of inter-plant competition as a spatial process. pp. 363-407 en: DeAngelis, D.L. and L.J. Gross (eds.), *Individual-based models and approaches in ecology: populations, communities and ecosystems*. Chapman and Hall, New York, 525p.

- Franco-Vizcaíno, E. 1994. Water regime in soils and plants along an aridity gradient in central Baja California, Mexico. *J. Arid Env.* 27:309-323.
- Franco-Vizcaíno, E., G. Goldstein y I. P. Ting. 1990. Comparative gas exchange of leaves and bark in three stem succulents of Baja California. *Amer. J. Bot.* 77(10):1272-1278.
- Franco-Vizcaíno, E., R. C. Graham y E. B. Alexander. 1993. Plant species diversity and chemical properties of soils in the central desert of Baja California, Mexico. *Soil Science* 155(6):406-416.
- Franco-Vizcaíno, E. y R. A. Khattak. 1989. Elemental composition of soils and tissues of natural jojoba populations of Baja California, Mexico. *J. Arid. Env.* 19:55-63.
- Friend, A. D. 1993. The prediction and physiological significance of tree height. pp. 101-115. In: A. M. Solomon y H.H. Shugart (eds), *Vegetation Dynamics and Global Change*, Chapman and Hall, New York, 338p.
- Fuller, W. H. 1974. Desert Soils. pp. 31-101 en: Brown G.W. (ed.) *Desert Biology*, Volume II, Academic Press, New York, 601p.
- Gastil, R. G., R. P. Phillips y E. C. Allison. 1975. *Reconnaissance Geology of the State of Baja California*. Geol. Soc. America. Mem. 140, 170p.
- Graham, R. C. y E. Franco-Vizcaino. 1992. Soils on igneos and metavolcanic rocks in the Sonoran Desert of Baja California. *Geoderma* 54:1-21.
- Hastings, J. R. y R. M. Turner. 1965a. *The Changing Mile. An ecological Study of Vegetation Change With Time in the Lower Mile of an Arid and Semiarid Region*. University of Arizona Press, Tucson, 317p.
- Hastings, J. R. y R. M. Turner. 1965b. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. *Geografiska Annaler* 47:204-223.
- Hendee, J. C., G. H. Stankey y R. C. Lucas. 1990. *Wilderness management*. International Wilderness Leadership Foundation, U.S.A. 546p.
- Henrickson, J. 1969. Anatomy of periderm and cortex of Fouquieraceae. *Aliso* 7:97-126.
- Henrickson, J. 1972. A taxonomic revision of the Fouquieraceae. *Aliso* 7:439-537.
- Humphrey, R. R. 1935. A study of *Idria Columnaris* and *Fouquieria splendens*. *American Journal of Botany* 22:184-207.

- Humphrey, R. R. 1970. The cirio: the tallest tree of the Sonoran Desert? *Cactus and Succulent Journal* 42: 99-101.
- Humphrey, R. R. 1974. The Boojum and its Home: *Idria Columnaris* Kellogg and its ecological niche. University of Arizona Press, Tucson. 214p.
- Humphrey, R. R. 1987. *90 years and 535 miles*. University of New México Press, Albuquerque.
- Humphrey, R. R. 1991. Montevideo Valley and its tallest recorded cirio. *Cactus and Succulent Journal* 63:239-240.
- Humphrey, R. R. and A. B. Humphrey. 1969. Height and volume characteristics of *Idria columnaris* Kellogg. *Jour. AZ Acad. Sci.* 5(4) 207-215.
- Humphrey, R. R. y A. B. Humphrey. 1990. *Idria columnaris*: Age as determined by growth rate. *Desert Plants* 10:51-54.
- Hunt, R. 1982. *Plant Growth Curves: the functional approach to plant growth analysis*. University Park Press, Baltimore, 248 p.
- INE-SEMARNAP. 1997. Programa de conservación de la vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural. México. 207p.
- Kozlowski, T. T. 1971. Growth and development of trees. Volume I, Seed germination, ontogeny and shoot growth. Academic Press. New York. U.S.A. 443 p.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer y S. G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego, 657 p.
- Keeley, J. E. 1993. Utility of growth rings in the age determination of chaparral shrubs. *Madroño* 40:1-14.
- Lieberman, M. y D. Lieberman. 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology* 66(2):632-635.
- Meson, M. I. y M. Montoya. 1993. *Selvicultura mediterránea: el cultivo del monte*. Mundi-Prensa, Madrid, 368p.
- Miranda, F., S. Reyes, J. G. Espinoza y J. García. 1991. Climatología de la Región Noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa). Parte II.-

- Temperatura: Series de tiempo del valor mensual y estadísticas del año climatológico. Reporte Técnico CICESE. CIOFT9108.
- Moran, R. 1983. The vascular flora of Isla Ángel de la Guarda. pp. 382-403 en: T. J. Case y M. L. Cody (eds) *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, USA. 508p.
- Nelson, E. W. 1922. Lower California and its natural resources. *Memoirs of the National Academy of Sciences* 16(1):1-192.
- Niering, W. A., R. H. Wittaker y C. H. Lowe. 1963. The saguaro: a population in relation to environment. *Science* 142:15-23.
- Nilsen, E. T., M. R. Sharifi, P. W. Rundel, I. N. Forseth y J. R. Ehleringer. 1990. Water relations of stem succulent trees in north-central Baja California. *Oecologia* 82:299-303.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental Biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press, New York, 270 p.
- Noy-Meir, I. 1973. Desert ecosystems: environment and producers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4:25-51.
- Parker, K. C. 1988. Growth rates of *Stenocereus thurberi* and *Lophocereus schottii* in southern Arizona. *Bot. Gaz.* 149(3):335-346.
- Pavía, E. G. y A. Badan. 1998. ENSO modulates rainfall in the Mediterranean Californias. *Geophysical Research Letters* 25(20):3855-3858.
- Pierson, E. A. y R. M. Turner. 1998. An 85-year study of Saguaro (*Carnegiea gigantea*) demography. *Ecology* 79(8):2676-2693.
- Piñero, D., M. Martínez-Ramos y J. Sarukhán. 1984. A population model of *Astrocaryum mexicanum* and a sensitivity analysis of its finite rate of increase. *Journal of Ecology* 72:977-991.
- Peinado, M., F. Alcaraz, J. L. Aguirre y J. Delgadillo. 1995. Mayor plant communities of warm North American deserts. *Journal of vegetation science* 6:79-94
- Reyes, S., F. Miranda y J. García. 1990. *Climatología de la Región Noroeste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa)*. Parte I.- Precipitación: Series

- de tiempo del valor total mensual y estadísticas del año climatológico. Reporte Técnico CICESE. CIOFIT9001.
- Reyes, S. y P. Rojo. 1985. Variabilidad de la precipitación en la península de Baja California. *Revista Geofísica* (22/23): 111-128.
- Rogers, G. F., H. E. Malde y R. M. Turner. 1984. *Bibliography of repeat photography for evaluating landscape change*. University of Utah Press, Salt lake City. 179 p.
- Rundel, P. W. y P. S. Nobel. 1991. Structure and function in desert root systems. pp. 349-378. In: Atkinson, D. *Plant Root Growth: an ecological perspective*. Oxford Sci. Publ.
- Rundel, P. W., R. M. Cowling, K. J. Esler, P. M. Mustart, E. van Jaarsveld y H. Bezuidenhout. 1995. Winter growth phenology and leaf orientation in *Pachypodium namaquanum* (Apocynaceae) in the succulent karoo of the Richtersveld, South Africa. *Oecologia* 101:472-477.
- Shreve, F. 1951. *Vegetation of the Sonoran Desert*. Carnegie Institution of Washington Publication no. 591. Washington, D.C.
- Steenbergh, W. F. y C. H. Lowe. 1977. Ecology of the saguaro: II. Reproduction, germination, establishment, growth, and survival of the young plant. National Park Service scientific monograph series: no. 8, U.S.A. 242 p.
- Steenbergh, W. F. y C. H. Lowe. 1983. Ecology of the saguaro: III. Growth and Demography. National Park Service scientific monograph series: no. 17, U.S.A. 228p.
- Turner, R. M. 1990. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran Desert site. *Ecology*, 71(2):464-477.
- Turner, R. M., J.E. Bowers y T. L. Burgess. 1995. *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas*. University of Arizona Press, Tucson. 504 p.
- Walter, H. y E. Stadelmann. 1974. A new approach to the water relations of desert plants. pp. 213-310 en: Brown G.W. (ed.) *Desert Biology, Volume II*, Academic Press, New York. 601p.
- Waring, R. H. 1987. Characteristics of trees predisposed to die. Stress causes distinctive changes in photosynthate allocation. *Bioscience* 37:569-574.

- Warren, D. K. 1979. Precipitation and temperature as climate determinants of the distribution of *Fouquieria columnaris*. Ph.D. dissertation, Walden University, Naples, Florida, 132p.
- Yeaton, R. I, J. Travis y E. Gilinsky. 1977. Competition and spacing in plant communities: the Arizona Upland Association. *J. Ecol.* 65:587-595.
- Yeaton, R. I., R. Karban, H. B. Wagner. 1980. Morphological growth patterns of saguaro (*Carnegiea gigantea*: Cactaceae) on flats and slopes in Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona. *Southwestern Naturalist* 25:339-349.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees. pp.191-254. In: T. T. Kozlowski (ed), *Water Deficits and plant Growth. Volume II. Plant water consumption and response.* Academic Press, New York, 333 p.
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis.* Prentice-Hall. U. S. A. 718 p.
- Zippin, D. B. y J. M Vanderwier. 1994. Scrub community descriptions of the Baja California peninsula, México. *Madroño* 41(2):85-119.

APÉNDICE 1

rácter técnico que obran en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, las aguas del DREN XOCHITLAN o BARRANCA GRANDE o ZOQUIAC, MANANTIALES EL RAZADOR, BARRANCAS DOLORES, SIN NOMBRE, INNOMINADA, EL HORNO y LA PILA, en los Municipios de Tlacoatepec de Benito Juárez, Huitziltepec, Xochitlán Todos Santos y Molcaxac, Estado de Puebla, tienen las siguientes características:

DREN XOCHITLAN o BARRANCA GRANDE o ZOQUIAC.—Sus aguas se originan en terrenos del ejido de San Lucas El Viejo, Municipio de Tlacoatepec de Benito Juárez; son de régimen intermitente y escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Oeste; tienen un recorrido total aproximado de 20,200 metros; atraviesan en su recorrido terrenos de los Municipios de Huitziltepec, Xochitlán Todos Santos y Molcaxac; 12,800 metros aproximadamente abajo, inician las afloramientos en su cauce; las aguas de los manantiales El Rizador y cambian su régimen a permanente; 300 metros aproximadamente adelante, reciben por la margen derecha las aguas de la barranca Dolores; 2,000 metros aproximadamente abajo, reciben por la margen derecha las aguas de la barranca El Horno; 3,600 metros aproximadamente más adelante, reciben por la margen derecha las aportaciones de la barranca La Pila y 1,500 metros aproximadamente abajo, afluyen por la margen izquierda al río Atoyac, el cual forma su propia cuenca y se encuentra determinado de Propiedad Nacional mediante Declaratoria Núm. 51 de 23 de octubre de 1937, publicada en el "Diario Oficial" de la Federación el 20 de diciembre del mismo año.

MANANTIALES EL RAZADOR.—Son un sinnúmero de afloraciones en el cauce de la barranca Grande o Zoquiaco o Dren Xochitlán, iniciándose a 12,800 metros aproximadamente aguas abajo del origen de ésta; son de régimen permanente y escurren en el cauce de la citada barranca.

BARRANCA DOLORES.—Sus aguas se originan en las estribaciones del cerro El Gavilán, 600 metros aproximadamente al Sur del barrio de Dolores en el Municipio de Molcaxac; son de régimen intermitente y escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Oeste; tienen un recorrido total aproximado de 6,000 metros; abajo de su origen reciben por la margen derecha las aguas de la barranca Sin Nombre y afluyen por la margen derecha a la barranca Grande o Zoquiaco o Dren Xochitlán.

BARRANCA SIN NOMBRE.—Sus aguas se originan en terrenos del pueblo de Santa Clara Huitziltepec, Municipio de Huitziltepec; son de régimen intermitente y escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Oeste; tienen un recorrido total aproximado de 1,300 metros; abajo reciben por la margen derecha las aguas de la barranca Innominada y afluyen por la margen derecha a la barranca Dolores.

BARRANCA INNOMINADA.—Sus aguas se originan en terrenos del pueblo de Santa Clara Huitziltepec; escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Sur; tienen un recorrido total aproximado de 500 metros y afluyen por la margen derecha a la barranca Sin Nombre.

BARRANCA EL HORNO.—Sus aguas se originan en terrenos del pueblo de Santa Cruz Huitziltepec; son de régimen intermitente y escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Poniente; tienen un recorrido total aproximado de 2,500 metros y afluyen por la margen derecha a la barranca Grande o Zoquiaco o Dren Xochitlán.

BARRANCA LA PILA.—Sus aguas se originan en terrenos del ejido de Santa Cruz Huitziltepec, Municipio de Molcaxac; son de régimen intermitente y escurren en cauce bien definido; siguen un rumbo Poniente; tienen un recorrido total aproximado de 3,000

metros y afluyen por la margen derecha a la barranca Grande o Zoquiaco o Dren Xochitlán.

De la descripción anterior se deduce que las aguas de que se trata, corresponden a las que se refieren el párrafo quinto del artículo 27 Constitucional y los artículos 5o. fracciones V y VIII y 6o. fracciones III, IV, y VIII de la Ley Federal de Aguas, por lo que, con fundamento en los artículos 16 fracción I de la ley antes invocada, 1o. y 2o. del Reglamento de la Ley de Aguas de Propiedad Nacional, aplicables al caso conforme a lo dispuesto por el artículo Segundo Transitorio de la Ley Federal de Aguas, se declara que son Propiedad Nacional las aguas del DREN XOCHITLAN o BARRANCA GRANDE o ZOQUIAC, MANANTIALES EL RAZADOR, BARRANCAS DOLORES, SIN NOMBRE, INNOMINADA, EL HORNO y LA PILA, lo mismo que sus cauces y zonas federales, en la extensión que fija la ley.

Los usuarios de estas aguas, así como quienes ocupen, extraigan o aprovechen materiales de los cauces y zonas federales de las citadas corrientes, contarán con un plazo de noventa días, a partir de la fecha en que se publique esta Declaratoria en el "Diario Oficial" de la Federación, para presentar ante la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, las solicitudes que en su caso correspondan, en los términos que señala la Ley Federal de Aguas.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D. F., a 24 de abril de 1980.—El Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, José López Portillo.—Rúbrica.—El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Francisco Merino Rábago.—Rúbrica.

Decreto por el que por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida con el nombre de Valle de los Cirios, en la vertiente central de la Península de Baja California.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.—Presidencia de la República.

JOSE LOPEZ PORTILLO, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, en uso de la facultad que me confiere el artículo 89 fracción I de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y con fundamento en el artículo 27 constitucional y en lo dispuesto por los artículos 11, fracción VI y 154 de la Ley Federal de Reforma Agraria; 1o., 2o., 3o. fracciones I, II, VI y X; 4o., 7o., 9o., 5o., 5B y 80 de la Ley Forestal; 1o., 159, 163, 175 y 180 del Reglamento de la misma; 1o., 2o., 3o., 4o. incisos de la a) a la d), 6o., 7o. y 9o. de la Ley Federal del Caza; 35 fracciones XI, XVI, XVIII, XXII y XXV, 41 fracciones VI y XIII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y,

CONSIDERANDO

Que la región conocida con el nombre de "Valle de los Cirios", que se localiza dentro de la catayina, en la vertiente central de la Península de Baja California, reviste gran interés por la diversidad en su tipo de topografía, climatología e hidrología, motivos por los que se encuentran diferencias muy marcadas en las áreas en las que crecen los cirios (hidria columnaris), altamente bifurcados, con crecimiento reducido debido a la influencia salina y en otras partes, o son sumamente altos o con desarrollo uniforme y normal, dentro de las superficies del Desierto Central y del Vizcaíno.

Que es derecho y obligación de los Gobiernos Fe-

deral y Estatales conservar los recursos forestales y las especies de la flora y fauna silvestres que subsisten libremente en el territorio nacional y que son parte del patrimonio de la Nación.

Que está a cargo del Ejecutivo Federal, a través de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, proveer de la exacta observancia y cumplimiento de las disposiciones de la ley de la materia y consecuentemente dictar las medidas necesarias, para conservar, restaurar, proteger, incrementar y aprovechar los recursos forestales, con objeto de evitar la erosión y degradación de los suelos, así como la de mantener y regular el régimen hidrológico, preservándolos de cualquier daño, alteración o destrucción por acciones del hombre.

Que a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos también le corresponde incrementar, proteger y vigilar la propagación de las especies de la flora y fauna silvestres que juzgue pertinentes, mejorando las condiciones ecológicas del medio ambiente natural en que subsisten.

Que de los estudios que realizó la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para la conservación, reproducción e incremento de la fauna y flora silvestres, se determinó que para el logro de tales objetivos es conveniente se establezca zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre en la mencionada región, debiendo, para tal efecto, realizar los trabajos de protección, fijación y restauración de suelos, a los de repoblación e incremento de masas arboladas, a la preservación y propagación de la fauna silvestre, así como a la preservación del régimen ambiental e hidrológico de dicha región.

Que para cumplir con los fines de interés público apuntados en las consideraciones que anteceden, he tenido a bien expedir el siguiente

DECRETO

ARTICULO PRIMERO.—Por causa de interés público se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida con el nombre de "Valle de los Cirios", que se localiza dentro de la cataviña, en la vertiente central de la península de Baja California, comprendida dentro de las siguientes coordenadas geográficas:

Al Norte el paralelo 30°, al Sur el paralelo 28°, al Este el meridiano 113° y al Oeste el meridiano 116°.

ARTICULO SEGUNDO.—La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de acuerdo con lo que dispone la ley de la materia, promoverá la cooperación de los propietarios y poseedores en la realización de los trabajos o en la ejecución de las obras encaminadas a lograr la reforestación, protección, fijación y restauración de suelos, a la repoblación e incremento de masas forestales, a la preservación y propagación de la fauna silvestre y a la preservación del régimen ambiental e hidrológico de la región antes citada.

En caso de que los propietarios y poseedores se hallen en la imposibilidad de realizar los trabajos o de ejecutar las obras a que se refiere este artículo, podrán acogerse a las condiciones, términos y procedimientos que fijan las leyes de la materia.

Si los propietarios o poseedores se rehusaran a cooperar o bien se opusieran a la realización de los trabajos o la ejecución de las obras a que se refiere este mandamiento, el Ejecutivo Federal, por conducto

de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, adquirirá, para los fines que se indican, los terrenos de propiedad particular que se localicen dentro de la superficie señalada en el artículo primero de este ordenamiento.

ARTICULO TERCERO.—En el área delimitada en el artículo primero de este ordenamiento y a efecto de que se cumpla la función protectora, queda estrictamente prohibido en todo tiempo, cazar, capturar, perseguir, molestar o perjudicar en cualquier forma a los animales que habiten temporal o permanentemente en dicha zona, salvo lo dispuesto en el artículo quinto de este mandamiento.

ARTICULO CUARTO.—Cuando alguna institución científica o educativa de seriedad reconocida, pretenda realizar investigaciones que ameriten coleccionar ejemplares de la zona de refugio de la fauna silvestre que se decreta, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, expedirá el permiso correspondiente de acuerdo con lo que prevén las disposiciones legales del caso.

ARTICULO QUINTO.—La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, podrá autorizar temporadas experimentales de caza en la zona de refugio de la fauna silvestre, cuando la población haya aumentado al grado de rebasar las condiciones óptimas de sustentación.

ARTICULO SEXTO.—Queda a cargo de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, establecer la vigilancia necesaria para el cumplimiento de lo dispuesto en el presente mandamiento y las infracciones que llegaren a cometerse se sancionarán conforme a lo señalado en la ley de la materia.

ARTICULO SEPTIMO.—La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en coordinación con la de la Reforma Agraria conforme a las disposiciones que prevén las leyes de la materia establecerán las medidas que en su caso deberán observar los ejidos y comunidades que se localicen dentro de la zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre, en la preservación y enriquecimiento de suelos, bosques y aguas.

ARTICULO OCTAVO.—En la región delimitada en el artículo primero del presente decreto, la Secretaría de la Reforma Agraria procederá a hacer los deslindes de los terrenos ejidales y comunales y las declaraciones relativas a los presuntos terrenos nacionales, baldíos y demasías.

ARTICULO NOVENO.—La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, procederá a solicitar de las oficinas del Registro Público de la Propiedad del lugar, la inscripción de este ordenamiento.

TRANSITORIO

UNICO.—El presente decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el "Diario Oficial" de la Federación.

Dado en la Residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la ciudad de México, Distrito Federal, a los veinticinco días del mes de abril de mil novecientos ochenta.—José López Portillo.—Rúbrica.—El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Francisco Merino Rábago.—Rúbrica.—El Secretario de la Reforma Agraria, Antonio Toledo Corro.—Rúbrica.

APÉNDICE 2

# Cirio	sitio	foto antigua	intervalo	medidas antiguas (m)						longitud	# tallos
				Tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 4				
1	Cataviñancito	1949	49	2.682					2.682	1	
2	Cataviñancito	1949	49	1.27					1.27	1	
3	Cataviñancito	1949	49	6.546					6.546	1	
4	Cataviñancito	1949	49	9.68	2.35				12.03	2	
5	Cataviñancito	1949	49							3	
6	Cataviñancito	1949	49	6.28	2	0.75	0.17		9.2	4	
7	San Luis	1930	68	4.845					4.845	1	
8	San Luis	1930	68		no se ve bien y no tiene escala						
9	San Luis	1930	68	4.06					4.06	1	
10	San Luis	1930	68	8.645	2.7	1.44			12.785	3	
11	San Luis	1930	68		no se ve en la foto antigua						
12	San Luis	1930	68	0.76					0.76	1	
14	San Luis	1930	68		esta tapado por otro cirio						
13	San Luis	1930	68	0					0	1	
15	San Luis	1930	68	8.01					8.01	1	
16	San Luis	1930	68		varias ramas no se ven						
17	San Luis	1930	68		no se ve en la foto actual						
18	San Luis	1930	68	1.62	no se ve bien				1.62	1	
19	El Llano	1963	35	0.725	0.695	0.585 ?			2.005	3	
20	El Llano	1963	35	7.627					7.627	1	
21	El Llano	1963	35								
22	El Llano	1963	35								
23	El Llano	1963	35								
24	El Llano	1963	35								
25	El Llano	1963	35	6.815					6.815	1	
26	El Llano	1963	35	2.82					2.82	1	
27	El Llano	1963	35	7.446	1.26	0.66			9.366	3	
28	El Llano	1963	35	4.54					4.54	1	
29	El Llano	1963	35	5.637	0.87				6.507	2	
30	El Llano	1963	35	2.774					2.774	1	
31	El Llano	1963	35	6.662	6.032				12.694	2	
32	El Llano	1963	35								
33	El Llano	1963	35								
34	San Fernando	1963	35								
35	San Fernando	1963	35	1.528					1.528	1	
36	San Fernando	1963	35								
37	San Fernando	1963	35								
38	San Fernando	1963	35	7.205	0.17	0.14	1.66		9.175	4	
39	San Fernando	1963	35	5.8	0.15	0.82			6.77	3	
40	San Fernando	1963	35		no hay una adecuada medida de referencia						
41	San Fernando	1963	35	6.65	4.44	2.38			13.47	3	
42	San Fernando	1963	35		no se ve la planta en la foto antigua						
43	San Fernando	1963	35	2.215					2.215	1	
44	San Fernando	1963	35	2.923					2.923	1	
45	San Fernando	1963	35	3.02					3.02	1	
46	San Fernando	1963	35		muy difícil						
47	San Fernando	1963	35	3.67					3.67	1	
48	Agua Dulce	1905	93	2.19					2.19	1	
49	Agua Dulce	1905	93		no está en la foto antigua						
50	Agua Dulce	1905	93	3.285					3.285	1	
51	Agua Dulce	1905	93		no se ve la punta en la foto antigua						
52	Agua Dulce	1905	93	9.26	3.5	0.46	0.46	0.46	14.6	6	
53	Agua Dulce	1905	93	2.54	máximo tendría esta altura				2.54	1	

# Cirio	sitio	foto antigua	intervalo	Tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 4	longitud	# tallos	
54	Agua Dulce	1905	93	6.995	1.44	1.49		9.925	3	
55	Agua Dulce	1905	93	6.03				6.03	1	
56	Agua Dulce	1905	93	2.64	muy dificil			2.64	1	
57	La Virgen A	1905	93		no se ven algunos tallos					
58	La Virgen A	1905	93	1.64				1.64	1	
59	La Virgen A	1905	93							
60	La Virgen A	1905	93							
61	La Virgen A	1905	93	3.755	0.27			4.025	2	
62	La Virgen A	1905	93	2.455	0.13			2.585	2	
63	La Virgen A	1905	93	5.065				5.065	1	
64	La Virgen A	1905	93	1.08	0.74			1.82	2	
65	La Virgen A	1905	93	5.055				5.055	1	
66	La Virgen A	1905	93	6.35				6.35	1	
67	La Virgen C	1949	49	3.725				3.725	1	
68	La Virgen C	1949	49	6.585	2.265	0.945		9.795	3	
69	La Virgen C	1949	49	6.685	4.515	2.025	tres tallos desde la base	13.225	3	
70	La Virgen C	1949	49	7.8	2.58			10.38	2	
71	La Virgen C	1949	49	6.895	3.305			10.2	2	
72	La Virgen C	1949	49	3.51				3.51	1	
73	La Virgen C	1949	49	6.615	0.16			6.775	2	
74	La Virgen C	1949	49	6.585	0.15			6.735	2	
75	La Virgen C	1949	49	2.42	2.37			4.79	2	
76	La Virgen C	1949	49	6.145				6.145	1	
77	La Virgen C	1949	49		no se distinguen las puntas					
78	La Virgen C	1949	49	12.725	0.5	1.11		14.335	3	
79	La Virgen C	1949	49	0	no estaba en la foto antigua			0	1	
80	La Virgen C	1949	49	3.875				3.875	1	
81	La Virgen C	1949	49	0	no estaba en la foto antigua			0	1	
82	La Virgen C	1949	49	6.48				6.48	1	
83	La Virgen C	1949	49		tiene unas ramas muertas que se cayeron					
84	La Virgen C	1949	49		no lo encuentre en ninguna foto					
85	La Virgen B	1949	49	0.32	parece que esta bajo un arbusto			0.32	1	
86	La Virgen B	1949	49	2.28				2.28	1	
87	La Virgen B	1949	49	3.42				3.42	1	
88	La Virgen B	1949	49	5.395				5.395	1	
89	La Virgen B	1949	49	8.365	4.875			13.24	2	
90	La Virgen B	1949	49		una rama no se ve					
91	La Virgen B	1949	49	6.75				6.75	1	
92	La Virgen B	1949	49		no se ve la punta en la foto actual					
93	La Virgen B	1949	49	3.605				3.605	1	
94	La Virgen B	1949	49	9.28	1.025			10.305	2	
95	LC-1	1963	35	6.765	1.63	1.35		9.745	3	
96	LC-1	1963	35	0.955				0.955	1	
97	LC-1	1963	35	2.41				2.41	1	
98	LC-1	1963	35		no funciona su medida de referencia					
99	LC-1	1963	35	7.455				7.455	1	
100	LC-1	1963	35	5.615				5.615	1	
101	LC-1	1963	35	1.39				1.39	1	
102	LC-1	1963	35	6.16	3.235	1.845	0.18	11.42	4	
103	LC-1	1963	35	6.94	0.63			7.57	2	
104	LC-1	1963	35		no se puede ver la punta					
105	LC-1	1963	35	2.455				2.455	1	
106	LC-1	1963	35	2.66				2.66	1	
107	LC-1	1963	35	3.54	2.74			6.28	2	

# Cirio	sitio	foto antigua	intervalo	Tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 4	longitud	# tallos
108	Jaraguay	1930	68	3.895				3.895	1
109	Jaraguay	1930	68	3.095				3.095	1
110	Jaraguay	1930	68	1.665				1.665	1
111	Jaraguay	1930	68	2.89				2.89	1
112	Jaraguay	1930	68	0.78				0.78	1
113	Jaraguay	1930	68	1.86				1.86	1
114	Jaraguay	1930	68	5.275				5.275	1
115	Jaraguay	1930	68		no se ve la planta en la foto antigua				
116	Jaraguay	1930	68	5.865				5.865	1
117	Jaraguay	1930	68	2.18	duda sobre la punta			2.18	1
118	Jaraguay	1930	68	6.835				6.835	1
119	Jaraguay	1930	68	0.79	0.65			1.44	1
120	La Rinconada	1963	35	0.805				0.805	1
121	La Rinconada	1963	35	1.62				1.62	1
122	La Rinconada	1963	35	4.43				4.43	1
123	La Rinconada	1963	35						
124	La Rinconada	1963	35						
125	La Rinconada	1963	35						
126	La Rinconada	1963	35	10.08				10.08	1
127	La Rinconada	1963	35	5.925				5.925	1
128	La Rinconada	1963	35	5.175				5.175	1
129	La Rinconada	1963	35	4.565				4.565	1
130	La Rinconada	1963	35	4.295				4.295	1
131	La Rinconada	1963	35	4.83				4.83	1
132	La Rinconada	1963	35	3.995				3.995	1
133	La Rinconada	1963	35						
134	La Rinconada	1963	35	3.77				3.77	1
135	La Rinconada	1963	35		no habia medida de referencia				
136	La Rinconada	1963	35	7.435				7.435	1
137	La Rinconada	1963	35	5.34				5.34	1
138	La Rinconada	1963	35	6.42				6.42	1
139	La Rinconada	1963	35	5.87				5.87	1
140	La Rinconada	1963	35	1.755				1.755	1
141	La Rinconada	1963	35	6.34				6.34	1
142	La Rinconada	1963	35	3.795				3.795	1
143	La Rinconada	1963	35		no se ve una ramita				
144	La Rinconada	1963	35	2.045				2.045	1
145	La Rinconada	1963	35	0.52				0.52	1
146	La Rinconada	1963	35	0.65				0.65	1
147	La Rinconada	1963	35	6.395	0.66			7.055	2
148	La Rinconada	1963	35	2.395				2.395	1
149	La Rinconada	1963	35	2.25				2.25	1
150	La Rinconada	1963	35		no se ve una ramita				
151	La Rinconada	1963	35	5.135	0.42			5.555	2
152	La Rinconada	1963	35		no se ven las puntas				
153	Cuarzo	1951	47	4.365	3.065	1.07		8.5	3
154	Cuarzo	1951	47	1.845				1.845	1
155	Cuarzo	1951	47	2.645				2.645	1
156	Cuarzo	1951	47	0.72				0.72	1
157	Cuarzo	1951	47	2.695				2.695	1
158	Cuarzo	1951	47	4.485				4.485	1
159	Cuarzo	1951	47	3.79				3.79	1
160	Cuarzo	1951	47	6.435	5.345			11.78	2

# Cirio	tallo 1	tallo 2	tallo 3	tallo 4	tallo 5	tallo 6	tallo 7	tallo 8	longitud	# tallos
108	5.315								5.315	1
109	3.975								3.975	1
110	3.25								3.25	1
111	3.925								3.925	1
112	2.36								2.36	1
113	2.94								2.94	1
114	7.86								7.86	1
115	2.91								2.91	1
116	6.315								6.315	1
117	3.895								3.895	1
118	8.45	0.195							8.645	2
119	2.085	1.735							3.82	2
120	1.825								1.825	1
121	1.725								1.725	1
122	5.365								5.365	1
123	1.1								1.1	1
124	1.56	0.64							2.2	2
125	1.75								1.75	1
126	11.4								11.4	1
127	6.975								6.975	1
128	6.165	0.3							6.465	2
129	5.665								5.665	1
130	5.17								5.17	1
131	5.615								5.615	1
132	5.1								5.1	1
133	2.625								2.625	1
134	4.23								4.23	1
135	4.65								4.65	1
136	8.06								8.06	1
137	6.16								6.16	1
138	7.425	0.4							7.825	2
139	6.45								6.45	1
140	2.65								2.65	1
141	6.97								6.97	1
142	4.345								4.345	1
143	8.175	0.875	2.905						11.955	3
144	2.415								2.415	1
145	0.87								0.87	1
146	1.63								1.63	1
147	6.62	0.91							7.53	2
148	3.415								3.415	1
149	2.8								2.8	1
150	2.645	1.12							3.765	2
151	5.35	0.75	0.1						6.2	3
152	1.46	1.37							2.83	2
153	5.62	3.995	2.135						11.75	3
154	2.88								2.88	1
155	3.81								3.81	1
156	3.665								3.665	1
157	3.63								3.63	1
158	5.395								5.395	1
159	4.815								4.815	1
160	7.2	6.195							13.395	2