

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS



TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

“EVALUACIÓN GEOGRÁFICA Y POBLACIONAL DE *YUCCA VALIDA*:  
BASES TÉCNICAS PARA SU APROVECHAMIENTO EN BAJA CALIFORNIA”

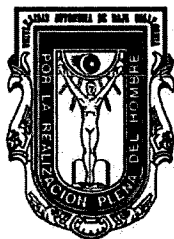
MARIANA DELGADO FERNÁNDEZ

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, AGOSTO DE 2013

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias

Maestría en manejo de ecosistemas de zonas áridas



“Evaluación geográfica y poblacional de *Yucca valida*: bases técnicas para su aprovechamiento en Baja California”

TESIS

Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias

Presenta

Mariana Delgado Fernández



Ensenada Baja California, Agosto de 2013

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias

Maestría en manejo de ecosistemas de zonas áridas

“Evaluación geográfica y poblacional de *Yucca valida*: bases técnicas para su  
aprovechamiento en Baja California”

TESIS

Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias

Presenta

Mariana Delgado Fernández

Aprobada por:

---

Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist

Director

---

Dr. José Luis Ferman Almada

Co-Director

---

Dr. Hugo Riemann González

Sinodal

---

Dr. Martín Escoto Rodríguez

Sinodal

## Resumen

Se prevé que el aprovechamiento de *Yucca valida* (*Y. valida*) puede ser una alternativa sustentable en la economía rural de la región sur de Baja California, si se considera el alto rendimiento que tiene *Yucca schidigera* en la región norte. Esta tesis presenta el primer trabajo sobre tasas de crecimiento, reproducción, reclutamiento y mortalidad de *Y. valida* en decenas de localidades y contribuye al establecimiento de las bases técnicas para su explotación y para una norma de aprovechamiento pertinente. Además de la descripción del comportamiento más representativo de la especie, se presta especial atención a las variaciones entre las poblaciones.

Se eligieron 41 sitios representativos del área de distribución de *Y. valida* en el Estado para describir su dinámica poblacional mediante el método de fotografía repetida. El estudio se divide en dos periodos; el primero incluye los 41 sitios de estudio. En éste las fotografías originales se tomaron entre 1905 y 1971 y sus repeticiones  $39 \pm 15$  años después (1996-1997). Al inicio de este periodo se identificaron 434 individuos, el 85% sobrevivió durante todo el periodo. El 56% de los sitios presentaron reclutamiento, sumando un total de 60 reclutas. El 95% de los individuos presentaron más de un tallo a la vez y el 91% presentó recambio de tallos. El segundo periodo fue de  $15 \pm 1$  año (1996 ó 1997 a 2012) e incluyó 21 sitios. Durante este periodo se identificaron 221 individuos, la supervivencia fue del 89%, se presentó reclutamiento en el 24% de los sitios, con un total de 8 reclutas y hubo recambio de tallos en el 88% de las plantas. El rango de variación en la densidad fue de 6.3 a 43.8 individuos  $\text{ha}^{-1}$ . La densidad promedio de tallos de *Y. valida* fue de 56.8 fustes  $\text{ha}^{-1}$ . La probabilidad de florecer aumenta rápidamente en tallos que miden entre 2.5 y 3.5 m, la cual indica una edad de primera reproducción (por tallo) de 46 años en promedio, de acuerdo con la tasa de crecimiento promedio. Por otro lado, siendo que la tasa de reclutamiento promedio fue de 0.004 reclutas por individuo por año, se estimó que un individuo tarda cerca de 230 años en engendrar un descendiente. Por otro lado, los datos no sugirieron que el paso del tiempo tenga efecto en la mortalidad.

La tasa de crecimiento en altura promedio fue  $5.5 \pm 4.3$  cm por año (entre 0.1 y 10.5 cm por año en 87% de las plantas) y la tasa máxima registrada fue de 26.8 cm por año. Los factores que determinan las diferentes tasas de crecimiento dentro de las poblaciones no se han esclarecido, ni se han encontrado diferencias significativas entre éstas. Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre poblaciones en otras características funcionales como en el ancho de roseta, el diámetro del tallo, número de semillas, contenido de clorofilas y antocianinas.

Dados estos resultados, se proponen criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento de la especie, por ejemplo: establecer la madurez de cosecha a los 3.0m de altura, promover la propagación vegetativa y las podas selectivas así como un programa de inspección para asegurar el aprovechamiento correcto y la permanencia de la especie.

Palabras clave: dinámica de poblaciones, tasa de crecimiento, aprovechamiento de recursos naturales, modelación biogeográfica, *Agavaceae*, Desierto Sonorense, métodos de muestreo, Valle de los Cirios.

## Abstract

It is proposed that the harvesting of *Yucca valida* could be a sustainable alternative in the rural economy of the southern region of Baja California, considering the economic yields of *Yucca schidigera* in the neighboring region. This thesis presents the first work on growth rates, reproduction, recruitment and mortality of *Y. valida* in tens of localities, and it helps to establish the technical basis for regulations and management. Besides describing the average behavior of the species in Baja California, special attention is given to possible variations among populations.

The study used repeat photography at 41 representative sites to describe population dynamics. The study was divided into two periods: the first included the 41 study sites at which the original photographs were taken between 1905 and 1971 and their repetitions  $39 \pm 15$  yr later (1996-1997). For this period 434 individuals were identified and 85% survived for the entire period. A total of 56 recruits appeared, among 56% of the sites. More than one stem at a time was present in 95% of the individuals, and 91% showed turnover of stems. The second period was  $15 \pm 1$  yr (1996 or 1997 to 2012) and included 21 sites. For this period 221 individuals were identified, 89% survived, 88% showed stem turnover, and 24% of the sites presented recruitment (with a total of 8 recruits). The range of variation in the density was 6.3 to 43.8 individuals  $\text{ha}^{-1}$ . The average density of stems *Y. valida* was 56.8 stems  $\text{ha}^{-1}$ . The probability of flowering increased rapidly among stems that were 2.5 to 3.5 m tall, which indicated an approximate age of first reproduction (per stem, not genet) of 46 years, according to the average growth rate. The average recruitment rate was 0.004 recruit  $\text{yr}^{-1}$ , such that an individual took about 230 yr to leave a descendant. No effect of time on survival was discernable.

The rate of growth in height averaged  $5.5 \pm 4.3$  cm  $\text{yr}^{-1}$  (being 0.1 to 10.5 cm  $\text{yr}^{-1}$  in 87% of plants) and the maximum rate recorded was 26.8 cm  $\text{yr}^{-1}$ . The factors that determine different growth rates within populations have not been clarified, and no significant differences were found among populations. However, there were significant differences between populations in other functional characteristics such as rosette width, stem diameter, seeds per fruit, and chlorophyll and anthocyanin content.

Given these results, we propose technical criteria and specifications for harvesting the species, for example, harvest maturity set at 3.0m height, guidelines to promote propagation and selective pruning and an inspection program to ensure correct harvesting and permanence of the species.

Keywords: population dynamics, growth rate, natural resources use, biogeographic modeling, Agavaceae, Sonoran Desert, sampling methods, Valle de los Cirios.

## **Dedicatoria**

A mi padre

Oscar Delgado, ejemplo a seguir.

A mi madre

Mayte Fernández, por tanto amor.

## **Agradecimientos**

Especialmente al Dr. Stephen Bullock, por esta increíble e inolvidable oportunidad; por su paciencia, tiempo y ayuda en todo momento, muchas gracias.

Al Dr. Hugo Riemann, por las asesorías y ayuda para realizar el mapa de distribución potencial, las clases de biología de la conservación y las acertadas correcciones.

Al Dr. Martin Escoto, por el apoyo para analizar el contenido de pigmentos en las hojas, el curso fisiología vegetal y las sugerencias al proyecto.

Al Oc. Eulogio López y al Biól. Mario Salazar por su gran ayuda en los muestreos en campo, difícilmente los hubiera logrado sin ustedes.

Al Dr. José Luis Ferman, por aceptar ser parte de este proyecto y el apoyo brindado.

Al Dr. Oscar Delgado, por su ayuda con sus acertadas sugerencias, comentarios y correcciones.

A la M.C. Carolina Nieves por su ayuda para realizar la cartografía.

A la administración del Área Natural Protegida de Valle de los Cirios por su colaboración y facilidades otorgadas durante todo el proyecto.

A la coordinación del programa de Maestría en Manejo de Zonas Áridas (UABC) por la oportunidad de pertenecer a éste y crecer académicamente.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por su apoyo económico otorgado para la realización de esta tesis mediante el proyecto 681-108.

A la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) que por medio del proyecto 2006-C01-23777 apoyó económicamente la realización de esta tesis.

Al Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada mediante la convocatoria 290649 que facilitó el desarrollo del trabajo de investigación.

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional en este y en cada uno de los proyecto de mi vida.  
¡Muchas Gracias!

## Índice de contenido

Resumen .....	4
Abstract .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos .....	7
Índice de contenido.....	8
Índice de figuras .....	11
1. Introducción .....	12
1.1 Objetivos .....	14
1.1.1 General.....	14
1.1.2 Específicos .....	14
2. Antecedentes .....	15
2.1 <i>Yucca valida</i> .....	15
2.1.1 Distribución.....	15
2.1.2 Descripción biológica.....	16
2.1.3 Importancia ecológica de <i>Yucca valida</i> .....	18
2.1.4 Potencial económico de <i>Yucca valida</i> .....	20
2.1.5 Usos tradicionales de <i>Yucca valida</i> .....	22
2.1.6 Implicaciones en el manejo .....	23
2.1.7 Intentos de domesticación de <i>Yucca valida</i> .....	24
2.2 Estudios técnicos para fundamentar la explotación forestal no maderable .....	25
2.3 Dinámica de poblaciones .....	25
2.3.1 Fotografía repetida .....	27
2.3.2 Crecimiento .....	29
3. Métodos .....	31
3.1 Región de estudio .....	31
3.1.1 Clima, sustrato y sitios.....	31
3.1.2 Asentamientos humanos y economía.....	32
3.2 Fisiología y morfología gruesa .....	35
3.2.1 Contenido de antocianinas y clorofilas en hojas .....	35

3.2.2	Contenido de antocianinas en raíces.....	36
3.2.3	Ancho de rosetas.....	36
3.2.4	Diámetro de fustes .....	37
3.2.5	Longitud de fustes y rosetas.....	37
3.3	Dinámica de poblaciones .....	37
3.3.1	Método de fotografía repetida.....	37
3.3.2	Las fotografías y estudio de pares.....	38
3.3.3	Tasa de crecimiento anual.....	40
3.3.4	Estimación de edad .....	42
3.3.5	Inicio y tasa de reproducción .....	43
3.3.6	Número de semillas.....	43
3.3.7	Tasa de reclutamiento .....	43
3.3.8	Tasa de supervivencia.....	44
3.3.9	Muestreo dasonómico .....	44
3.4	Distribución potencial de <i>Yucca valida</i> .....	45
3.5	Análisis de componentes principales (ACP).....	45
4.	Resultados.....	47
4.1	Fisiología y morfología gruesa .....	47
4.1.1	Contenido de antocianinas y clorofilas .....	47
4.1.2	Ancho de rosetas.....	47
4.1.3	Longitud de la roseta en relación con la altura .....	48
4.1.4	Diámetro de fustes .....	48
4.1.5	Tasa de crecimiento anual y altura máxima.....	48
4.2	Dinámica de poblaciones .....	50
4.2.1	Inicio y tasa de reproducción .....	50
4.2.2	Número de semillas.....	51
4.2.3	Tasa de reclutamiento .....	51
4.2.4	Tasa de supervivencia.....	52
4.2.5	Muestreo dasonómico .....	52
4.3	Distribución potencial de <i>Yucca valida</i> .....	53

4.4 Factores ambientales determinantes .....	53
5. Discusión .....	56
5.1 Crecimiento .....	56
5.2 Condición .....	57
5.3 Mortalidad y longevidad .....	58
5.4 Reproducción .....	59
5.5 Densidad .....	60
5.6 Distribución .....	60
5.7 Aprovechamiento .....	61
5.8 Hacia una normativa para el aprovechamiento de <i>Yucca valida</i> .....	62
5.9 Temas a investigar .....	63
6. Conclusiones .....	65
Literatura citada .....	66
Anexos .....	76
Anexo 1. Mapa de la "Región del Vizcaíno" y otras localidades notables .....	76
Anexo 2. Especies asociadas a la presencia de <i>Yucca valida</i> .....	77
Anexo 3. Sitios de <i>Yucca valida</i> muestreados en 2012 .....	78
Anexo 4. Las variables ambientales empleadas para modelar la distribución de <i>Yucca valida</i> en Maxent .....	79
Anexo 5. Resultados del análisis de componentes principales (ACP) .....	80
Anexo 6. Lineamientos propuestos para una normativa y para planes de manejo .....	81

## Índice de figuras

Figura 1. Típica población de <i>Yucca valida</i> en terreno ligeramente ondulado del extremo norte del Llano del Berrendo (28.171685° N, -113.760403° W, foto: M. Delgado) .....	27
Figura 2. Mapa de la región de estudio .....	34
Figura 3. Mapa de grupos de sitios con semejante contenido de pigmentos. A) Antocianinas B) Clorofilas .....	36
Figura 4. Ejemplo del método de fotografía repetida, sitio 82 S. A) Fotografía de L. Huey en 1930 B) Fotografía de S. Bullock en 1996 C) Fotografía de S. Bullock en 2012. ....	39
Figura 5. Relación entre la altura del fuste medida en campo y por fotogrametría. ....	42
Figura 6. Mapa de grupos de sitios con poblaciones de semejantes dimensiones A) Ancho de roseta B) Diámetro de fuste .....	48
Figura 8. Fotografía de <i>Yucca valida</i> T.S. Brandegees: individuo muy grande cerca de Mezquital (28.2564°N 113.7981°W, foto: S. Bullock). ....	49
Figura 7. Tasa de crecimiento de los fustes. A) Tasas de crecimiento considerando todos los fustes medidos entre 1905 y 2012. B) Relación de la tasa de crecimiento antes de 1996 con la de 1996 a 2012 para un mismo fuste. ....	49
Figura 9. Porcentaje de fustes de los que se tiene registro que han florecido según su altura. .	50
Figura 10. Histograma del número de semillas por porcentaje de frutos .....	51
Figura 11. Supervivencia ajustada a una población inicial de 1000 en cada sitio, en relación con el tiempo transcurrido desde la fotografía original hasta su primera repetición (1996-1997); y número de reclutas en relación con el tiempo transcurrido desde la fotografía original hasta su primera repetición (1996-1997). ....	52
Figura 12. Mapa de distribución potencial de <i>Yucca valida</i> en la península de Baja California, según variables bioclimáticas y el algoritmo de MaxEnt, con base en las localidades mostradas. ....	55

## 1. Introducción

A pesar de la limitada productividad de los desiertos, los seres humanos los han habitado desde hace milenios aprovechando las plantas para su consumo (Aschmann, 1959) o para alimentar al ganado (Whitford, 2002). Estas zonas se caracterizan por tener condiciones ambientales desfavorables para el cultivo comercial (Maiti y Rodríguez, 2011) pero el cultivo de subsistencia o el aprovechamiento extensivo de recursos naturales son posibles y a menudo necesarios para los habitantes locales. Los registros que se tienen de los nativos de Baja California, California y Sonora aseguran que éstos cultivaban amaranto, agaves, *Proboscidea parviflora*, chollas, chiltepín, girasol y legumbres (Hodgson, 2001). Las plantas del género *Yucca* que se encuentran en las zonas áridas y semiáridas de México y Estados Unidos, se han aprovechado desde tiempos históricos para la obtención de leña, fibras y alimento para el ganado (Standley, 1920; Brown, 1922; Cariño, 2000). Por otro lado, desde hace varias décadas las zonas áridas y semiáridas en México han sido objeto de aprovechamientos que obedecen a políticas económicas nacionales, donde la función de estos ecosistemas es el aporte de materias primas a industrias y negocios transnacionales (Cervantes-Ramírez, 2005), favoreciendo la sobreexplotación de la flora nativa por falta de estudios ecológicos previos (Martínez et al., 2012) y/o formas de manejo sustentables.

Los ejidatarios que habitan las zonas donde se distribuye *Yucca valida* (datilillo), en Baja California, se dedican principalmente a la ganadería y en menor medida a la pesca, al turismo o al jornal, actividades que no generan ingresos constantes, contribuyendo a que la permanencia de los ejidatarios en sus tierras sea problemática: cada vez menos jóvenes deciden quedarse a vivir en los ejidos y el interés en vender sus tierras aumenta. Es evidente que la diversificación de las actividades económicas en sus tierras les podría favorecer, ya que ellos serían los administradores y beneficiarios del aprovechamiento del recurso, lo que les permitiría mejorar su calidad de vida.

El aprovechamiento de *Y. valida* es una posibilidad para los rancheros de la región. No obstante, se desconoce la dinámica poblacional de la especie y su aprovechamiento sin estudios técnicos bajo la visión de la ecología de poblaciones pondría en riesgo a las poblaciones naturales de la especie y la sustentabilidad del aprovechamiento. Además, es

desconocido si la norma establecida para otras especies de *Yucca* sea adecuada para su aprovechamiento.

Para predecir el futuro de poblaciones de interés, incluyendo su respuesta al aprovechamiento o al manejo del entorno, se requieren estudios de la ecología de poblaciones orientados a describir los factores que influyen en la estructura y los procesos de las poblaciones (Franco, 1990; Jardel-Peláez, 1985; Kingsolver, 1986; Sepúlveda-Betancourt, 1994). Los procesos que se estudian incluyen el crecimiento de la población y su regulación, aspectos cuantitativos y cualitativos de la historia de vida, la ecología reproductiva, la dispersión, la adaptación y variaciones espaciales y temporales en estos procesos (Molles, 2005; Pelton, 1951; Harper y White, 1974).

Aún son pocos los estudios que describen la dinámica de poblaciones de plantas del desierto ya que éstos requieren largos periodos para observar algún cambio (Bullock y Turner, 2010), además el crecimiento de las plantas puede ser intermitente o en ocasiones negativo (Escoto-Rodríguez y Bullock, 2002). La supervivencia de las plantas perennes en ambientes áridos es difícil debido a las duras condiciones ambientales que deben de soportar, por lo que un ligero aumento en las tasas de mortalidad de los adultos o decremento en las tasas de reclutamiento puede potencialmente causar extinciones locales (Midgley et al., 1997).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Realizar una evaluación técnica del aprovechamiento de las poblaciones naturales de *Yucca valida* en Baja California.

### **1.1.2 Específicos**

1. Registrar la variación geográfica en estructura de tamaños y condición de las plantas.
2. Estimar las tasas de crecimiento y floración de tallos en distintas poblaciones.
3. Establecer las tasas de reclutamiento y supervivencia en distintas poblaciones.
4. Establecer pautas entre las tasas de crecimiento, la demografía y las características fisiológicas de la especie y factores ambientales.
5. Proponer criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento de la especie.

## 2. Antecedentes

### 2.1 *Yucca valida*

*Yucca valida* T.S. Brandegees (Brandegee, 1889), también conocida como datilillo (pequeño dátil) (Lopatecki, 1887), es un árbol semi-suculento perenne, iteróparo, con troncos ramificados que miden hasta siete metros de altura. La especie es endémica de la península de Baja California, siendo común en tierras bajas y planas en el centro árido de la península. Por la cercanía taxonómica y física a *Y. schidigera*, especie que actualmente se aprovecha con fines comerciales, resulta interesante evaluar *Y. valida* y la posibilidad de su aprovechamiento.

#### 2.1.1 Distribución

Por la transición tropical-templado y el aislamiento relativo de la Península de Baja California, su flora presenta una buena proporción de endemismos, reportada en el 20% de 3700 especies registradas (Riemann y Ezcurra, 2007, Peinado, 1995). Entre las especies endémicas está *Y. valida* (Turner et al., 1995). Al parecer la distribución del datilillo se extiende por toda la región del Vizcaíno (Shreve y Wiggins, 1964), (lat. 29.816°N, lon. 115.525°W a 25.692°N 111.980°W) abarcando un área aproximada de 50 x 200 km (Turner et al., 1995), generalmente por debajo de los 400 msnm (Turner et al., 1995), en suelos profundos, arenosos y arcillosos (Mapa en Anexo 1). Entre los 25.69° N y los 24.58°N no se tienen registros de presencia de la especie, pero más al sur existen poblaciones de *Y. valida* hasta las cercanías de Los Cabos (22.9°N, 109.9°W).

*Y. valida* se presenta frecuentemente en la comunidad vegetal *Agave-Ambrosia* o Desierto sarcocaula descrito por Shreve (1964). Esta comunidad que también ha sido descrita por otros autores (Westman, 1981; Turner y Brown, 1982; Zippin y Vanderwier, 1994) se caracteriza por ocupar el tercio central de la costa del Pacífico (30°N a 27°N), extendiéndose hasta las sierras del parteaguas Pacífico-Golfo; la vegetación perenne en esta comunidad la conforman varias especies de *Agave*, *Fouquieria columnaris*, *Pachycormus discolor*, *Stenocereus gummosus*, *Ambrosia chenopodifolia*, *Atriplex magdalenae*, *Atriplex polycarpa*, *Ambrosia bryantii*, y algunas especies de *Lycium* (Shreve, 1964, Zippin y Vanderwier, 1994). Especies como *Ambrosia magdalenae*, *Euphorbia lomelii* y *Agave shawii* se asocian con la

presencia de *Y. valida* (Factores de asociación en Anexo 2). El área del presente estudio se restringió entre las latitudes 29.6°N y 28.1°N.

### 2.1.2 Descripción biológica

El género *Yucca*, conformado por un estimado de 49 especies, pertenece a la familia monocotiledónea *Agavaceae* (Good-Avila et al., 2006). *Y. valida* tiene un solapamiento de ámbito geográfico con *Y. schidigera* (especie con amplia distribución al norte y este) y con la micro-endémica *Y. capensis* (cercana a Los Cabos).

*Y. valida* es una de las especies de mayor altura en su ámbito y típicamente sus troncos son de 10 a 30 cm de diámetro, ensanchados en la base. El crecimiento de sus tallos es vertical pero esto puede modificarse por vientos persistentes, debilitación del tallo (por ej. por barrenadores) o del sustrato (por ej. por erosión), por orientación de las rosetas hacia el sur para mayor captación de luz y por la ramificación lateral del tronco. Como en otras especies de *Yucca*, las inflorescencias son terminales de tal forma que los tallos deben continuar su crecimiento por ramificación lateral. Posee hojas amarillas-verdosas lanceoladas, lisas y rígidas, extendidas de entre 15 a 35 cm de largo y 1.5 a 2.5 cm de ancho con puntas gruesas color ocre y bordes café-grisáceos que poseen fuertes fibras. Por debajo de las hojas vivas permanecen hasta 2 m de hojas viejas y secas que presentan deflexión (Wiggins, 1964).

La floración se presenta entre marzo y agosto (Coyle y Roberts, 1975), aunque Brandege (1889) sugiere que comienza hasta mediados de mayo pero Turner et al. (1995) sugiere un patrón bimodal. Observaciones durante el desarrollo de este trabajo y comentarios de los rancheros de la región sugieren una temporada centrada en junio a julio, pero se puede afirmar que falta un estudio adecuado y geográficamente amplio de la fenología de la reproducción. La forma de la inflorescencia es vertical (de 30 a 60 cm) con varias ramas horizontales cortas (hasta 15 cm de largo). Los pedúnculos son delgados con una longitud de 1.5 a 2 cm, las flores son de color blanco cremoso y generalmente tienen forma de campana con una longitud de 2.3 cm ( $n = 6$ ) y olor parecido al del eneldo (Wiggins, 1964). No hay estudios sobre su producción de néctar, aunque en otras especies de *Yucca* la producción es muy baja (Good-Ávila, et al., 2006). Los frutos tienen forma ovalada y miden de 2.5 a 4.5 cm, son indehiscentes, medianamente carnosos y caducos (Wiggins, 1964). Se piensa que

actualmente los dispersan las ratas, coyotes, venados, berrendos y vacas al alimentarse de ellos. Sin embargo, en el pasado parece que el datilillo lograba su dispersión por la megafauna existente en la Península hasta hace menos de 10 mil años (Miller, 1977, 1980). Los frutos evolucionaron en la presencia de esta megafauna (Janzen, 1986; Janzen y Martin, 1982), ya que cumplen con los rasgos característicos de los frutos que ésta consumía: son grandes, carnosos, indehiscentes, contienen aceite y azúcares, al madurar caen al suelo y las semillas están protegidas por una gruesa capa que frecuentemente dejaría pasar a las semillas intactas por los molares y dispersarían después de pasar por el tracto digestivo. Las semillas son pequeñas, planas, de color negro y al igual que otras semillas del género éstas parecen no poseer mecanismos de latencia (Flores-Hernández et al., 2011).

Se piensa que *Y. valida* mantiene un sistema coevolucionado de polinización con una especie de polilla especialista, de la misma forma que otras especies del género lo tienen, haciéndose dependiente de éste para su reproducción, creando un mutualismo cerrado y completo (Bogler, et al., 1995; Kingsolver, 1986). Para *Y. valida*, el polinizador parece ser una especie recién descrita, *Tegeticula baja* (Pellmyr et al., 2008). El comportamiento de las polillas *Tegeticula* es único entre los Lepidópteros: las polillas hembra se introducen en las flores y reúnen las pequeñas, separadas y pegajosas masas de polen con sus tentáculos maxilares; esta bola la llevan a otra flor donde la depositan con fuerza en el tubo estilar y en la cual también ovipositan. Una polilla puede repetir varias veces este proceso, polinizando y ovipositando a la vez. Los huevos eclosionan en el interior del ovario y las larvas se alimentan de algunas de las semillas en desarrollo (Bogler, et al., 1995). A partir de octubre los frutos maduran y caen al suelo (Aschmann, 1959). Al parecer las larvas salen al exterior por pequeños agujeros que ellas realizan y forman capullos en el suelo donde permanecen hasta que las condiciones ambientales (temperatura y precipitación) son las adecuadas para emerger como polillas (posiblemente correlacionado con el periodo de floración) (Baker, 1986).

Los factores ambientales que determinan el establecimiento de plántulas son numerosos, que van desde la cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo, hasta factores edáficos como la textura del suelo, el movimiento del agua por las escorrentías, la herbivoría, la competencia con otras plántulas o plantas adultas (Von Eller et al., 1992). La mortalidad de las

plántulas de especies perennes llega a ser del 100% casi todos los años. En ambientes áridos pueden pasar varios años para que las condiciones climáticas sean las adecuadas para el reclutamiento (por ej. Shreve, 1910; Turner, 1990; Midgley et al., 1997). En otra especie de *Yucca* se concluyó que la probabilidad de supervivencia de una plántula es cercana a cero debido a herbivoría de lagomorfos y roedores (Comanor y Clark, 2000). Por otro lado, a pesar de que *Y. valida* se puede propagar por esquejes, no se forman nuevos individuos fisiológicamente independientes de manera natural. Un estudio demográfico de *Y. glauca* consideró que la "reproducción vegetativa" contribuye a la estabilidad de las poblaciones (Kingsolver, 1986), pero se trata de reposición de ramas y longevidad individual, no de reproducción propiamente dicha.

### **2.1.3 Importancia ecológica de *Yucca valida***

Como es típica de las especies vegetales, *Yucca valida* contribuye a la defensa del suelo contra la erosión, favorece la entrada de agua al suelo y aumenta su contenido orgánico, además de proporcionar alimento, sombra y refugio a la fauna silvestre (Piña-Luján, 1981).

Actualmente existe poca información que haga referencia a las asociaciones entre *Y. valida* y los diversos grupos de fauna silvestre. En general las especies del género *Yucca* son hospederas de una gran cantidad de insectos, incluyendo las falsas polillas de las *Yuccas* (*Prodoxus* spp) y otras no restringidas a *Yucca*. Las falsas polillas de las *Yuccas* suelen dejar sus huevos en los tallos de las flores; al eclosionar, las larvas consumen el tejido del tallo. Pero una especie de hormiga de la madera (*Formica* spp) protege las flores de *Yucca* ya que forrajea en los tallos de las flores y si encuentran alguna polilla de *Prodoxus* ovipositando en su camino la ataca, reduciendo el número de huevos en los tallos de las flores de la planta (Perry, et al., 2004; Snell y Addicott, 2008).

Servín et al. (2010) observaron la variación preferencial de homóptero *Homalodisca liturata* hacia sus hospederos en una comunidad de matorral sarcocaulé en el sur de la Península de Baja California. Los resultados mostraron una marcada preferencia hacia *Yucca valida*, ya que en esta especie se encontraron el mayor número de insectos (5052 insectos planta<sup>-1</sup>), los cuales la utilizan como refugio en los meses más calurosos y como fuente de

alimento. Este insecto propaga la bacteria *Xillela fastidiosa* que obstruye los ductos del xilema de la planta provocando la enfermedad de Pierce.

Servín et al. (2006) registraron semanalmente el número de picudos del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) presentes en una plantación experimental y en una población silvestre de *Y. valida* en Baja California Sur. Las plantas afectadas mostraron clorosis foliar, desprendimiento de hojas jóvenes, manchas necróticas en la superficie de las hojas y en algunos casos pudriciones de color café en la base de las hojas.

También se han realizado estudios referentes a las asociaciones que existen entre los reptiles y *Y. valida*. Bezy et al. (2008) describieron una nueva especie de lagartija de la noche llamada *Xantusia sherbrookei* que utiliza como refugio los troncos muertos en pie y ramas caídas de *Y. valida*. En la Sierra de Santa Clara se pueden observar a los güicos garganta anaranjada (*Cnemidophorus hyperyhrus*), endémicos de la península de Baja California, permanecer en la base de los tallos de *Y. valida* para protegerse del calor y de los depredadores. Esta es una especie catalogada como amenazada dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. En los llanos del Vizcaíno y Magdalena, las hojas muertas que permanecen en los tallos de *Y. valida* sirven de refugio para la lagartija de la noche *Xantusia wigginsi* (Grismer, 2002).

Frohlich y Clark (1976) estudiaron la asociación entre los alacranes y los micro hábitats que se forman en los tallos muertos de *Y. valida*; se encontraron ejemplares de *Hadrurus concolours*, *Centruroides sculpturatus* y *Superstionia donesis*, concluyeron que posiblemente *Y. valida* proporciona el mayor microhábitat para algunos escorpiones al menos durante el invierno. Además encontraron evidencias de que al igual que en *Y. schidigera* (Comanor y Clark, 1988), especies de mamíferos (probablemente *Neotoma sp.*) utilizan los tallos para formar madrigueras en el interior. En Valle de Los Cirios es común ver tallos con huecos en la parte inferior que coinciden con los rasgos de una apertura realizada por un "packrat" para formar madrigueras (obs. pers.). Otros artrópodos que se han reportado en los tallos de *Y. valida* son *Tenebrionidae* (pinacates), *Curculionidae* (gorgojos), *Thysanura* (pececillos de plata) y *Aranae* (arañas) (Frohlich y Clark, 1976) y en campo se observaron isópteros (termitas) en el interior de los tallos.

En 1998 se realizó un estudio para conocer la biología reproductiva de las aves *Caracara plancus* en la Región del Cabo de Baja California Sur. Se encontró que éstos establecen sus nidos preferentemente sobre cardones (76.2%), pero la segunda especie con más nidos fue *Y. valida* (9.5%), en individuos que tenían una altura promedio de 6 metros y los nidos se encontraron a 4 metros de altura (Rivera-Rodríguez y Rodríguez-Estrella, 1998). A partir de esto y que en campo se observaron nidos pequeños entre las rosetas, se puede inferir que *Y. valida* proporciona sitios para el establecimiento de nidos de más especies de aves.

En el trabajo de campo del presente estudio se observaron asociaciones entre *Y. valida* y líquenes foliosos en los tallos (Sitio 255N), así como con la epífita *Tillandsia recurvata* (*Bromeliaceae*; gallitos) que utiliza de soporte los tallos (Sitio 82S).

#### **2.1.4 Potencial económico de *Yucca valida***

Hacia finales del siglo diecinueve se intentó establecer un aprovechamiento de *Y. valida* para utilizar sus fibras en la fabricación de papel (Lopatecki, 1887; Nelson, 1922). Otros usos potenciales de las fibras de otras especies de *Yuccas* fueron experimentados por Rechy de von Roth (2000). Además, se han elaborado estudios fitoquímicos de cada una de las especies mexicanas del género *Yucca*. Los resultados preliminares sugieren que es posible el aprovechamiento integral de la semilla de *Y. valida*, de la cual se puede obtener un 8% de saponina, 12% de aceite para consumo humano y de 20 a 30 % de material proteínico (Piña-Luján, 1981).

De las *Yuccas* se extraen saponinas, sustancias que tienen propiedades detergentes o surfactantes naturales ya que contienen componentes solubles en agua y en grasas, por lo tanto también son excelentes agentes espumantes, formando espumas muy estables; además poseen propiedades antifúngicas, antibacterianas y emolientes. *Y. valida* es una fuente potencial de saponinas esteroidales usadas actualmente en:

- a) Aditivos alimenticios para el ganado, puercos, gallinas y los animales de compañía ya que reducen los olores y las emisiones de amoníaco de las excretas
- b) Activadoras en lagunas de oxidación
- c) Bebidas en las que una espuma estable es deseable
- d) En la minería para la separación de minerales

- e) Preparación de emulsiones para películas fotográficas
- f) En la fabricación de cosméticos como labiales y champú (Cheeke, 2000)
- g) Maricultura: para la reducción de amoníaco en el agua (Santacruz-Reyes y Chien, 2010)

Actualmente la fuente principal de saponinas esteroidales son los tallos de *Yucca schidigera*, también conocida como palmilla. Cada año se extraen del Desierto Central de Baja California miles de toneladas (6580 ton en 2011); en 2011 el valor de producción registrado en el Anuario Estadístico de la Producción Forestal fue de 23,030 399 pesos (3500pesos/ton). Por ello es considerado como el recurso forestal no maderable de mayor importancia económica en el estado (Castellón-Olivares et al., 2002). Los tallos de palmilla son macerados mecánicamente y comprimidos en prensas para producir jugo de *Yucca*, el cual se concentra por medio de evaporación. Una alternativa es dejar los troncos secar y molerlos para producir polvo de *Yucca* (Cheeke, 2000).

Actualmente la extracción de tallos de *Y. schidigera* es considerada una actividad ineficiente que pone en riesgo a las poblaciones naturales, ya que el ciclo de vida es largo, la tasa de crecimiento lento (Arce-Montoya et al., 2007) y la demanda internacional del producto es cada vez mayor y más difícil de satisfacer (Arce-Montoya et al., 2006).

A partir de 1997 se patentaron en Estados Unidos de América varios productos que en su contenido incluyen saponinas de *Y. valida*, lo que muestra el interés por aprovechar la especie en dicho país. Los usos principales de estos productos patentados son: control de patógenos (Crandall y Emerson, 2000), repeler pestes (Bradford y Emerson, 1997), inducir a plantas a producir resistencia a hongos (Crandall y Emerson, 2000), modular los metabolitos tóxicos en productos de consumo (Crandall y Emerson, 2002), producir emulsiones altamente concentradas de compuestos orgánicos (Miller y Emerson, 2003), uso de aldehídos flavonoides como plaguicidas (Crandall y Emerson, 1997), en la composición de los alimentos naturales con colores estables (Wilson, 2007), para la composición de ésteres de bencilo para controlar plagas de no-artrópodos (Miller y Emerson, 2003), para fabricar aldehídos aromáticos utilizados como microbicidas y pesticidas (Crandall y Emerson, 2003), para la aplicación de aceites esenciales de origen natural para activar endógenos de plantas para la defensa de patógenos (Emerson, 2003) y para la fabricación de insecticidas amigables con el ambiente (McFadden y

Sobeck, 2006). Los productos que pueden derivarse de *Yucca valida* permiten suponer que su aprovechamiento comercial sea factible (Ruiz, Enríquez, y Oliva, 1982).

Existe la posibilidad de que se comiencen a utilizar otras especies de *Yucca*, como podría ser *Yucca valida*, para satisfacer la demanda para saponinas sin conocer previamente su dinámica poblacional e importancia ecológica. Un ejemplo pertinente en México es el caso del *Agave salmiana* que se comenzó a utilizar sin tener los conocimientos ecológicos de la especie para lograr cubrir la demanda creciente de *Agave tequilana* Weber var. azul, especie utilizada para la producción de tequila, poniendo en riesgo sus poblaciones naturales y la comunidad vegetal (Martínez et al., 2012).

### **2.1.5 Usos tradicionales de *Yucca valida***

Existen diversos usos tradicionales que se les dan a las especies de *Yuccas* mexicanas (Standley, 1920; Cariño, 2000; Flores-Hernández et al., 2010) que probablemente aplican a *Y. valida*, si no históricamente al menos por potencial. Los nativos solían consumir las raíces, utilizaban el rizoma (amole) como jabón y ablandador de cuero; a partir de las fibras elaboraban cordeles, bolsas, redes, costales, hamacas, sandalias y construían techados de las casas rústicas.

Cabe señalar que se realizó un estudio sobre la utilidad de *Yucca elata* como suplemento alimenticio para el ganado, se concluyó que se puede utilizar como alimento en las estaciones secas en Nuevo México ya que contiene una gran cantidad de carbohidratos en forma de almidones, azúcares y fibras, pero se han de agregar 0.45 gramos de semilla de algodón por cada 13 kg de hojas de *Y. elata* para suplir la falta de proteína y grasa que no contienen las hojas de *Y. elata* (Brown, 1922).

Actualmente los tallos de *Y. valida* son utilizados para construir cercos vivos para casas en el desierto, prevenir la erosión del suelo, contener taludes y en estado seco constituyen un excelente combustible. En años lluviosos las flores y los frutos maduros son cosechados y algunos lugareños los ingieren o los dan de alimento al ganado. De la semilla puede extraerse aceite con posibilidades de uso industrial y consumo humano (Coyle y Roberts, 1975; Ruiz, Enríquez, y Oliva, 1982). Por lo tanto, esta especie contribuye a satisfacer algunas necesidades de los pobladores locales apoyando sus fuentes de ingresos (Maiti y Rodríguez, 2011). Al

parecer, el nivel de aprovechamiento actual es bajo y no ha sido necesaria la creación de planes de manejo de la especie. Sin embargo, por el gran potencial industrial que posee, las propuestas de aprovechamiento tienen que estar fundamentadas en estudios sólidos para no poner en riesgo la supervivencia del recurso (Ruiz, Enríquez, y Oliva, 1982).

#### **2.1.6 Implicaciones en el manejo**

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente establece que dentro de las actividades de las Áreas de Protección de Flora y Fauna, como Valle de los Cirios, se debe orientar el aprovechamiento de manera coordinada con los pobladores de la zona, con el objetivo que los asentamientos humanos tengan un desarrollo sustentable que mejore su calidad de vida. La propuesta de programa de manejo del Área Natural Protegida (ANP) manifiesta que es necesario plantear actividades productivas alternativas a las que actualmente se desarrollan en el área. Estas alternativas se espera favorezcan y diversifiquen el desarrollo económico e incrementen la eficiencia del uso de recursos naturales. Una de ellas podría ser el aprovechamiento de *Y. valida* (SEMARNAT, 2013).

La Norma Oficial Mexicana NOM-005-SEMARNAT-1997 establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de casi todas las plantas no maderables, incluyendo pautas especiales para las especies de *Yucca* en conjunto. Para el aprovechamiento de tallos de *Yucca* spp. se estipula lo siguiente:

“La madurez de cosecha se identificará cuando las colonias tengan individuos desprovistos de hojas verdes en un 80% de su longitud, y tratándose de grupos de edad homogénea que cumplan con lo anterior, se deberá aprovechar sólo el 50% de los individuos maduros, evitando dañar los brotes e individuos jóvenes. El ciclo de corta para los aprovechamientos de *Yucca* spp. en áreas no intervenidas, no será menor a 15 años, en tanto la Secretaría no tome otra determinación al respecto” (SEMARNAT, 2003).

La norma permite el aprovechamiento de *Y. valida* durante todo el año, sin tener en cuenta el estado hídrico de los tallos aunque la cosecha permitida se da en toneladas. La norma también permite ciclos de corte cada 15 años mientras no toma en cuenta las diferencias que presentarían las poblaciones en la tasas de crecimiento de los individuos (Castellón-Olivares, et al., 2002). Por otro lado, tampoco contempla que las especies de *Yucca* difieren en

su forma de crecimiento, tanto en la ramificación basal o subterránea como en la ramificación aérea y posiblemente en la relación entre la reproducción de semillas y la longitud del tallo desprovisto de hojas verdes.

### **2.1.7 Intentos de domesticación de *Yucca valida***

Arce-Montoya et al. (2006) hicieron un experimento de propagación y cultivo de *Y. valida* con el fin de domesticarla y establecer poblaciones comerciales para el aprovechamiento sustentable de la especie. En Noviembre de 2002 se estableció una plantación experimental de 17 líneas propagadas por clonación en el Carrizal, Baja California Sur (23.3464°N, -110.2705°W) y se evaluó durante 26 meses para comparar su crecimiento con plantas que provenían de semillas colectadas en el Valle de la Paz, BCS. Las plantas se sembraron a distancias de 1.8 x 2.0 m. Al terreno se le aplicó herbicida 3 meses antes de la plantación. El suelo en el campo es aluvial de origen secundario con textura arenosa y un pH de 7.2. Las plantas se irrigaron una vez por semana durante el experimento.

En el estudio se encontró una enorme variabilidad en la tasas de crecimiento anual, las líneas clonadas se desarrollaron más rápidamente, con tasas de crecimiento de entre 22.4 cm año<sup>-1</sup> y 27.5 cm año<sup>-1</sup>, mientras que las plantas provenientes de semillas presentaron en promedio tasas de crecimiento de 20.6 cm año<sup>-1</sup>. La tasa mínima de crecimiento para plantas provenientes de semillas fue de 1.1 cm año<sup>-1</sup> y la tasa máxima de 42 cm año<sup>-1</sup>. Al realizar la micro-propagación de la especie a partir de ejemplares extraídos del campo se presentaron muchas dificultades principalmente por la presencia de hongos y bacterias los cuales son muy difíciles de eliminar (Arce-Montoya et al., 2006).

Arce-Montoya et al. (2007) propusieron la domesticación de *Y. valida* para evitar poner en riesgo las poblaciones naturales de la especie y hacer un aprovechamiento más eficiente aumentando su productividad y eligiendo germoplasma de elite. Se prevé que una producción agrícola industrial eficiente y competitiva no permitirá que los rancheros locales se beneficien del aprovechamiento de *Y. valida* ya que no podrían competir contra ella, tal como ocurrió con el repentino interés mundial por el aprovechamiento de la jojoba del noreste de México. De ser así, otro recurso endémico perdería la posibilidad de beneficiar a los pobladores locales y a la conservación regional.

## **2.2 Estudios técnicos para fundamentar la explotación forestal no maderable**

El aprovechamiento de flora silvestre en la región del Vizcaíno es una actividad complementaria para los habitantes de la zona. Desde 1976 se aprovechan los fustes de palmilla (*Yucca schidigera*), para su industrialización y comercio a nivel nacional e internacional, especialmente en los ejidos Revolución y Reforma Agraria Integral. Su aprovechamiento estuvo basado en estudios restringidos tanto en espacio como tiempo (Comanor y Clark 1988; Sepúlveda-Betancourt 1994), sin conocer bien la cantidad existente del recurso ni su tiempo de regeneración. Su extracción se sugiere sea limitada ya que no sólo impacta las poblaciones de esta especie, sino al ecosistema en general (SEMARNAT, 2013). Carranza (1997) realizó un estudio dasonómico de *Y. schidigera* y concluyó que la precipitación, altura y temperatura determinan la densidad de plantas por hectárea. Encontró que en la condición seco-cálido las poblaciones son menos densas (44 individuos por hectárea). Mientras que en las zonas más húmedas se contabilizaron hasta 176 individuos por hectárea.

En el año 2007 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) autorizó el aprovechamiento comercial de tallos de *Y. valida* en el Ejido el Costeño durante cinco años en una superficie de 1208 ha y una cantidad aprovechable estimado en 5789 ton, permitiendo cortar hasta 1500 ton por año en cada rodal (SEMARNAT, 2007). Al parecer no se llevó a cabo el aprovechamiento, pero se desconocen las causas.

Otra planta nativa del Estado que se ha aprovechado es la jojoba (*Simmondsia chinensis*, Buxaceae). A partir de sus semillas se obtiene cera que es empleada como lubricante en condiciones de alta tensión y temperatura, en fluidos para transmisiones automáticas y en la elaboración de cosméticos (CONACYT, 1976). Su aprovechamiento se realizó sin regulación hasta 1977, pero a partir de ese año se han solicitado permisos para su aprovechamiento. Sin embargo, no es una actividad estable en la zona por las variaciones en su producción natural, las oscilaciones en el mercado y la proliferación de plantaciones a nivel mundial (Bullock, 1999).

## **2.3 Dinámica de poblaciones**

Una población es un grupo de individuos de una especie con una delimitación geográfica definida por condiciones del ambiente físico o por cuestiones logísticas para su

estudio o manejo. Para este estudio una población es un grupo localizado de individuos que se asume es representativo de las plantas en un ámbito climatológico, geomorfológico y geográfico específico (Figura 1) (Molles, 2005). Una población aumenta debido a la inmigración y la natalidad; la tasa de natalidad está expresada como el número de individuos producidos por planta (madura) por unidad de tiempo. Por otro lado, la supervivencia (siendo el inverso de la mortalidad) se entiende como la esperanza que tiene un individuo de vivir cierto tiempo bajo las condiciones ambientales actuales en su hábitat (Krebs, 1994). Una curva de supervivencia muestra los patrones de vida y de muerte dentro de una población en función de la edad del los individuos. Las curvas de supervivencia son diferentes para cada especie vegetal, la mayor diferencia que presentan es la concentración de mortalidad en plantas jóvenes o en plantas de edad avanzada. Las plantas longevas suelen tener altas tasas de mortalidad en individuos muy jóvenes y después mantener tasas bajas de mortalidad a lo largo de la vida (Molles, 2005).

La densidad de población se define como el número de individuos por unidad de área o por unidad de hábitat (Krebs, 1994). La densidad en las poblaciones vegetales disminuye con el aumento del tamaño de la plantas; por ejemplo: cuando las secuoyas gigantes (*Sequoia gigantea*) son plántulas pueden vivir en altas densidades y en la medida que crecen la densidad disminuye progresivamente hasta la fase en que los árboles maduros viven en bajas densidades (Molles, 2005).

El enfoque para estudiar la demografía de poblaciones vegetales ha cambiado, particularmente en el número de individuos y parcelas a estudiar así como la duración de los estudios (Shreve, 1917; Harper, 1977; Pierson y Turner 1998). Debido a lo laborioso que es marcar, cartografiar y medir a los individuos, una de las mayores limitaciones en los estudios ha sido en el número de sitios examinados por especie, que frecuentemente ha sido uno solo, resultando en gran incertidumbre al querer extrapolar los resultados a programas de manejo regional, o al hacer interpretaciones regionales. Para zonas áridas también hay que hacer hincapié en la necesidad de estudios a largo plazo por la inestabilidad en las tasas de reclutamiento y mortalidad en relación con la variabilidad del clima. Estudios como el de Hastings y Turner (1965) muestran que las fluctuaciones en el tamaño y la estructura de las poblaciones vegetales pueden ocurrir en el transcurso de décadas.

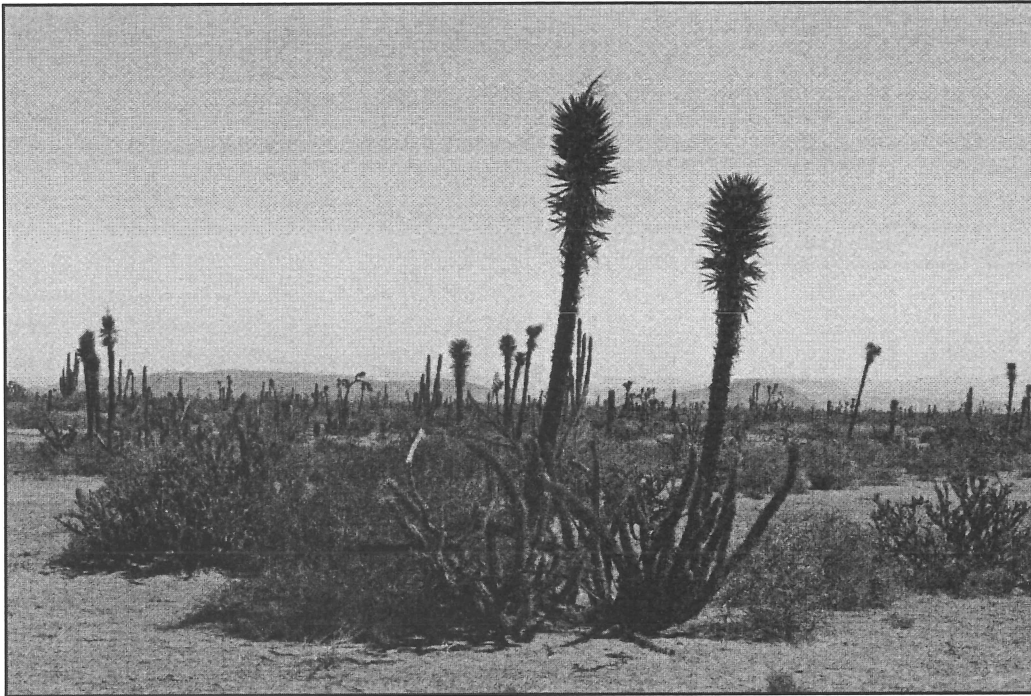


Figura 1. Típica población de *Yucca valida* en terreno ligeramente ondulado del extremo norte del Llano del Berrendo (28.171685° N, -113.760403° W, foto: M. Delgado)

### 2.3.1 Fotografía repetida

El método de fotografía repetida es casi tan antiguo como la misma fotografía; las primeras aplicaciones fueron culturales (para observar cambios en las ciudades, sitios arqueológicos y personas) y medicinales (monitoreo de enfermedades) (Webb, et al., 2010). Esta técnica muestra gráficamente cómo los paisajes responden a los procesos naturales y humanos, por ello se ha utilizado en estudios de paisajes y de vegetación (Rogers et al., 1984). El estudio de Hastings y Turner (1965) sobre hábitats de las regiones áridas fue el que impulsó la aplicación de este método a estudios poblacionales de especies vegetales particulares. A continuación se mencionan algunos de los estudios que han empleado la fotografía repetida para medir aspectos de demografía y crecimiento en plantas.

En 1959 Hastings y Turner (1965) instalaron una estación fotográfica para repetir durante varios años la fotografía de 1907 de Daniel T. MacDougal del fondo de un cráter en Sonora, con el objetivo de estudiar las poblaciones de *Carnegiea gigantea*, *Cercidium microphyllum*, *Encelia farinosa*, *Larrea tridentata* y *Prosopis* sp. presentes en un sitio libre de pastoreo. Los resultados mostraron que poblaciones aparentemente estables como las de

*Cercidium microphyllum* y *Larrea tridentata* pueden tener altas tasas de mortalidad repentinas. En cambio otras especies, como *C. gigantea*, mostraron altas tasas de reclutamiento inicial para después permanecer en niveles constantes. Al parecer las muertes estaban directamente relacionadas con los periodos de sequía prolongados que se presentaron en la zona mientras que el reclutamiento con los periodos de precipitaciones. Actualmente se continua con el monitoreo del sitio (Turner, 1990; Bullock y Turner, 2010).

En 1964 Tschirley y Wagle realizaron las repeticiones de las fotografías históricas de 1948 de un campo del sur de Arizona con el objetivo de estudiar la tasa de crecimiento y la dinámica poblacional de una cholla invasora (*Opuntia fulgida*). Las plantas más jóvenes presentaron una tasa de crecimiento de 7.6 cm por año y las plantas adultas mostraron decrecimiento, es decir, las articulaciones y ramas fueron perdiendo turgencia hasta caer y las chollas disminuyeron su tamaño en altura y estructura.

Algunos estudios se han dirigido al crecimiento individual más que a la dinámica poblacional. En 1979 Lamont y Downes utilizaron el método para medir el incremento en altura de tres plantas de *Kingia australis* en Australia occidental y corroborar el resultado con el estudio morfométrico. En 2002 Escoto-Rodríguez y Bullock publicaron las tasas de crecimiento del cirio (*Fouquieria columnaris*) de 14 sitios en Baja California con intervalos entre las fotografías históricas y nuevas de 3 a 93 años. Se encontraron diferencias significativas entre los individuos en relación con los factores del área que rodeaba a cada uno y también entre localidades. En 2006 Bullock y Heath estudiaron las tasas de crecimiento y la edad de palmas nativas de Baja California, *Washingtonia robusta* y *Brahea armata*, concluyendo que individuos de ambas especies tienen el potencial de vivir cerca de 500 años.

Cuando se utiliza este método en estudios demográficos que dependen del reconocimiento de individuos, permite calcular la tasa de supervivencia y de reclutamiento. Estos estudios pueden ser locales (Webb et al., 1987; Turner, 1990; Bowers et al., 1995) o regionales (Bullock et al., 2005). De estos últimos, la variación entre sitios no explicada por el tiempo puede ser utilizada para evaluar diferencias por uso del suelo, factores de substrato y factores climáticos, siempre y cuando el estudio abarque decenas de sitios.

El método también se ha utilizado para evaluar y documentar el estatus de especies posiblemente en riesgo. En Sudáfrica, Midgley et al. (1997) utilizaron la fotografía repetida con *Aloe pillansii*, comprobando la muerte de siete de 15 individuos y el reclutamiento de una planta. En 2010 Hoffman et al. utilizaron 27 fotografías repetidas de 11 sitios diferentes de Sudáfrica para estudiar la mortalidad, reclutamiento y cambios en las poblaciones de *Aloe dichotoma* y 4 fotografías de un sitio con *Aloe pillansii*. Los resultados revelaron que la dinámica poblacional de *Aloe dichotoma* era diferente para las diversas regiones; *Aloe pillansii* mostró un declive poblacional en el sitio de estudio. La información fue crucial para determinar el rango de estas especies dentro de la Lista Roja de Especies Amenazadas de UICN (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources).

### 2.3.2 Crecimiento

Las especies del género *Yucca* poseen diferentes tasas de crecimiento, en los estudios realizados en poblaciones naturales todas ellas son menores a los 15 cm por año. Webber (1953) reportó la tasa de crecimiento anual de varias especies en Arizona: *Yucca arizonica*, 0.3 cm, *Y. scottii*, 3.4 cm, *Y. elata*, 1.8 cm y *Y. brevifolia*, 6.6 cm. Webber (1963) además determinó que la tasa de crecimiento se ve afectada directamente por la precipitación y la altura (snm): poblaciones de *Y. schidigera* en condiciones áridas presentaron una tasa de crecimiento anual de 2.5 cm y con irrigación se aumentó a 7.7 cm. En el caso de *Y. brevifolia* poblaciones ubicadas a mayor altitud (2100 m) presentaron una tasa de crecimiento anual de 11 cm en comparación de otras ubicadas a menor altitud (4 cm).

En 2000 Comanor y Clark estimaron la tasa de crecimiento de *Y. brevifolia* en individuos pequeños (con un solo tallo y una sola roseta), individuos medianos (con múltiples tallos y de 2 a 9 rosetas) e individuos grandes (con múltiples tallos y más de 10 rosetas). En promedio los individuos pequeños tuvieron una tasa de crecimiento anual de 4.2 cm, los medianos de 3.5 cm y los grandes de 3.3 cm.

En 1952 se sembraron semillas de *Y. valida* en un Jardín Botánico en el estado de Querétaro (20.6917°N, 99.8181°W; a 2059 msnm), obteniendo un promedio de germinación del 95%. Colocadas a mil por hectárea las plantas se desarrollaron satisfactoriamente llegando a

los 3 metros de altura en 30 años y algunos ejemplares comenzaron a florecer y fructificar a los 24 años de edad (Piña-Luján, 1981).

Wallace (1972) germinó semillas de *Y. schidigera* para estimar la edad de grandes individuos en su medio natural; las plántulas produjeron un conjunto de seis laminas foliares el primer año y entre dos y cuatro conjuntos en cada uno de los siguientes tres años. Wallace utilizó estos promedios para estimar la edad de individuos de *Y. schidigera* en Nevada, concluyendo que algunos de éstos se aproximan a los 200 años. A partir de estos datos estimó la tasa de crecimiento anual para la especie en 1.5 cm. También afirmó la observación de Holman y Robbins (1939, p. 132) que *Y. brevifolia* produce anillos de crecimiento fácilmente identificables, aunque anatómicamente distintos de los de gimnospermas o de las dicotiledóneas.

### **3. Métodos**

#### **3.1 Región de estudio**

##### **3.1.1 Clima, sustrato y sitios**

El área de estudio está ubicada en El Desierto Sonorense, en la subdivisión referida por Shreve (1964) como "La Región del Vizcaíno". El desierto Sonorense posee microclimas que se explican por la cercanía al Océano Pacífico o al Golfo de California, la latitud, la altura y las configuraciones geográficas (Turner y Brown, 1982). La influencia del Pacífico en la vertiente occidental de la península provoca condiciones diferentes a las de la vertiente del Golfo de California como temperaturas diurnas más bajas, temperaturas mínimas anuales más altas, la presencia de extensas neblinas y nubosidad matinal durante meses y persistentes vientos provenientes del mar. El aumento gradual en altura, desde las costas hacia el interior, resulta en ligero descenso en la temperatura con heladas ocasionales, así como un aumento en las precipitaciones.

En las plantas son importantes tanto los periodos con lluvias como el número y la duración de los periodos de sequía, definidos como periodos sin lluvia o sin lluvia suficiente para afectar la humedad del suelo. Estos periodos pueden ser de varios meses e incluso de más de un año según los rancheros locales. El periodo de precipitaciones invernales se extiende de diciembre hasta finales de marzo o mediados de abril (Bullock, 2003). Estas resultan de desviaciones de la corriente de chorro subpolar, sistema que comparte la mayor parte del Desierto Sonorense con la región de clima mediterráneo de California. Estos frentes, que tienden a afectar toda la región (Bullock, 2003) llegan con más frecuencia y fuerza en inviernos de condiciones de "El Niño" (Minnich et al., 2000). A menudo se refuerzan o se complementan con un transporte de humedad del Pacífico central tropical llamado "pineapple express" (Dettinger, 2004). En verano también hay lluvias, pero éstas no se extienden a toda la región (Bullock, 2003) y la mayoría se relacionan con el monzón mexicano (Douglas et al., 1993) por la inestabilidad generalizada que se presenta sobre el Golfo, además de las tormentas convencionales locales y las depresiones/tormentas/huracanes que se forman sobre el mar al sur de México (Farfán Molina y Zehnder, 1994, Latorre y Penilla, 1988), por lo que se alarga la temporada de lluvias. La precipitación media para La Región del Vizcaíno es de 56

mm en invierno, 10 mm en primavera, 11 mm en verano y 28 mm en otoño, siendo la precipitación media anual de 105 mm (Hastings y Turner, 1965).

La característica más distintiva de la vegetación de la Región del Vizcaíno es la presencia de una gran cantidad de plantas suculentas. No obstante, Shreve (1964) consideró que la especie más común es un arbusto: *Ambrosia chenopodifolia*. La reputación que tiene Baja California por su exuberante vegetación se basa en esta región y en particular en la presencia de *Fouquieria columnaris*, *Pachycormus discolor*, *Fouquieria peninsularis*, *Pachycereus pringlei*, *Yucca valida*, especies de *Agave*, *Viscainoa geniculata* y *Brahea armata* (Gabb, 1867; Shreve, 1964). En la Región del Vizcaíno los arbustos, cactus y rocas suelen tener cierta cubierta de líquenes crustáceos o bien, foliosos; en ciertas zonas, la epífita *Tillandsia recurvata* es común sobre arbustos y árboles.

La región de estudio para este trabajo se extiende de los 29.56°N a los 28°N y desde la costa del Pacífico hasta los límites orientales de la distribución de *Y. valida*. Esta región tiene una variada geología (Gastil et al., 1975) y una "accidentada" topografía que no suele sobrepasar los 650 msnm. *Y. valida* ocurre principalmente en valles, llanos, arroyos y dunas, siendo escasa o nula en terrenos pedregosos o muy inclinados, en mesas y sitios con suelos residuales de rocas ígneas extrusivas. Los sitios de estudio fueron principalmente localidades donde previamente se había muestreado por fotografía repetida y se tenía presencia de *Y. valida* (Figura 2). Los 41 sitios seleccionados y sus características se presentan en el Anexo 3.

### **3.1.2 Asentamientos humanos y economía**

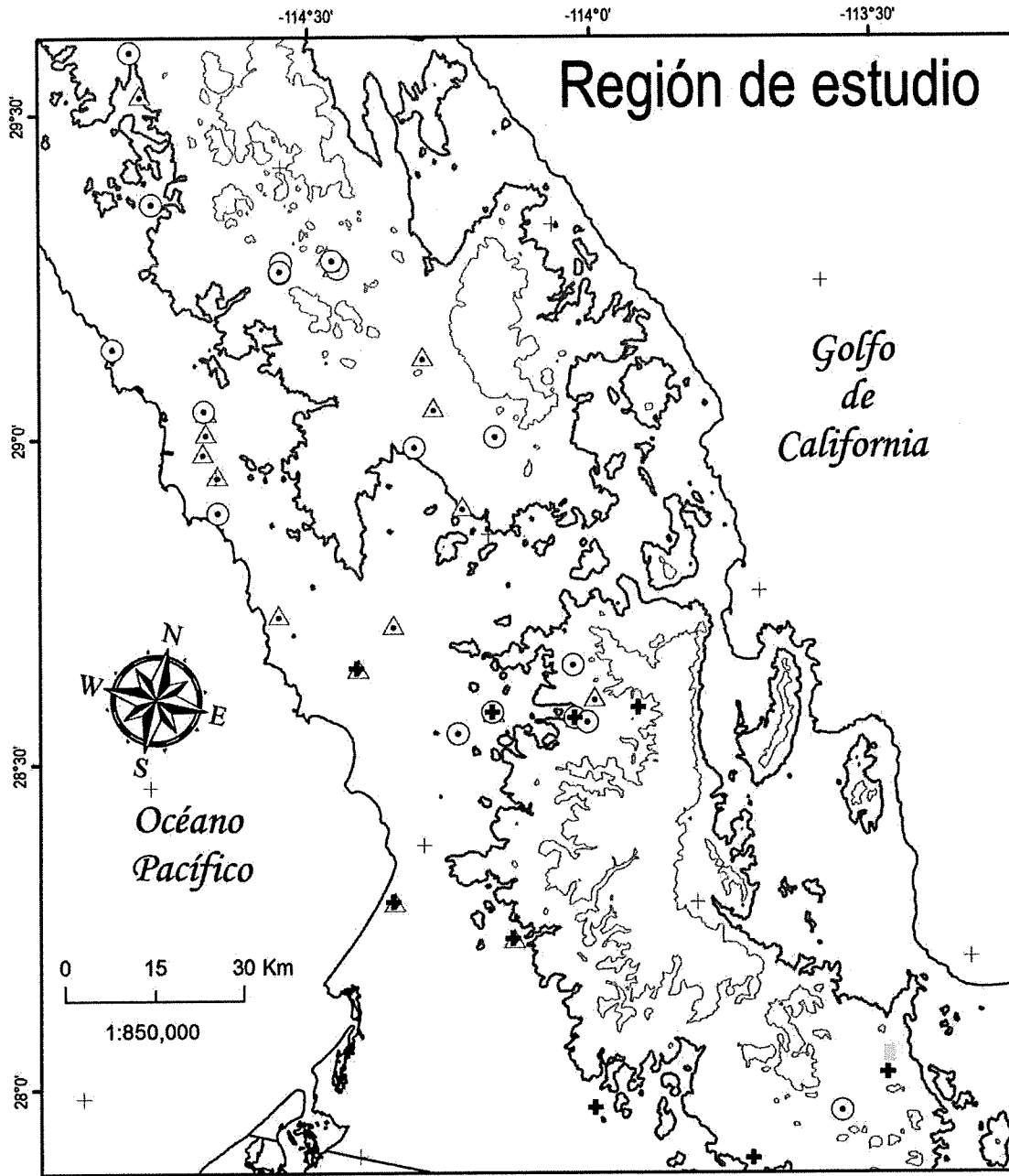
En 2010 se registraron 120 localidades rurales establecidas en Valle de los Cirios y 20 en la zona periférica (20 km alrededor), con una población total de 5,136 personas. La densidad se estimó en 0.08 personas por kilómetro cuadrado, siendo una de las regiones menos pobladas de México. En 2002, 7 asentamientos con más de 100 habitantes que concentraba el 70.9% de la población total; el resto estaba asentada en ranchos (12.8%), campos costeros (9.9%) y caseríos (6.4%) (CONANP, 2012). En 2010 el 60% de la población contaba con servicios de salud y el grado de escolaridad era de 7.4 años. El 82% de las viviendas contaba con energía eléctrica, el 60% tenía agua entubada y tan sólo el 52% sistema de drenaje (Martínez N., no pub.). El 99% de la población se reporta actualmente ocupada, pero pocas

personas gozan de un ingreso constante, por ello el patrón común es laborar en varios trabajos estacionales (CONANP, 2012).

La mayor parte de la región donde se distribuye *Yucca valida* en Baja California es terreno ejidal; en varios de éstos, las tierras ya han sido privatizadas y la tendencia es a continuar haciéndolo. Por ende, es difícil estimar con exactitud cuántas familias se beneficiarían directamente del aprovechamiento de *Y. valida*; no obstante, se piensa que está en el orden de los cientos.

Durante los últimos veinte años la tendencia de los habitantes de la región del Vizcaíno ha sido migrar hacia las localidades más grandes en busca de fuentes de trabajo alternativas y mejores condiciones de vida, ya sea por el agotamiento del recurso del que vivían, por fluctuaciones en el mercado de consumo o por otras razones sociales y culturales. Esto se ha reforzado por la posibilidad de privatización y venta de tierras anteriormente ejidales. Las principales actividades económicas primarias que se desarrollan en las localidades de Valle de los Cirios son la ganadería, pesca y en menor medida la agricultura; el sector secundario comprende la explotación de recursos pétreos y minerales y el sector terciario lo compone el turismo y el comercio a pequeña escala (CONANP, 2012).

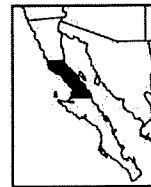
Una parte de la Región del Vizcaíno se encuentra bajo la protección de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), dentro de la Reserva de la Biosfera "El Vizcaíno" (2,546,790 ha) y el Área de Protección de Flora y Fauna "Valle de los Cirios" (2,521,776 ha). Ambas cuentan con administración local y programa de manejo decretado.



**Simbología**

- Repetición fotográfica entre 1996 y 1997.
- △ Repetición fotográfica y mediciones de *Y.validat* en 2012
- ✚ Colecta de hojas para análisis de contenido de clorofilas y antocianinas
- 400 msnm
- 800 msnm

Proyección: Cónica conforme de Lambert  
Datum: Norte América 1927



Elaborado por: Mariana Delgado Fernández, 2013

Figura 2. Mapa de la región de estudio

## 3.2 Fisiología y morfología gruesa

### 3.2.1 Contenido de antocianinas y clorofilas en hojas

Para conocer la concentración de antocianinas y clorofilas se colectó una hoja de cada 10 individuos de *Y. valida* en nueve sitios (Figura 3). Las muestras se mantuvieron en refrigeración y protegidas de los rayos solares hasta el momento de las mediciones.

1. Extracción de antocianinas: se cortaron cuadros de 1 cm<sup>2</sup> de las 90 hojas y se colocaron en tubos de ensayo con 4 ml de metanol acidificado [6M HCl : H<sub>2</sub>O : MeOH (7: 23 : 70)]. Se taparon los tubos y se dejaron en refrigeración (4° C) por 24 horas.

2. Determinación de antocianinas con espectrofotómetro: transcurridas las 24 horas se utilizó un espectrofotómetro para medir la absorción de luz a 530 nm y 653 nm de cada una de las muestras.

3. A partir de los datos se calculó la concentración de antocianinas (en equivalente de 3-glucósido de cianidina) con la siguiente ecuación (Hughes et al., 2007):

$$\text{Concentración de antocianinas } (\mu\text{g/ml}) = 14.97 * (A_{530} - (0.24 * A_{653}))$$

Se realizó un ANOVA de dos vías y una prueba posterior de Tukey (en Statistica 8.0) para identificar los sitios con niveles similares y diferentes de antocianinas.

1. Extracción de clorofilas: Se cortaron cuadros de 1 cm<sup>2</sup> de las 90 hojas y se colocaron en tubos de ensayo con 3 ml de N,N-Dimethylformamide (DMF), se taparon los tubos y se dejaron en refrigeración (4° C) por 48 horas.

2. Determinación de clorofilas con espectrofotómetro: transcurridas las 48 horas se utilizó un espectrofotómetro para medir la absorción de luz a 647 nm y 664 nm de cada una de las muestras.

3. A partir de los datos se calculó la concentración de clorofila a, b y total con las siguientes ecuaciones (Moran R., 1982):

$$\text{Concentración de clorofila a } (\mu\text{g/ml}) = 12.64 A_{664} - 2.99 A_{647}$$

$$\text{Concentración de clorofila b } (\mu\text{g/ml}) = -5.6 A_{664} + 23.26 A_{647}$$

$$\text{Concentración de clorofila total } (\mu\text{g/ml}) = 7.04 A_{664} + 20.27 A_{647}$$

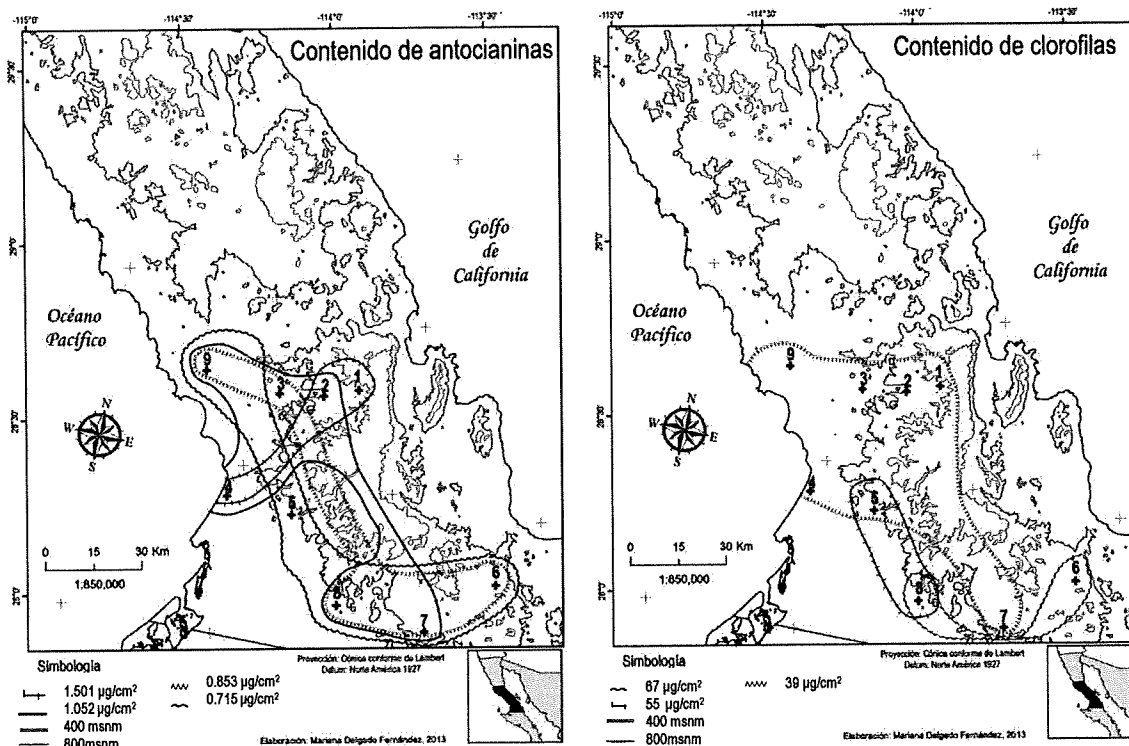


Figura 3. Mapa de grupos de sitios con semejante contenido de pigmentos. A) Antocianinas B) Clorofilas

Debido a la distribución geográfica de los sitios de muestreo se realizó un ANOVA de dos vías y una prueba posterior de Tukey para comprar los niveles de pigmentos entre los sitios del Norte contra los del Sur y los de costa (Oeste) contra los de interior (Este) e identificar los sitios con niveles similares de clorofilas y antocianinas.

### 3.2.2 Contenido de antocianinas en raíces

Se colectaron raíces para conocer el contenido de antocianinas en equivalente de 3-glucósido de cianidina; se les dio el mismo tratamiento que a las hojas para la extracción de antocianinas. Para la colecta se aprovechó un desenterramiento parcial por una creciente a c. 5 km al este de Arroyo San Luis, camino a El Arco.

### 3.2.3 Ancho de rosetas

En los 21 sitios visitados en 2012 se realizaron mediciones de ancho de roseta, obteniendo un total de 124 registros. Se realizó una ANOVA y prueba posterior de Tukey (en Statistica 8.0) para visualizar las diferencias y similitudes entre poblaciones.

### **3.2.4 Diámetro de fustes**

En 20 sitios de los visitados en 2012 (exceptuando el 10NE), se realizaron mediciones del diámetro de los tallos a 1.3 metros arriba del suelo, obteniendo un total de 124 registros. Se realizó una ANOVA y prueba posterior de Tukey para visualizar las diferencias y similitudes entre las poblaciones.

### **3.2.5 Longitud de fustes y rosetas**

En los 21 sitios visitados en 2012 se realizaron mediciones de la longitud de los fustes y la longitud de las rosetas, obteniendo un total de 41 registros, para probar mediante una correlación lineal si había una relación entre estas dos medidas.

## **3.3 Dinámica de poblaciones**

### **3.3.1 Método de fotografía repetida**

Para estimar la longevidad, el reclutamiento, la mortalidad y la edad o tamaño de la primera reproducción de una especie vegetal es necesario conocer la permanencia y recambio de los individuos. El presente estudio, trata de una especie longeva en un ambiente árido; por ello se aprovecharon los individuos reconocibles en fotografías históricas para extender el alcance temporal y espacial del estudio y hacer estimaciones más precisas sobre la dinámica poblacional de la especie.

El método consiste en repetir una fotografía de un mismo sitio, de tal forma que se logren empatar ambas fotos y cuantificar los cambios. La ubicación de las fotografías originales se inicia con indicaciones aproximadas obtenidas de escritos de los fotógrafos, el conocimiento del paisaje, la experiencia en el área de estudio y de la técnica por parte del personal asociado a esta línea de investigación. La ubicación de la fotografía original se obtiene por las posiciones relativas, horizontales y verticales, de rasgos fijos cercanos en la vista desde la cámara, en comparación con rasgos distantes en la misma vista. Típicamente los rasgos son irregularidades de los horizontes, márgenes de las rocas y a veces características fijas de las plantas. Se trabaja con al menos dos conjuntos de rasgos bien separados en sentido horizontal. Al localizar la posición de la cámara original, incluyendo su altura, se fija el centro del campo de visión en el mismo punto que en el original. Para facilitar las repeticiones futuras se coloca una

estaca permanente en el sitio, se registran las coordenadas geográficas y los datos de altura e inclinación de la cámara.

Las cámaras fotográficas utilizadas históricamente han cambiado. El tamaño de la película y resolución en píxeles así como la calidad del lente son factores críticos para empatar fotografías antiguas. La mayoría de las imágenes previas a 1970 están en blanco y negro; recientemente se repiten a color y a blanco y negro. Las digitalizaciones de negativos de película vienen en formato de 120 mm (formato medio) y de 4x5 pulgadas (formato grande) y algunas impresiones fotográficas. Para repetir de las fotografías históricas en 2012 se utilizó una cámara digital Canon EOS Rebel XT con lente Canon 58mm y una cámara Crown Graphic con lente de 90mm Caltar II N con película de 120 mm.

### **3.3.2 Las fotografías y estudio de pares**

Las fotografías históricas que se utilizaron para obtener datos demográficos y de crecimiento en este estudio se obtuvieron de la colección fotográfica de más de 500 fotografías históricas ya repetidas que posee el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Las fotos provienen de diferentes fuentes: herbarios, bibliotecas, libros y colecciones privadas; la base de datos de fotografías originales inicia en 1905 con una fotografía de E.A. Goldman y cuenta con contribuciones de otros fotógrafos como: J.R. Hastings y R.M. Turner, H.E. Gulick, L.M. Huey, B.A. Arnold, H.W. Crosby y H.H. Aschmann.

Se realizó una selección de 41 sitios de los que existen fotografías repetidas en Baja California, algunas de ellas con hasta triple repetición. El intervalo de tiempo promedio entre las fotografías originales y la primera repetición fue de 39 años y en el segundo intervalo de 15 años. La selección se basó en criterios de calidad de la foto y número de individuos presentes. Por lo tanto los 41 sitios elegidos presentan las fotografías repetidas disponibles de mayor calidad y con mayor número de individuos identificables (Figura 2, Anexo 3) en Baja California. En Noviembre de 2012 se realizaron visitas en campo a 21 sitios de los 41 con el objetivo de repetir la fotografía, realizar mediciones directas en individuos y coleccionar hojas y frutos.

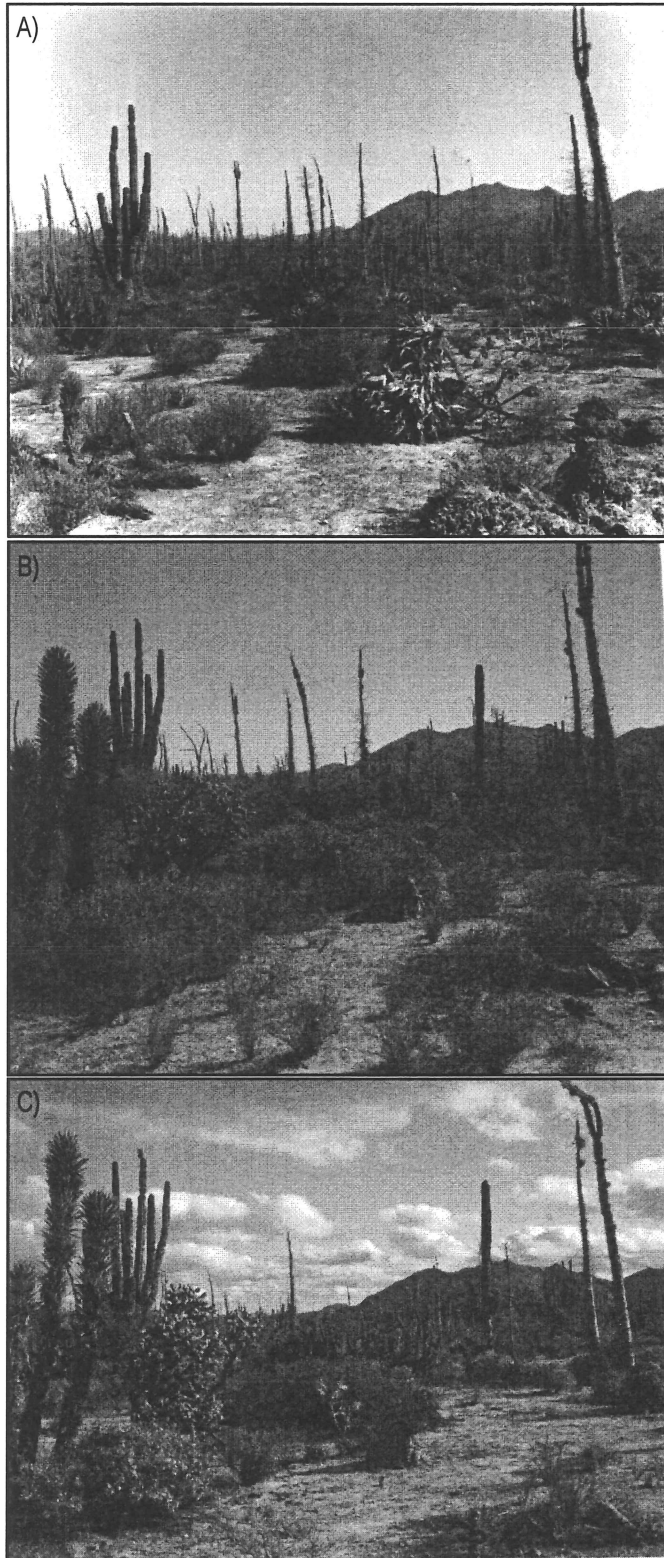


Figura 4. Ejemplo del método de fotografía repetida, sitio 82 S. A) Fotografía de L. Huey en 1930 B) Fotografía de S. Bullock en 1996 C) Fotografía de S. Bullock en 2012.

Las fotografías originales se digitalizaron con un escáner de alta resolución (600 a 1800 ppp). Se analizó cada par fotográfico utilizando el software de manipulación fotográfica Adobe Photoshop versión 5.5. Las repeticiones utilizadas fueron las digitales, quedando las de película para el archivo permanente. Las dos fotografías digitalizadas, se escalaron y cortaron al mismo tamaño para empatarlas lo mejor posible. Después se superpusieron los pares de imágenes y se redujo la opacidad de una de ellas, de esta forma se pudo identificar y contabilizar el número de individuos en la fotografía original y contar el número de muertos y de reclutas en la siguiente fotografía (Figura 4). Para facilitar la recopilación de datos de las fotografías, se realizó un marcaje en forma de número (serie única para todo el estudio) y de punto de color (diferentes colores según el año de aparición y desaparición de cada individuo). En cada par de fotografías se analizó mortalidad, reclutamiento, supervivencia, presencia de ramificaciones aéreas, clonación, estadio reproductivo y recambio de tallos.

El método de fotografía repetida tiene varias limitantes: la perspectiva de la cámara es limitada, lo que implica que las interpretaciones se han de hacer cuidadosamente teniendo en cuenta los cambios en la luz, resolución o enfoque; por otro lado, los reclutas de los últimos años suelen tener poca altura y estar tapados por otros arbustos o rocas siendo invisibles en la fotografía repetida, por ello el reclutamiento en este estudio se refiere a plantas nuevas bien establecidas (Bullock y Turner, 2010).

### 3.3.3 Tasa de crecimiento anual

Se desarrolló un método cuantitativo para calcular la tasa anual de crecimiento por tallo. Para ello, primero se realizaron mediciones en campo de la altura de los tallos y el ancho de las rosetas sólo cuando pudiesen ser identificados en las fotografías anteriores y las nuevas. A partir de estos datos se utilizó el software Image J para calibrar la medida de las imágenes y hacer mediciones directas (en píxeles) en las fotografías a partir de la altura conocida. Se utilizó la fórmula propuesta por Bullock y Heath (2006) para calcular la altura de los fustes de manera digital:

$$\frac{h}{a} \times A = H$$

Ecuación 1

Donde:

$h$  = Altura del fuste en pixeles (medido en Image J)

$a$  = Ancho de la roseta en pixeles (medido en Image J)

$A$  = Ancho de la roseta en metros (medido en campo)

$H$  = Altura del fuste en metros

Para conocer el error de este método, se compararon las alturas de los fustes (en metros) obtenidas utilizando el software con las mediciones (en metros) de campo. El coeficiente de correlación de esta comparación fue de  $r = 0.89$  (Figura 5;  $p < 0.0001$ ,  $F = 152.1$ ,  $n = 42$  en 18 sitios). Dada la exactitud del método se utilizaron los promedios de ancho de roseta de los sitios visitados en los sitios que no se visitaron en campo para calcular en ellos sus tasas de crecimiento, la asignación de el valor de ancho de roseta más adecuado para los sitios no visitados se realizó con base en su ubicación geográfica respecto al análisis de esta característica (Figura 4, Figura 6A).

La fórmula que se utilizó para calcular la tasa de crecimiento anual fue la siguiente:

$$\frac{(H_{t_2} + Hra_{t_2}) - (H_{t_1} + Hra_{t_1})}{t_2 - t_1}$$

Ecuación 2

Donde:

$H_{t_2}$  = Altura del fuste en la fotografía posterior (tiempo 2) en centímetros

$Hra_{t_2}$  = Longitud de las ramificaciones aéreas del fuste en la fotografía posterior (tiempo 2) en centímetros.

$H_{t_1}$  = Altura del fuste en la fotografía anterior (tiempo 1) en centímetros

$Hra_{t_1}$  = Longitud de las ramificaciones aéreas del fuste en la fotografía anterior (tiempo 1) en centímetros.

$t_2$  = Año en el que se tomó la fotografía posterior

$t_1$  = Año en el que se tomó la fotografía anterior

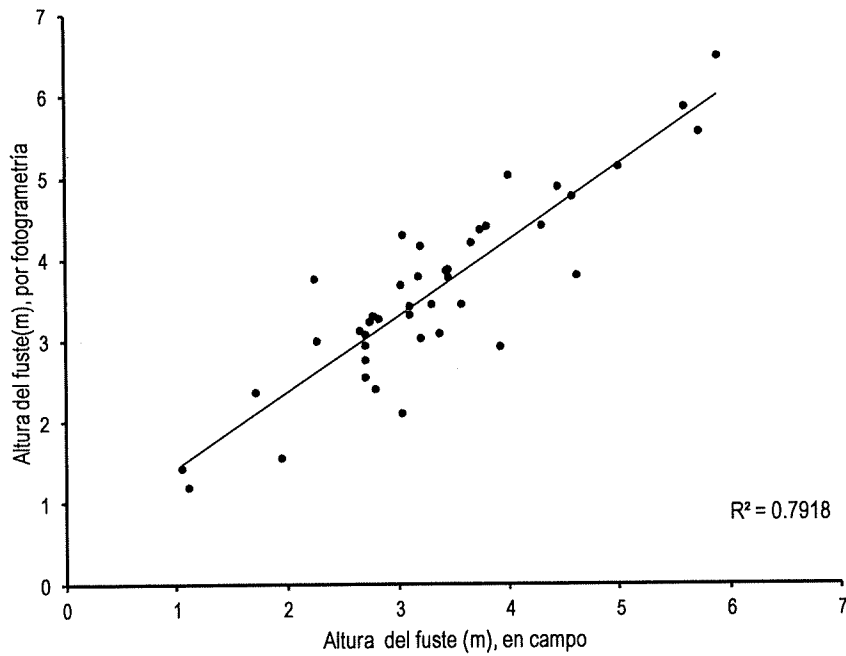


Figura 5. Relación entre la altura del fuste medida en campo y por fotogrametría.

Se realizó una ANOVA no paramétrica y la prueba posterior de Kruskal-Wallis para identificar si existían diferencias significativas entre las tasas de crecimiento de las poblaciones.

Además se midió la altura máxima alcanzada por cada individuo en las tres fotografías repetidas utilizando el mismo software.

### 3.3.4 Estimación de edad

A partir de las tasas de crecimiento se calcularon las edades aproximadas de los individuos en la fotografía original utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{H_{t1} + Hra_{t1}}{Tca}$$

Ecuación 3

Donde:

$H_{t1}$  = Altura del fuste en la fotografía anterior (tiempo 1) en centímetros

$Hra_{t1}$  = Longitud de las ramificaciones aéreas del fuste en fotografía anterior (tiempo 1) en centímetros.

$Tca$  = Tasa de crecimiento anual del individuo

### 3.3.5 Inicio y tasa de reproducción

Se utilizaron los registros de la altura de los fustes medidos en campo que presentaron pedúnculos o frutos para caracterizar la probabilidad de reproducir en relación con tamaño y por ende la altura mínima promedio en la que los individuos comienzan a florecer y fructificar. Se estimó el porcentaje de los individuos que ya florecieron y fructificaron al menos una vez en su vida

### 3.3.6 Número de semillas

En campo se colectaron frutos de *Y. valida* en los 10 sitios donde había disponibilidad de ellos (Anexo 3) con el objetivo de medir su diámetro, longitud, contar el número de semillas y observar las larvas u otros insectos que pudieran estar en su interior. Para ello se dejaron cuatro meses en botes de plástico tapados con malla a temperatura ambiente en Ensenada, en espera de que las larvas salieran de los frutos y comenzaran su metamorfosis. Después se contó el número de semillas en la mayoría de los frutos y se realizó un ANOVA no paramétrica y una prueba posterior de Kruskal-Wallis.

### 3.3.7 Tasa de reclutamiento

Se estimó la tasa de reclutamiento en cada sitio de estudio durante el primer intervalo de tiempo utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{\frac{Nrec}{\frac{Nind_{t_2} + Nind_{t_1}}{2}}}{t_2 - t_1}$$

Ecuación 4

Donde:

$Nrec$  = Número de reclutas

$Nind_{t_2}$  = Número de individuos en la fotografía posterior (tiempo 2)

$Nind_{t_1}$  = Número de individuos en la fotografía anterior (tiempo 1)

$t_2$  = Año en el que se tomó la fotografía posterior

$t_1$  = Año en el que se tomó la fotografía anterior

### 3.3.8 Tasa de supervivencia

Se calculó el número de supervivientes en cada sitio para cada intervalo de tiempo utilizando la siguiente fórmula que hace comparable a los sitios para un mismo N inicial:

$$\frac{(N_{i_{total}} - N_{i_{muertos}}) \times 1000}{N_{i_{total}}}$$

Ecuación 5

Donde:

$N_{i_{total}}$  = Número de individuos total inicial de un sitio

$N_{i_{muertos}}$  = Número de individuos que murieron en el sitio

### 3.3.9 Muestreo dasonómico

Se estimó la densidad de *Y. valida* en 17 de los sitios de estudio (Anexo 3) y el número de fustes más frecuente que hay en ellos. De los 21 sitios, uno fue excluido por estar las plantas limitadas a un arroyo demasiado estrecho y en otros casos hubo sitios muy cercanos los cuales fueron representados por un mismo muestreo. Se utilizó una simplificación de la metodología de la Comisión Nacional Forestal según su manual de procedimientos para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2012, que se organiza por localidades o "conglomerados", conformado por cuatro parcelas o "sitios" de 400 m<sup>2</sup> (radio 11.28 m), con una parcela central y otras al N, SE y SW a 45.14 m centro-a-centro de la central. En cada parcela se midieron y registraron los individuos de *Y. valida* presentes. A cada "conglomerado" se le predefinió un punto central con la ayuda de "Google Earth", asegurando visualmente que el diseño de muestreo fuera posible realizarlo evitando cambios fisiográficos bruscos y perturbaciones (caminos). En campo, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) permitió localizar el centro predefinido con una precisión de c. 5 m y en ocasiones el centro fue ajustado para asegurar que al menos un individuo de *Y. valida* quedara en la parcela central, tratándose de un estudio de localidades de esta especie.

También se utilizaron los datos de los conglomerados del Inventario Nacional Forestal de 2005, en Baja California, donde aseguran la presencia de la especie para calcular la densidad de fustes por hectárea.

### **3.4 Distribución potencial de *Yucca valida***

Se realizó un mapa de distribución potencial de *Y. valida* en la Península para predecir las zonas donde el clima es adecuado para la presencia de la especie. Se realizó esta modelación con el software MaxEnt (Phillips et al., 2006) utilizando el modelo de distribución de máxima entropía, a partir de 384 puntos geo-referenciados de presencia de la especie (Webb et al., datos no pub.; Turner et al., 1995). No hubo selección ni censura de los datos aunque su distribución está sesgada a Baja California. Se modeló utilizando un conjunto de 19 capas de información bioclimática global (Bioclim; Hijmans et al., 2011; Anexo 4) representativa de las condiciones recientes (1950-2000) de la Península, que poseen una resolución aproximada de 1 km<sup>2</sup>. La lista y definiciones de variables se presentan junto con los resultados.

### **3.5 Análisis de componentes principales (ACP)**

Se realizó un análisis de componentes principales para identificar los conjuntos de factores ambientales que explican parte de la variabilidad en los atributos de las poblaciones de *Yucca valida* y conocer su grado de importancia. El ACP se realizó utilizando el programa estadístico Systat con el método Varimax (de rotación ortogonal) que simplifica los factores, buscando minimizar el número de variables que tengan un peso ("loading") alto en cada factor. Se empleó el análisis para definir factores o ejes combinando variables de clima y de sustrato, sin incluir atributos de las poblaciones, pero limitando los datos a los sitios de estudio.

Las variables bioclimáticas fueron seleccionadas de las 19 variables de BioClim, pero haciendo el análisis de correlación *a priori*. En caso de altas correlaciones se escogió a juicio la variable a utilizar. Las variables incluidas fueron temperatura promedio anual, rango de temperatura anual, promedio del rango diurno de temperatura, precipitación anual y precipitación del mes más húmedo (Anexo 5). A pesar de que la temperatura promedio anual y el rango anual de temperatura presentaron correlaciones altas con la precipitación anual (-0.727 y -0.773), se decidió dejar esta variable ya que se presupone está midiendo una característica ambiental distinta e importante. Cabe enfatizar que los datos de BioClim, que tienen una amplia aceptación y uso, derivan en su enorme mayoría por interpolación realizada con el algoritmo "thin-plate smoothing spline" del software para interpolación ANUSPLIN (Hijmans et al., 2005).

La base de datos climáticos para el Noroeste de México, que muestra la posición de cada estación meteorológica en campo, está disponible en <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/index.html>.

Las variables del suelo se derivaron de los datos de perfiles de INEGI (INEGI, 2004). La selección de variables se llevó a cabo por medio de un análisis de correlación *a priori*, eligiendo a juicio las variables a utilizar en los casos en que existían altas correlaciones. Se incluyeron las siguientes variables: arcillas (%), limos (%), pH, sodio y fósforo (Anexo 5). La densidad de puntos de muestreo es mucho mayor a la de clima, pero se ha de tener en cuenta que las variaciones significativas en las características del suelo ocurren a escalas espaciales mucho más finas que el clima. Se realizaron interpolaciones de las variables de suelo por el método de interpolación exponencial de puntos conocido como "Kriging" ordinario, que a pesar de ser el más utilizado en estudios ambientales y ser más preciso que el "Kriging" simple, no toma en cuenta las variaciones en la geología ni en la topografía presentes en la zona.

Al tener definidos los factores del ACP, se encontraron sus respectivos valores para cada sitio y estos se usaron como variables independientes en análisis de regresión lineal con los atributos de los individuos y poblaciones de *Y. valida*.

## 4. Resultados

### 4.1 Fisiología y morfología gruesa

#### 4.1.1 Contenido de antocianinas y clorofilas

La concentración de clorofila total mostró diferencias significativas entre sitios (ANOVA de dos vías,  $F = 10.03$ ,  $p < 0.001$ ). La Figura 3A muestra las poblaciones con niveles de clorofilas similares. Se observan tres grupos traslapados. El grupo A está conformado por la mayor parte de las poblaciones (1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9), éstas contienen los menores niveles de clorofila con un promedio de  $39.5 \pm 6.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Con niveles medios de clorofila se encuentra el grupo B conformado por las poblaciones 5 y 8, con un valor promedio de  $55.6 \pm 7.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . El grupo con mayores niveles de clorofilas es el C, conformado por las poblaciones 6 y 8 con un valor promedio de  $67 \pm 8.4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

La concentración de antocianinas también mostró diferencias significativas entre sitios (ANOVA de dos vías,  $F = 9.76$ ,  $p < 0.001$ ) y se muestran los cuatro grupos solapados en Figura 3B. El grupo A está conformado por las poblaciones 2, 4 y 9 que son las poblaciones que tienen mayores niveles de antocianinas con un promedio de  $1.50 \pm 0.33 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . El grupo B está conformado por las poblaciones 2, 3, 4, 7, 8 y 9 con un promedio  $1.05 \pm 0.23 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . El grupo C comprende las poblaciones 3, 6, 7, 8 y 9 con un promedio de  $0.85 \pm 0.21 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . El grupo con el nivel más bajo de antocianinas es el D, conformado por las poblaciones 5, 6, 7, 8 y 9 con un valor promedio de  $0.72 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

Las raíces presentaron un valor promedio de antocianinas de  $412.3 \pm 48.5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ .

#### 4.1.2 Ancho de rosetas

Entre los 21 sitios hubo diferencias muy significativas en el ancho de la roseta (ANOVA  $F = 3.80$ ,  $p < 0.0001$ , Anexo 3). Hubo dos grupos bien definidos en cuanto a esta característica de las rosetas (Figura 6A): el costero con rosetas de  $42.4 \pm 0.1$  cm de ancho y el de interior con  $48.0 \pm 0.1$  cm. La variación en cada grupo fue cercana a la normal (sesgos de 0.11 y de 0.02). Estos valores se utilizaron para realizar las mediciones de altura máxima y de crecimiento en Image J de los sitios que no se visitaron en campo; 18 sitios se unieron al grupo de roseta de interior y dos al grupo de roseta costera (Anexo 3).

### 4.1.3 Longitud de la roseta en relación con la altura

La regresión lineal mostró una relación entre la altura total del individuo y la longitud de la roseta ( $r^2 = 0.06$ ,  $F = 8.52$ ,  $p = 0.005$ ), la cual fue inesperadamente positiva (rosetas más grandes en individuos de mayor altura) aunque explicó un fracción pequeña de la variación.

### 4.1.4 Diámetro de fustes

Hubo diferencias muy significativas entre los 21 sitios muestreados (ANOVA  $F = 5.20$ ,  $p < 0.0001$ , Anexo 3) en el diámetro de los tallos. Se agruparon en dos categorías en cuanto a esta característica de los tallos: la costera, con tallos de  $11.8 \text{ cm} (\pm 2.1 \text{ cm})$  de diámetro y la del interior, el primero con un diámetro promedio de  $16.3 \text{ cm} (\pm 3.2 \text{ cm})$  y el segundo con un diámetro promedio de  $16.0 \text{ cm} (\pm 3.2 \text{ cm})$ .

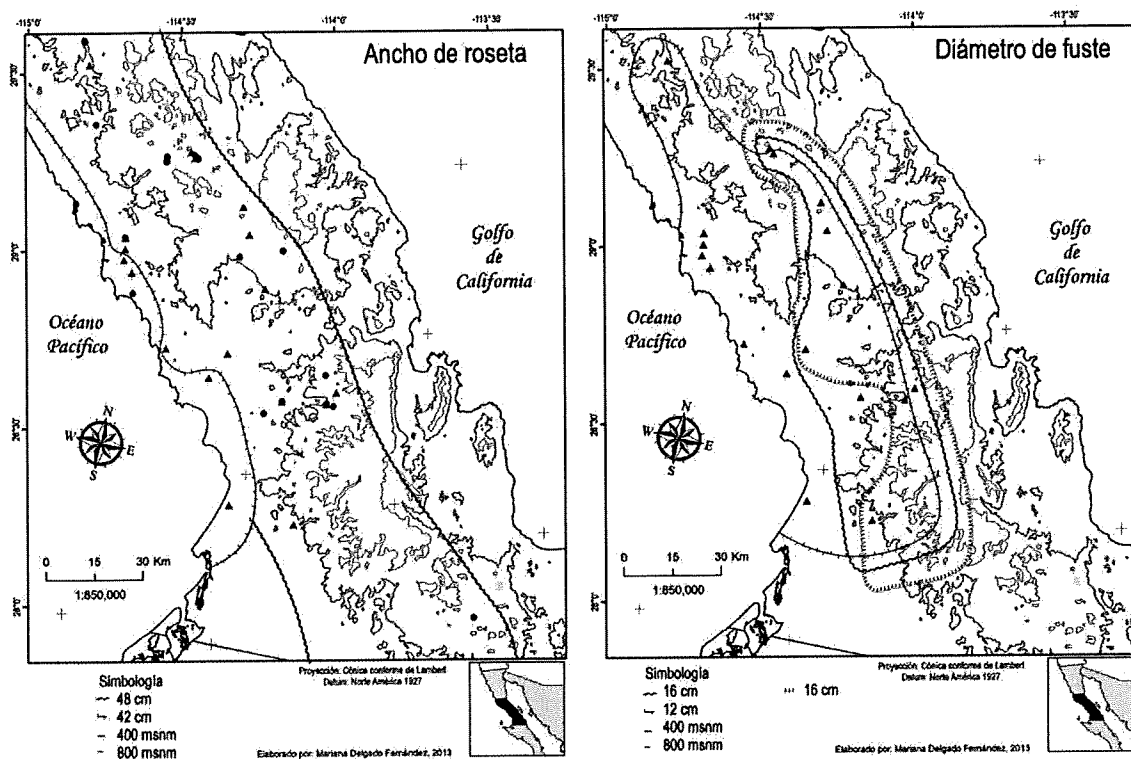


Figura 6. Mapa de grupos de sitios con poblaciones de semejantes dimensiones A) Ancho de roseta B) Diámetro de fuste

### 4.1.5 Tasa de crecimiento anual y altura máxima

El 87% de los fustes presentaron tasas de crecimiento de entre  $0.1$  y  $10.5 \text{ cm año}^{-1}$ , el 12% de los fustes tasas de entre  $10.5$  a  $19.2 \text{ cm año}^{-1}$  y el resto (2%) tasas de hasta  $26.8 \text{ cm año}^{-1}$  (Figura 7A). La tasa de crecimiento promedio en las poblaciones fue de  $5.5 \pm 4.3 \text{ cm año}^{-1}$

1. La ANOVA no paramétrica no mostró diferencias significativas entre las tasas de crecimiento de los sitios (Anexo 3). Aunque un mismo fuste puede ir cambiando su tasa de crecimiento a lo largo del tiempo (Figura 7B), la altura del fuste no determina su tasa de crecimiento ( $r^2 = 0.02$ ). Se demostró que las tasas de crecimiento no difirieron entre el primer y segundo intervalo histórico de manera consistente entre todos los fustes medidos ( $X^2 = 2.68$ ,  $p = 0.102$ ,  $n = 135$ ).

El rango de alturas máximas entre los 41 sitios fue 2.5 m a 7.1 m, con un promedio de  $4.1 \pm 0.87$  m. Como ejemplo del potencial de las plantas. En la Figura 8 se presenta el individuo de mayor volumen y número de ramas que se encontró.

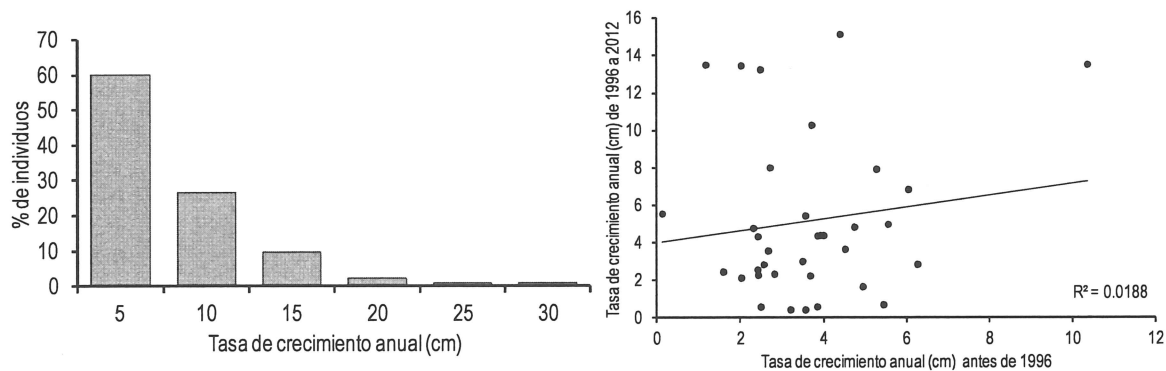


Figura 7. Tasa de crecimiento de los fustes. A) Tasas de crecimiento considerando todos los fustes medidos entre 1905 y 2012. B) Relación de la tasa de crecimiento antes de 1996 con la de 1996 a 2012 para un mismo fuste.



Figura 8. Fotografía de *Yucca valida* T.S. Brandegee: individuo muy grande cerca de Mezquital ( $28.2564^{\circ}\text{N}$   $113.7981^{\circ}\text{W}$ , foto: S. Bullock).

## 4.2 Dinámica de poblaciones

El primer periodo incluye los 41 sitios de estudio. Las fotografías originales de este intervalo se tomaron entre 1905 y 1971 y sus repeticiones  $39 \pm 15$  años después. En las originales se identificaron 434 individuos, de los cuales el 85% sobrevivió hasta la primera repetición en 1996 o 1997. El 56% de los sitios presentaron reclutamiento, sumando un total de 60 individuos. El 95% de los individuos presentaron más de un tallo a la vez; en un 91% hubo recambio de fustes.

El segundo periodo se marcó con la segunda repetición fotográfica en 21 sitios a los  $15 \pm 1$  años después de la primera repetición. En esta muestra se identificaron 221 individuos al inicio, la supervivencia fue del 89%, se presentó reclutamiento en el 24% de los sitios con un total de 8 reclutas y hubo recambio de fustes en el 88% de las plantas.

### 4.2.1 Inicio y tasa de reproducción

Se estimó que los fustes comienzan a florecer y fructificar al alcanzar entre los 2.5 m y los 3.5 m de altura (Figura 9). El 48% de los tallos que tenían una altura de 3.0 metros o más floreció recientemente en los 21 sitios de estudio muestreados. Para estimar la edad de primera reproducción, se utilizó la tasa de crecimiento anual promedio entre las poblaciones ( $5.5 \text{ cm año}^{-1}$ ), para indicar que un fuste tardaría alrededor de 46 años en llegar a los 2.5 m de altura y comenzar a florecer.

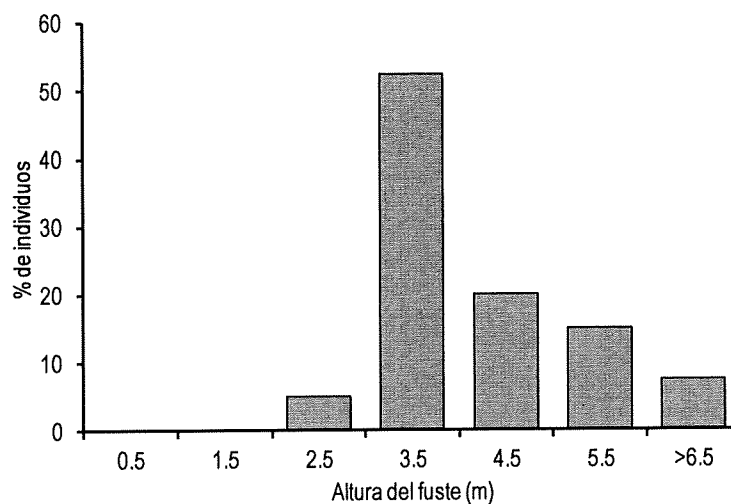


Figura 9. Porcentaje de fustes de los que se tiene registro que han florecido según su altura.

#### 4.2.2 Número de semillas

Al realizar la caracterización de frutos se encontraron seis insectos no identificados en frutos de cuatro sitios (38 NE, 232 NE, 253 E y 165NO). Se extrajeron 17 pupas de polillas del interior de frutos (correspondientes a seis sitios) que probablemente no lograron salir por desecación de los frutos desprendidos. Se observaron 21 pupas de polillas fuera de los frutos (en los frascos de plástico) correspondientes a nueve sitios. Se tienen ocho polillas en espera de ser identificadas de seis sitios. Los únicos tres ejemplares que puparon dentro del fruto resultaron no ser *Tegeticula*.

El número de semillas por fruto resultó no uniforme entre sitios ( $X^2 = 28.25$ ,  $p < 0.001$ , Figura 10). Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis se diferenciaron dos grupos de sitios: el grupo A, con  $61 \pm 23$  semillas y el grupo B con  $78 \pm 7$  semillas (Anexo 3).

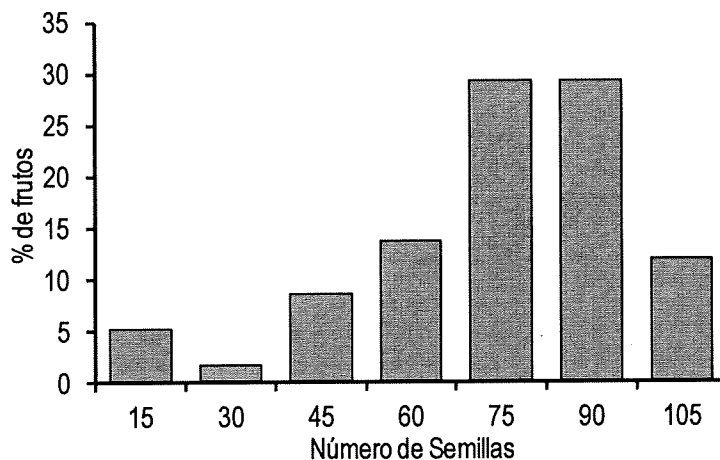


Figura 10. Histograma del número de semillas por porcentaje de frutos

#### 4.2.3 Tasa de reclutamiento

En relación con el tiempo transcurrido (en el primer intervalo) y el número de plantas existentes, se mostró que el reclutamiento fue explicado por el tiempo en un 31.3% (Figura 11,  $p = 0.0001$ ,  $F = 17.34$ ,  $n = 41$ ). La tasa de reclutamiento promedio entre los sitios de estudio fue de  $0.004 \pm 0.005$  reclutas año<sup>-1</sup> individuo<sup>-1</sup>. El número de individuos presentes en un sitio no determina la tasa de reclutamiento que habrá, es decir, sitios con pocos individuos pueden presentar altas tasas de reclutamiento y viceversa; no se detectó reclutamiento en 18 sitios (Anexo 3).

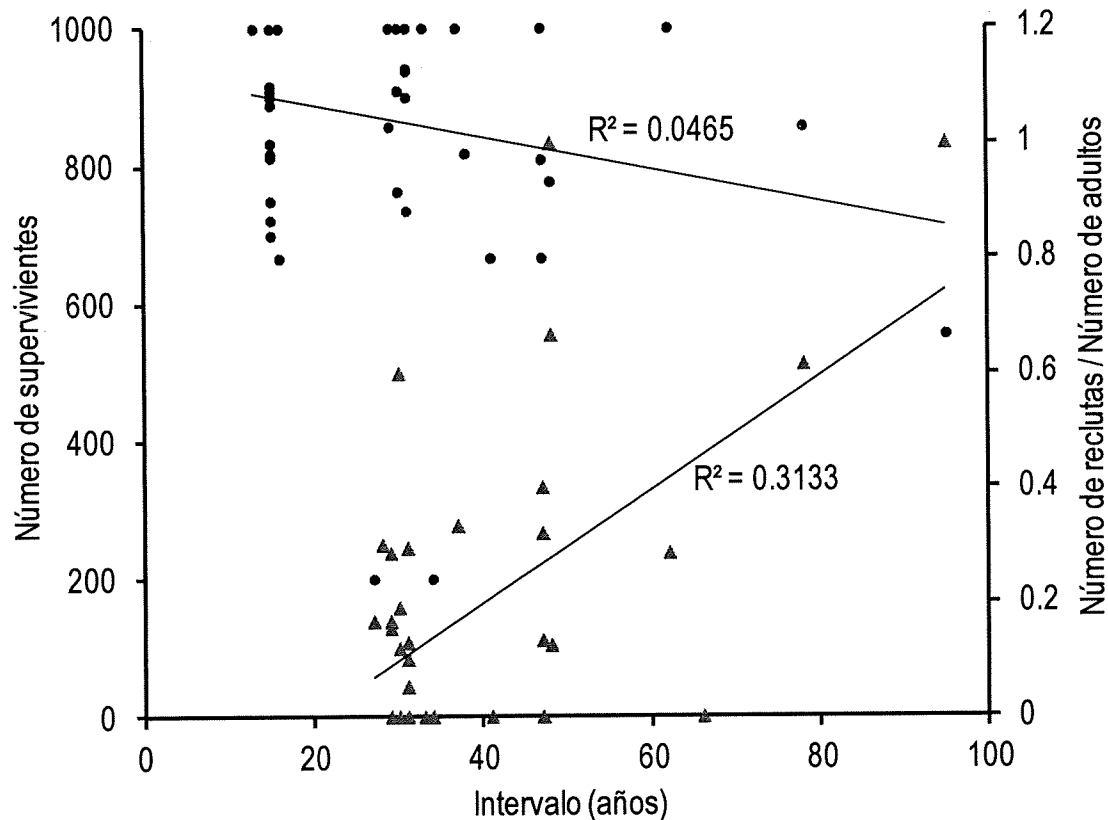


Figura 11. Supervivencia ajustada a una población inicial de 1000 en cada sitio, en relación con el tiempo transcurrido desde la fotografía original hasta su primera repetición (1996-1997); y número de reclutas en relación con el tiempo transcurrido desde la fotografía original hasta su primera repetición (1996-1997).  
 ● = Supervivientes ▲ = Reclutas

#### 4.2.4 Tasa de supervivencia

La supervivencia en el primer intervalo se explicó en un 0.04 % con el paso del tiempo ( $p = 0.129$ ,  $F = 2.39$ ,  $n = 51$ , Figura 11). Otros factores que conducen a la muerte de individuos, no de sus fustes (o ramas) no fueron investigados.

#### 4.2.5 Muestreo dasonómico

El rango de variación en la densidad de *Y. valida* fue de 6.3 a 43.8 individuos  $ha^{-1}$  entre los sitios muestreados. (Un sitio con fotografía repetida no fue muestreado para densidad porque *Y. valida* ahí estaba restringida a un arroyo muy estrecho.) La distribución fue lejos de la normal (sesgo = 0.5) pero el rango más frecuente fue de 6.2 a 12.5 individuos  $ha^{-1}$ . La densidad específica para cada sitio y el número de tallos presentes se encuentra en la Anexo 3.

En cuanto a la densidad de fustes, incluyendo los datos del Inventario Nacional Forestal, el rango fue de 6.3 a 318.8 fustes ha<sup>-1</sup> y el sesgo fue mucho mayor que para individuos (sesgo = 1.44). Con la exclusión de valores extremos (> 200 fustes ha<sup>-1</sup>), se estimó la densidad más representativa en 56.8 fustes ha<sup>-1</sup>.

#### **4.3 Distribución potencial de *Yucca valida***

El mapa de distribución potencial de *Yucca valida* en la Península de Baja California (Figura 12) muestra las probabilidades de presencia de la especie, según el algoritmo de MaxEnt. La región entre San Ignacio (BCS) en el Sureste y el Arroyo de Santa Catarina en el Noroeste es la que presenta una mayor probabilidad de presencia de la especie (>60.1%). El modelo refleja correctamente la ausencia de *Y. valida* en la Sierra la Libertad, pero muestra al Este de la Sierra una extensión climáticamente adecuada para la presencia de la especie en la que actualmente no está presente. Muestra probabilidades muy tenues (40.1 – 60%) de presencia de la especie entre el Vizcaíno, Punta Eugenia y La Sierra Santa Clara. Por otro lado, las poblaciones fragmentadas al sur de La Purísima (BCS) apenas aparecen como zonas adecuadas para la especie (20 – 40%), a pesar de que actualmente ahí se distribuye. La región que muestra mayor probabilidad de presencia (>60%) muestra límites cercanos a los reales en la mayoría de los casos, pero en ocasiones también incluye territorio pedregoso con pendientes notables que no permite la presencia de la especie.

El porcentaje de contribución de cada variable en el modelo se encuentra en la Anexo 4, donde se destacan solamente cuatro factores, los cuales contribuyen el 85.9%: la isoterma (37.1%), el rango de anual de temperatura (21.5%), la precipitación del trimestre más húmedo (16.7%) y la temperatura estacional (10.6%).

#### **4.4 Factores ambientales determinantes**

Los tres primeros ejes del Análisis de Componentes Principales comprendieron el 72.58% de la varianza en los datos ambientales de los sitios de estudio. El valor que tuvo cada una de las diez variables para cada eje y la posición de cada sitio en cada eje se detallan en el Anexo 5. Las variables que dominaron el Factor Uno fueron la precipitación anual (-0.935) y la temperatura promedio del rango diurno (0.833). Al Factor Dos lo dominaron variables que describen las características del suelo: pH (0.844), limos (0.778) y arcillas (0.674). Y las

variables que dominaron el Factor Tres fueron el rango de temperatura anual (-0.882) y el contenido de fósforo en el suelo (0.729).

Al relacionar los tres Factores del ACP con las características de los individuos y poblaciones de *Y. valida* se encontró que el Factor Uno tenía efectos significativos e importantes sobre el ancho promedio de roseta ( $r^2 = 0.34$ ,  $p = 0.006$ ,  $F = 9.33$ ) y sobre el diámetro promedio del los tallos ( $r^2 = 0.32$ ,  $p = 0.008$ ,  $F = 8.77$ ). Además, el Factor Uno presentó un efecto menor en el porcentaje de individuos con ramificación aérea ( $r^2 = 0.09$ ,  $p = 0.04$ ,  $F = 4.23$ ). La altura máxima promedio que alcanzaron los individuos se explica en un 32% por el Factor Tres ( $p = 0.0001$ ,  $F = 18.53$ ). La tasa de crecimiento anual promedio para el primer intervalo de estudio se explicó en un 21.2% por el Factor Dos ( $p = 0.047$ ,  $F = 4.58$ ), pero la tasa de crecimiento anual promedio para el segundo intervalo no se explicó por ningún Factor. Tanto la tasa de reclutamiento como la tasa de supervivencia no presentaron ninguna relación significativa con los Factores.

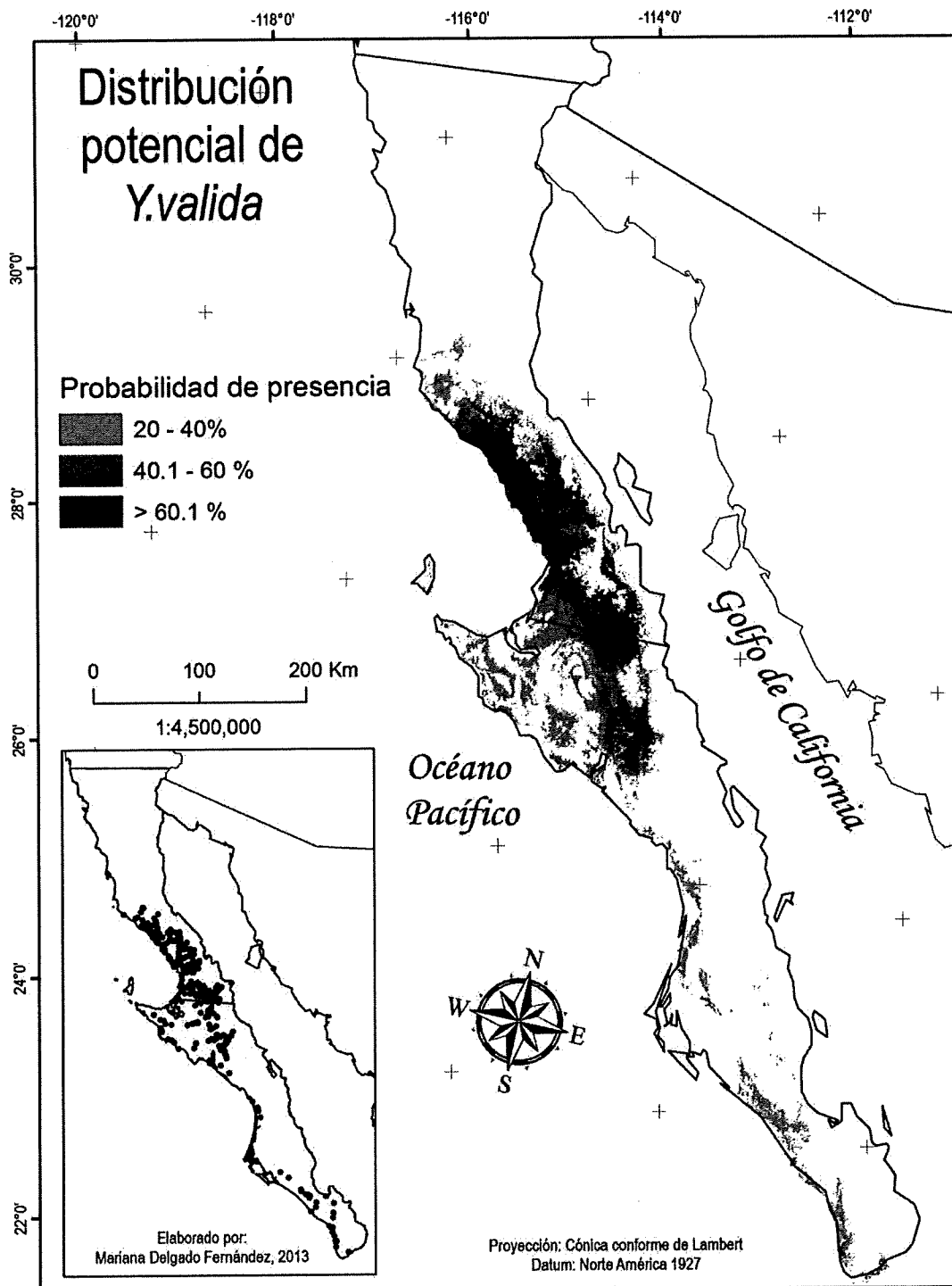


Figura 12. Mapa de distribución potencial de *Yucca valida* en la península de Baja California, según variables bioclimáticas y el algoritmo de MaxEnt, con base en las localidades mostradas.

## 5. Discusión

### 5.1 Crecimiento

En términos generales, la tasa de crecimiento anual promedio estimada para *Y. valida* se encuentra dentro del rango conocido en otras especies de *Yucca* (Webber 1953, Wallace y Romney 1972). Pero, a pesar de ser típica a nivel local y aún regional, ésta puede ser consecuencia de las duras condiciones ambientales en las cuales la gran mayoría de los individuos se desarrollan. El 10% de los individuos de *Y. valida*, presentaron tasas de crecimiento de 10.1 a 15 cm año<sup>-1</sup>, siendo las más favorecidas, y el 4% presentó tasas de hasta 26.8 cm año<sup>-1</sup>, que es la máxima tasa de crecimiento conocida hasta ahora. En los cultivos experimentales de *Y. valida* localizados en Baja California Sur, se alcanzó un promedio de 21 cm año<sup>-1</sup> al regar a los individuos una vez por semana (Arce-Montoya et al., 2006). Por otro lado, se pensaba que los individuos más grandes tendrían las menores tasas de crecimiento, por la carga metabólica que implica el mantener un mayor volumen de fuste vivo, pero este patrón no fue evidenciado en el presente estudio y tampoco se pudo identificar algún patrón de disminución en el largo de la roseta (ej. número de hojas en la copa).

Se estimaron las tasas de crecimiento relevantes para la planeación de aprovechamientos de la especie, pero aún no se conoce el ritmo estacional de crecimiento y tampoco se tienen hipótesis sobre las variaciones en el crecimiento a mediano plazo en los individuos. Posiblemente este último tenga relación con eventos de fructificación exitosa o a la sensibilidad a variaciones temporales en cuanto a la disponibilidad de humedad en el suelo.

Se esperaban diferencias significativas en las tasas de crecimiento de los fustes entre las poblaciones, como se ha descrito en otras grandes especies perennes del Desierto Sonorense (Steenbergh & Lowe, 1983; Parker, 1988; Bowers, 1996; Escoto-Rodríguez & Bullock, 2002; Pierson et al., 2013) y en otras especies de *Yucca* (Webber 1963, Wallace y Romney, 1972) en las cuales se ha sugerido que las variables climáticas de precipitación y temperatura (por la altura) son las determinantes de las tasas de crecimiento. En el presente estudio, el Análisis de Varianza no evidenció diferencias entre poblaciones, pero la regresión lineal de crecimiento con el Factor Dos encontrado por el Análisis de Componentes Principales mostró que al menos el 21% de la variabilidad entre poblaciones se puede explicar por las

variaciones en el ambiente físico, particularmente en relación a características del suelo (composición de arcilla y limos, el pH y el contenido de sodio), pero solamente para un intervalo de tiempo. El Factor dominado por variables climáticas no tuvo relación significativa con el crecimiento. Cabe mencionar que los estudios previamente citados no incluyeron variables del suelo.

La ocurrencia de decrecimiento en *Yucca valida* tiene bases distintas en comparación con otros estudios, ya que hasta donde se sabe los tallos no se pueden encoger, a diferencia de la compresión vertical en los troncos suculentos y medio vacíos que presentan los cirios (*Fouquieria columnaris*, Escoto-Rodríguez & Bullock, 2002) y a la pérdida de pequeños módulos en las chollas (*Opuntia fulgida*, Tschirley y Wagle, 1964). Sin embargo, la pérdida de fustes enteros es común. Se desconoce si esto resulta de factores fisiológicos de dinámica interna, o bien, en qué medida se debe a ataques por "malentidades" como ratas, termitas o larvas de escarabajos barrenadores.

## 5.2 Condición

Se piensa que el vigor de las plantas y probablemente su calidad para el aprovechamiento se reflejen en características de la morfología gruesa y se espera que éstas se expliquen por las dimensiones simples o complejas del ambiente físico, parecido a la calidad de sitio en estudios forestales (Wykoff y Monserud, 1988). Para *Y. valida* se identificó un factor complejo por el ACP. Tanto el ancho de las rosetas como el ancho de los fustes se relacionaron con el Factor Uno, ambas características tienden a disminuir (rosetas y tallos más pequeños) conforme aumenta el Factor Uno, que está dominado por el promedio de temperatura anual y el promedio del rango diario de temperatura en sentido positivo y el promedio en la precipitación en sentido negativo. La distribución espacial de este Factor se tradujo en el marco de un ANOVA, que resultó en una diferenciación entre las poblaciones costeras, con rosetas y fustes de menor diámetro, de las del interior. Se realizó una correlación entre ambas características (diámetro de tallos y diámetro de rosetas) que permitió concluir que son independientes una de la otra ( $p > 0.1$ ). Por otro lado, desde el punto de vista económico, es necesario determinar si estas diferencias en las rosetas y los tallos se reflejan en diferencias en la concentración de saponinas.

Se intentó conocer las condiciones fisiológicas de los individuos de *Y. valida* a través de determinar los patrones en las concentraciones de pigmentos, pero no se encontraron bases firmes para esto. Se piensa que la concentración de clorofila en las hojas de *Y. valida* está relacionada con el vigor de las plantas. Sin embargo, no hubo relación con la tasa de crecimiento promedio (a plazo de más de una década) en la presente muestra ( $p > 0.1$ ). Seguramente la concentración de los pigmentos cambian a más corto plazo: si no estacionalmente, al menos durante la vida de una hoja. Tampoco hubo relación con los Factores del ACP ( $p > 0.1$ ), pero los sitios con mayor concentración de clorofila se ubicaron al sur de la Sierra la Libertad, donde posiblemente las lluvias de verano y particularmente las del año de muestreo tuvieron mayor influencia.

La concentración de antocianinas en las hojas se asocia a la capacidad de este pigmento hidrosoluble de protegerlas de la radiación ultravioleta y de la contaminación viral y microbiana. En este estudio fue notorio el contraste en patrones geográficos entre clorofilas y antocianinas de las mismas hojas, aunque la edad de la hoja puede ser influyente. Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, el contenido de antocianinas no parece tener relación con la altura, la precipitación o nubosidad.

### **5.3 Mortalidad y longevidad**

Una de las diferencias notorias entre *Y. valida* y las otras especies de zonas áridas que se han estudiado fue que no se encontró una relación significativa entre tiempo transcurrido y la supervivencia. Esta relación se ha utilizado en las otras especies para estimar (con cierto grado de incertidumbre) la longevidad media o máxima. La mortalidad en *Y. valida* se registró en un 6.4% de los individuos en el primer periodo y 12.6% en el segundo periodo. A muy largo plazo se puede suponer que la acumulación de periodos de mortalidad elevada se reflejaría en una relación tiempo – supervivencia, pero la duración de este estudio (décadas) no permitió reflejarla. Los resultados obtenidos, a pesar de integrar intervalos variados y decenas de localidades, no corresponden al concepto de "tasa de mortalidad", ya que éste implica cierto riesgo anual.

Aún es anticipado, enunciar la longevidad de tallos (o módulos clonales del "genet") de *Y. valida*. Se estimó una edad de 350 años para el tallo más alto con base en la tasa de

crecimiento local estimada para la mayor parte del siglo 20. Wallace (1972) utilizó un método parecido para *Y. schidigera* en Nevada, y estimó en 200 años la edad del individuo más alto (aunque se equivocó en llamarle longevidad del individuo, ya que estimó la edad de un tallo). Debido a los largos intervalos entre las fotografías originales y sus repeticiones, la altura máxima que alcanza un tallo antes de su muerte quedó sin definir. Por ende, no se ha estimado longevidad o mortalidad de tallos de una manera decisiva todavía.

#### 5.4 Reproducción

El reclutamiento de *Y. valida* en los sitios de estudio se explicó en un 31% por el tiempo transcurrido, que es un porcentaje muy bajo si se compara con cardones (66%) o con cirios (71%), a pesar de que los estudios son aproximadamente de la misma región y tiempo histórico (Bullock et al., 2005). Por supuesto las condiciones climáticas adecuadas para el reclutamiento pueden haber ocurrido de manera intermitente (Shreve, 1910; Turner, 1990; Midgley et al., 1997; Bowers y Turner, 2002), pero probablemente con intervalos de menos de una década. No obstante, por el número de reclutas, adultos y años, se estimó que cada planta tarda cerca de 230 años en engendrar a un descendiente. A pesar de que hay sitios donde no se encontró reclutamiento en los últimos 100 años, esto no implica que vaya a haber extinciones locales de la especie, dada la longevidad de las plantas (Midgley et al., 1997). No hay bases para plantear hipótesis sobre los factores o procesos rectores del reclutamiento, ya que faltan estudios sobre las flores, los frutos, semillas y plántulas. El reclutamiento tampoco se explicó por ninguno de los Factores del Análisis de Componentes Principales, ni por la densidad de individuos ya presentes. En otras especies y lugares se han discutido factores que desfavorecen el reclutamiento como el movimiento del agua por escorrentías, herbivorismo, competencia con otras plántulas y con plantas adultas (Von Eller et al., 1992; Comanor y Clark, 2000).

La edad de la primera reproducción no afecta el reclutamiento en una población bien establecida y con multi-edad, pero para un linaje o en poblaciones nuevas (por ej., plantaciones), si afectaría a corto y mediano plazo. Por otro lado, es importante conocer la edad de la primera reproducción para poder planear aprovechamientos selectivos. Para las poblaciones del presente estudio se estimó esta edad crítica en alrededor de los 46 años, pero individuos de *Y. valida* en plantaciones (Jardín Botánico de Querétaro; Piña-Luján, 1981) han

florecido en la mitad del tiempo. Hay que enfatizar que la precipitación anual en estas plantaciones ha sido cinco veces mayor que la de la región Vizcaíno (INEGI, 2012).

## 5.5 Densidad

La caracterización de la densidad parece algo sutil debido a la frecuencia de amplios espacios entre individuos y la irregularidad del sustrato que probablemente provoca variaciones locales a escala de menos de una hectárea. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la distribución de los sitios para este estudio no fue sesgado a las áreas donde se aprecian las mayores densidades.

La densidad de fustes de *Y. valida* en localidades donde se sabe está presente la especie se estimó en 122.8 por hectárea. En cuanto a las entidades que se consideraron como individuos genéticamente distintos, el rango de densidad más frecuente fue de 6.2 a 12.5 individuos ha<sup>-1</sup> y se hace notar que la razón entre estas, o sea el número de fustes por planta, fue variable entre sitios. La densidad de fustes no mostró relación con los Factores del ACP ( $p > 0.1$ ). La densidad de fustes también se puede estimar del Inventario Nacional Forestal del 2005, en el que se muestreó la península de forma sistemática. Sus datos indican una densidad de 56.8 fustes ha<sup>-1</sup> para el APFF de Valle de los Cirios.

Para *Y. schidigera*, especie que está bajo explotación desde hace más de tres décadas, Carranza (1997) estimó una densidad promedio de 44 individuos por hectárea en condiciones seco-cálido y 176 individuos por hectárea en condiciones húmedas. Esta densidad se asemeja a la de fustes en rodales bien desarrollados de *Y. valida*.

## 5.6 Distribución

El modelo de distribución potencial de *Y. valida* en la Península asegura, en forma generalizada, la presencia de la especie en la región del Vizcaíno, tal y como lo describen Wiggins (1964) y Turner et al. (1995). Sin embargo, es necesario incorporar datos de sustrato de la península al algoritmo de MaxEnt para hacer más preciso el mapa, ya que todavía no es muy útil para el manejo a nivel de ejido o predio. En particular es necesario eliminar las zonas que no tienen las características edafológicas necesarias para la especie, a pesar de que sus características climáticas sean las idóneas, como son las laderas rocosas en toda la región al Norte de San Ignacio. El caso de la anomalía al Este de la Sierra la Libertad posiblemente no

se eliminaría sin una modificación al sistema de modelado de Bioclim o a los datos que este ha producido. Por otro lado, es necesario aumentar el número de registros de presencia de la especie en Baja California Sur para conocer más acerca de su distribución en este Estado y hacer una selección de sitios en Baja California para reducir el sesgo (Syfert et al., 2013).

### **5.7 Aprovechamiento**

A pesar de que Arce-Montoya et al. (2007) consideraron que se debía de “domesticar” la especie para evitar poner en riesgo a las poblaciones naturales, la posibilidad de tal aprovechamiento es socialmente atractiva ya que es una alternativa con beneficios económicos para la población rural. A pesar de que no sería la forma más productiva o eficiente de aprovechamiento industrial, mantendría a los dueños de la tierra ligados a ellas y promovería el uso sustentable de los recursos naturales como estrategia para promover la conservación. Por otro lado, el aprovechamiento de poblaciones de *Y. valida* inmersas en ecosistemas sustancialmente naturales corresponde al mandato de las Áreas Naturales Protegidas.

Las tasas de crecimiento anual estimadas sugieren que es factible mantener los actuales usos locales como el alimentar al ganado, crear cercos vivos y obtener leña, pero además es factible promover el aprovechamiento de las poblaciones naturales con fines industriales (por ej. producción de papel, extracción de saponinas esteroideas), con una extensión geográfica apreciable. Esto les permitiría a las familias locales, que se estiman en el orden de los cientos, diversificar sus actividades económicas, mejorar su calidad de vida y evitar que se continúe la tendencia de privatizar las tierras y la migración hacia las localidades más grandes.

Aún falta definir la normatividad para aprovechar la especie y para aspectos más propios de planes de manejo. Ya que la normativa actual corresponde al aprovechamiento de cualquier especie de *Yucca* y no presta atención a los efectos colaterales de los mecanismos y movimientos realizados para su corte y remoción, por otro lado no menciona cómo se ha de cuidar el hábitat para los polinizadores y tampoco se considera adecuadamente las fases críticas de inspección y verificación.

## 5.8 Hacia una normativa para el aprovechamiento de *Yucca valida*

Dada la importancia ecológica que tiene *Y. valida* para la flora y fauna presente en su área de distribución se considera de importancia dar a conocer dicha información a los dueños del recurso antes de iniciar la explotación de éste para que conozcan la importancia de aprovecharlo tal y como se propone en los lineamientos propuestos (Anexo 6) para evitar poner en riesgo a las poblaciones naturales de la especie y a la comunidad a la que pertenece como ha sucedido con *Y. schidigera* según Arce-Montoya et al. (2007). También la autoridad podría incluir a los rancharos en el monitoreo y estudio de la especie para mejorar su manejo.

La Norma Oficial Mexicana NOM-005-SEMARNAT-1997 es la que actualmente se utilizaría para regular el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de *Y. valida*. Ésta establece la madurez de la cosecha cuando los individuos estén desprovistos de hojas verdes en un 80% de su longitud, permitiendo aprovechar sólo el 50% de los "individuos" maduros. Dados los resultados obtenidos en el presente estudio de *Yucca valida*, la norma se considera inadecuada para el aprovechamiento de esta especie ya que permite el aprovechamiento de individuos que aun no han tenido oportunidad de florecer ni fructificar (menores de 2.5 m en este caso) y limita el aprovechamiento de individuos que si lo han hecho (mayores a 3.5 m). Por ello se propone considerar la madurez de la cosecha cuando un fuste tenga una longitud de 3.0 m. Además no se considera relevante para esta especie el dejar el 50% de los fustes maduros intactos ya que el 95% de los individuos muestreados presentaron crecimiento clonal y se presupone los fustes serán de diferentes edades (o longitudes) y naturalmente no todos alcanzarán la edad reproductiva al mismo tiempo, por ello se propone eliminar esta condición. Por otro lado, la norma establece un ciclo de corte de 15 años, el cual es inadecuado para *Y. valida*, ya que si se toma en cuenta la tasa de crecimiento promedio (5.5 cm año<sup>-1</sup>), a los 15 años después del primer corte se tendrían tallos de apenas 85 cm; por ello se propone eliminar esta condición de la norma.

Finalmente, se ha visto que el aprovechamiento de tallos de *Y. schidigera* no se lleva a cabo conforme a la norma debido a que no es factible su verificación en campo y que no hay consecuencias al violar los lineamientos establecidos, por lo que se propone que las cargas cuenten con un número de guía y certificado de origen y la autoridad lo verifique al ser entregadas a las plantas industriales, cualquier irregularidad generaría una multa para el

responsable del aprovechamiento. Se considera que la cosecha debería de venderse por volumen y no por peso, como se hace actualmente. Una norma ajustada a la especie también debería contemplar las variaciones en las condiciones ambientales a través del ámbito de distribución y la preservación de su polinizador obligado.

### **5.9 Temas a investigar**

A partir de los resultados obtenidos se proponen los siguientes temas de investigación que se dirigen a algunas de los problemas identificados y que beneficiarían al manejo de esta especie. Se puede apreciar que el desglose de este estudio poblacional se vería reforzado con más estudios biológicos básicos además de estudios puntuales técnico-industriales.

Se sugiere realizar estudios intensivos dirigidos a conocer la variación temporal en el contenido de agua y de saponinas (por peso seco) como también la fenología de crecimiento, floración y dispersión de semillas. Entre aspectos de la fenología, se sugiere el marcaje de individuos y de hojas en los sitios de estudio para continuar el análisis de contenido de pigmentos, conocimiento que se puede aplicar tanto en el manejo intensivo como en la percepción remota.

Por otro lado, es necesario realizar mediciones y monitoreo sobre nubosidad, radiación solar, temperatura, precipitación y humedad del suelo además de características químicas y físicas del suelo, en una variedad de sitios, para mejorar el modelaje de distribución y particularmente de crecimiento.

Se requieren estudios de observación y de experimentación sobre plántulas, incluyendo atención a micorrizas y micro-sitios de establecimiento.

También se considera necesario realizar estudios de observación y experimentación para definir las condiciones necesarias para el inicio de la fase de vida reproductiva y para la floración y fructificación anual.

Se aconseja el estudio genético a escala de centímetros, metros y kilómetros, para esclarecer el problema de identificación de individuos genéticos y de tallos, como también los niveles de flujo y de diferenciación genética entre localidades.

Se sugiere fomentar observaciones de historia natural sobre la reproducción, como la fenología de los polinizadores y sus necesidades de hábitat externos a la planta. También

factores que conduzcan a la muerte de individuos, como plagas, herbivorismo, competencia intraespecífica e interespecífica, enfermedades, barrenadores invertebrados y vertebrados, sequía e incendios, entre otros.

Se considera necesario realizar un estudio similar en las poblaciones de *Y. válida* de Baja California Sur.

## 6. Conclusiones

*Yucca valida* presenta algunas características cuantitativas y cualitativas semejantes a *Y. schidigera*, como su tasa de crecimiento y patrones de ramificación. Pero algunas características de *Y. valida* no favorecen aprovechamiento para usos industriales, al ritmo que se ha manejado con la palmilla: la maduración de un fuste puede tardar en promedio casi 50 años, el intervalo para el reemplazo individual se estimó en 230 años y la tasa de establecimiento parece lejos de constante o uniforme.

La regionalización de características funcionales como grosor del fuste, ancho de la roseta, altura máxima y ramificaciones aéreas se hizo más evidente con los Factores que combinaron múltiples variables ambientales

La modelación de la distribución de la especie es adecuada a una escala de 1:4500000 pero se requiere de mapas a escalas a 1:30000 o 1:15000 para planes de manejo y aprovechamiento de la especie.

El aprovechamiento de las poblaciones naturales para exportación sería posible y benéfico para cientos de familias en el Área Naturales Protegida que poseen escasas alternativas con beneficios económicos en el uso de los recursos naturales.

La NOM-005-SEMARNAT-1997 es inadecuada para el aprovechamiento de *Y. valida*.

Todavía falta conocer mejor la biología de *Y. valida* para ajustar y justificar un sistema de aprovechamiento sustentable.

El método de fotografía repetida permitió realizar en un año, un estudio a plazo de décadas de la dinámica poblacional de *Y. valida*. La escala multi-anual es apropiada para especies en ecosistemas que resisten prolongada aridez aunque el detalle de años excepcionales se pierda. Por otro lado, el método permite un muestreo geográficamente extensivo y asienta bases precisas para el monitoreo

## Literatura citada

- Arce-Montoya, M., Hernández-González, J. A., Ivarez, M. R.-Á., Robert, M. L. (2007). No correlation between the growth of in vitro cultured *Yucca valida* clones and the growth of their mother plants in the field. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 88(1), 35-40.
- Arce-Montoya, M., Rodríguez-Álvarez, M., Hernández-González, J. A., Robert, M. L. (2006). Micropropagation and field performance of *Yucca valida*. *Plant Cell Reports* 25, 777-783.
- Aschmann, H. (1959). The Central Desert of Baja California: demography and ecology. *Ibero-americana* 42, 1-315.
- Baker, H. G. (1986). *Yuccas* and *Yucca* moths - a historical commentary. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 73(3), 556-564.
- Bezy, R. L., Bezy, K. B., Bolles, K. (2008). Two new species of night lizards (*Xantusia*) from Mexico. *Journal of Herpetology* 42, 680-688.
- Bogler, D., Neff, J., Simpson, B. (1995). Multiple origins of the *Yucca-Yucca* moth association. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92(15), 6864-6867.
- Bowers, J.E. (1996). Growth rate and life span of a prickly pear cactus, *Opuntia engelmannii*, in the northern Sonoran Desert. *Southwestern Naturalist* 41:315-334.
- Bowers, J.E., Webb, R.H., Rondeau, R.J. (1995). Longevity, recruitment and mortality of desert plants in Grand Canyon, Arizona, U.S.A. *Journal of Vegetation Science* 6, 551-564.
- Bradford, C. J., Emerson, R. W. (1997). *Patente nº EP0776159 A1*. EUA.
- Brandege, T. (1889). A collection of plants from Baja California. *Proceedings California Academy of Sciences series 2* 2, 117-215.
- Brown, L. S. (1922). The utility of *Yucca* and chamiza as range supplements. *New Mexico College of Agriculture and Mechanic Arts, Agricultural Research Station, Bulletin* 133. 38 pp.
- Bullock, S.H. (1999). The vegetation of northwestern Baja California in the context of environmental instability. *Revista Chilena de Historia Natural* 72, 501-516.
- Bullock, S. (2003). Seasonality, spatial coherence and history of precipitation in a desert region of the Baja California peninsula. *Journal of Arid Enviroments* 53, 169-182.

- Bullock, S., Heath, D. (2006). Growth rates and age of native palms in the Baja California desert. *Journal of Arid Enviroments* 67, 391-402.
- Bullock, S.H., Martijena, N.E., Webb, R.H., Turner, R.M. (2005). Twentieth century demographic changes in cirio and cardón in Baja California. *Journal of Biogeography* 32, 127-143.
- Bullock, S. H., Turner, R. M. (2010). Plant population fluxes in the Sonoran Desert shown by repeat photography. Pp. 119-1323 en Webb, R.H., Boyer, D.E., Turner, R.M. *Repeat Photography: Methods and Applications in the Natural Sciences*. Washington: Island Press.
- Cariño, M. (2000). Tres modelos para el análisis histórico de las relaciones hombre/espacio en sudcalifornia (1500-1940). Pp. 21-38 en S.B. Albert (ed), *El Septentrión Novohispano: Ecohistoria, Sociedades e Imágenes de Frontera*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Carranza, R. (1997). *Caracterización Ecológico Silvícola de poblaciones de Yucca schidigera K.E Ortiges con potencial de aprovechamiento en Baja California*. Ensenada: Tesis de Maestría, Ensenada: Universidad Autónoma de Baja California.
- Castellón-Olivares, J. D., Rublúo-Islas, A., Sepúlveda-Betancourt, J., Ruiz-Campos, G. (2002). Enviromental effects on biomass productivity of wild populations of *Yucca schidigera* in Baja California, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 47, 576-584.
- Cervantes Ramírez, M. C. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. Pp. 3388-3407 en *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina*. Sao Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.
- Cheeke, P. (2000). Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. *Journal of Animal Sciences* 77, 1-10.
- Comanor, P. L., Clark, W. H. (2000). Preliminary growth rates and a proposed age-form classification for the Joshua Tree, *Yucca brevifolia* (Agavaceae). *Haseltonia* 7, 37-46.
- Comanor, P. L., Clark, W. H. (1988). Productivity pattern in a Baja California, Mexico, population of *Yucca schidigera*. *Cactus and Succulent Journal* 60, 138-142.
- CONACYT. (1976). La Jojoba. Pp. 9-10 en *Conferencia Internacional sobre la Jojoba y su aprovechamiento*. Ensenada: Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología.

CONANP, C. N. (Abril de 2008). Recuperado el 1 de Julio de 2013, de Programa de Manejo: Área de Protección de flora y fauna Valle de los Cirios (Borrador): <http://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/VCiriosProgramaManejo08.pdf>

Coyle, J., Roberts, N. C. (1975). *A field guide to the common and interesting plants of Baja California*. La Jolla, California: Natural History Publishing Company.

Crandall, B. J., Emerson, R. W. (2000). *Patente n° EP0776160 B1*. EUA.

Crandall, B. J., Emerson, R. W. (1997). *Patente n° EP0800343 A1*. EUA

Crandall, B. J., Emerson, R. W. (2002). *Patente n° EP0800345 B1*. EUA.

Crandall, B. J., Emerson, R. W. (2003). *Patente n° EP0889691 B1*. EUA.

Crandall, B. J., Emerson, R. W. (2000). *Patente n° EP1000543 A1*. EUA.

Dettinger, M. (2004). *Fifty-two years of "pineapple express" storms across the west coast of North America*. Pier project report, California Energy Commission. La Jolla, California: U.S Geological Survey.

Douglas, M., Maddox, R., Howard, K., Reyes, S. (1993). The Mexican monsoon. *Journal of Climate* 6, 1665-1677.

Emerson, R. W. (2003). *Patente n° US 2003/0064119 A1*. Monterey, CA.

Escoto-Rodríguez, M., Bullock, S. H. (2002). Long-term growth rates of cirio (*Fouquieria columnaris*), a giant succulent of the Sonoran Desert in Baja California. *Journal of Arid Environments* 50, 593-611.

Farfán Molina, L., Zehnder, J. (1994). Moving and stationary mesoscale convective systems over Northwest Mexico during the Southwest area monsoon project. *Weather and Forecasting* 9, 630-639.

Flores Hernandez, A., Hernández-Herrera., J.A., Madinaveitia-Rios, H., Valenzuela-Nuñez, L.M., Murillo Amador, B., Rueda-Puente, E.O., García-Hernández, J.L., Ortiz-Cano, H.G. (2010). Evaluation of natural populations and habitat of blue palm (*Yucca rigida*) in Mapimí, Durango, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(1), 315-321.

Franco, M. (1990). Ecología de poblaciones. *Ciencias* 004, 4-9.

- Franco-Vizcaino, E., Graham, R., Alexander, E. (1993). Plant species diversity and chemical properties of soils in the central desert of Baja California, México. *Soil Science* 155, 406-416.
- Frohlich, D. R., Clark, W. H. (1976). Ecological associations of scorpions and *Yucca* spp. in Baja California Norte, Mexico. *Journal of the Idaho Academy of Science* 12, 87-93.
- Gabb, W.M. (1867). Exploration of Lower California. Pp. 82-122 en: A sketch of the settlement and exploration of Lower California, appéndice a J.R. Browne (1869), *Resources of the Pacific Slope*. New York: D. Appleton & Co.
- Good-Avila, S. V., Souza, V., Gaut, B. S., Eguiarte, L. E. (2006). Timing and rate of speciation in *Agave* (Agavaceae). *PNAS* 103(24), 9124-9129.
- Grismer, L. L. (2002). *Amphibians and Reptiles of Baja California including its Pacific Islands and the Islands in the Sea of Cortés*. Los Angeles: University of California Press.
- Harper, J. L. (1977). *Population Biology of Plants*. New York: Academic Press .
- Harper, J.L., White, J. 1974. The demography of plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5:419-463.
- Hastings, J. R., Turner, R. M. (1965). Seasonal Precipitation Regimes in Baja California, México. *Geografiska Annaler* 47A, 204-223.
- Hastings, J., Turner, R. (1965). The changing mile: An ecological study of vegetation change with time in the lower mile of an arid and semi-arid region. Tucson: University of Arizona Press.
- Hijmans, R. J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965-1978.
- Hodgson, W. C. (2001). *Food Plants of the Sonoran Desert*. Tucson: University of Arizona Press.
- Hoffman, T. M., Rohde, R. F., Duncan, J., Kaleme, P. (2010). Repeat Photography, Climate Change, and the Long-Term Population Dynamics of Tree Aloes in Southern Africa. Pp. 13-142 en R.H. Webb, D.E. Boyer, R.M. Turner, *Repeat Photography, Methods and Applications in the Natural Sciences*. Washington: Island Press.

- Holman, R.M., Robbins, W.W. (1939). *A Textbook of General Botany for Colleges and Universities*. 4a edición. New York: J. Wiley & Sons.
- Hughes, N. M., Morley, C. B., Smith, W. K. (2007). Coordination of anthocyanin decline and photosynthetic maturation in juvenile leaves of three deciduous tree species. *New Phytologist* 175, 675-685.
- Janzen, D. (1986). Chihuahuan Desert nopales: defaunated big mammal vegetation. *Ecology* 17, 595-636.
- Janzen, D. H., Martin, P. S. (1982). Neotropical anachronisms: The fruit the gomphotheres ate. *Science* 215, 19-27.
- Jardel Peláez, E. (1985). Una revisión crítica del método mexicano de ordenación de bosques, desde el punto de vista de la ecología de poblaciones. *Ciencia Forestal* 10(58), 3-16.
- Kingsolver, R. (1986). Vegetative reproduction as a stabilizing feature of the population dynamics of *Yucca glauca*. *Oecologia* 69, 380-387.
- Krebs, C. J. (1994). Population Parameters. Pp. 151-168 en C.J. Krebs, *Ecology*. New York: Harper Collins College Publishers.
- Lamont, B. B., Downes, S. (1979). The longevity, flowering and fire history of the grasstrees *Xanthorrhoea preissi* and *Kingia australis*. *Journal of Applied Ecology* 16, 893-899.
- Latorre, C., Penilla, L. (1988). Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. *Atmósfera* 1, 99-112.
- Lopatecki, M. (1887). Lower California notes. *West American Scientist* 3, 129-130.
- Maiti, R., Rodriguez, H. G. (2011). The Native *Yucca*: a Boon to the Farmers of the Arid North-east Mexico. *Plant Resource Management* xx, 203-208.
- Martínez, M., Mata-González, R., Morales, C., Valdez-Cepeda, R. (2012). *Agave salmiana* plant communities in central Mexico as affected by commercial use. *Environmental Management* 49(1), 55-63.
- McFadden, D., Sobeck, R. (2006). *Patente n° US 2006/0121126 A1*. Palo Alto, CA.

- Midgley, J., Cowling, R., Hendricks, H., Desmet, P., Esler, K., Rundel, P. (1997). Population Ecology of tree succulents (*Aloe* and *Pachypodium*) in the arid western Cape: decline of keystone species. *Biodiversity and Conservation* 6, 869-876.
- Miller, T. C., Emerson, R. W. (2003). *Patente n° US 2003/0040436 A1*. Palo Alto, CA.
- Miller, T. C., Emerson, R. W. (2003). *Patente n° US 2003/0086952 A1*. Monterey, CA.
- Miller, W.E. (1977). Pleistocene terrestrial vertebrates from southern Baja California. *Geological Society of America, Abstracts with Programs* 9(4), 468.
- Miller, W.E. (1980). The late Pliocene Las Tunas local fauna from southernmost Baja California, Mexico. *Journal of Paleontology* 54, 762-805.
- Minnich, R., Franco-Vizcaíno, E., Dezzani, R. (2000). The El Niño/Southern Oscillation and precipitation variability in Baja California, México. *Atmósfera* 13, 1-20.
- Molles, M. C. (2005). *Ecología, conceptos y aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill .
- Moran, R. (1982). Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. *Plant Physiology* 69(6), 1376-1381.
- Nelson, E. (1922). Lower California and its natural resources. *Memoirs of the National Academy of Sciences* 16, 1-194.
- Parker, K.C. (1988). Growth rates of *Stenocereus thurberi* and *Lophocereus schottii* in southern Arizona. *Botanical Gazette* 149:335-346.
- Pellmyr, O., Balcázar-Lara, M., Segraves, K., Althoff, D., Littlefield, R. (2008). Phylogeny of the pollinating *Yucca* moths, with revision of Mexican species (*Tegeticula* and *Parategeticula*; Lepidoptera, Prodoxidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 152(2), 297–314.
- Pelton, J.F. (1951). Outline for ecological life history studies in trees, shrubs, and stem succulents. *Ecology* 32(2): 334-343.
- Perry, J., Mondor, E., Addicott, J. (2004). An indirect mutualism: ants deter seed predators from ovipositing in *Yucca* fruit. *Canadian Journal of Zoology* 82, 823-882.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259.

- Pierson, E.A. Turner, R.M. (1998). An 85-year study of saguaro (*Carnegiea gigantea*) demography. *Ecology* 79, 2676-2693.
- Pierson, E.A., Turner, R.M. y Betancourt, J.L. (2013). Regional demographic trends from long-term studies of saguaro (*Carnegiea gigantea*) across the northern Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments* 88:57-69.
- Piña-Luján, I. (1981). Las plantas del género *Yucca* de la Baja California. Pp. 125-129 en *1a. Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de plantas útiles del desierto*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Publicación Especial 31.
- Porembski, S. (2000). Ecogeographic differentiation of the cacti *Stenocereus gummosus* and *Bergerocactus emoryi* along an environmental gradient. *Botanische Jahrbuecher Fuer Systematik Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie* 122(4): 539-549.
- Rechy de von Roth, M.A. (2000). *Estudio integral tecnológico de cinco especies del género Yucca para uso industrial*. Linares: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Riemann, H., Ezcurra, E. (2007). Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico. *Journal of Vegetation Science* 18, 327-336.
- Rivera-Rodríguez, L. B., Rodríguez-Estrella, R. (1998). Breeding biology of the crested caracara in the Cape region of Baja California, Mexico. *Journal of Field Ornithology* 69(2), 160-168.
- Rogers, G.F., Malde, H.E. Turner, R.M. (1984). *Bibliography of repeat photography for evaluating landscape change*. Salt Lake City: University of Utah Press.
- Ruiz, M., Enriquez, M., Oliva, R. (1982). Ensayo de cinco esquemas de muestreo aplicados al inventario de Datilillo (*Yucca valida*) y Cardón (*Pachycereus pringlei*). *Revista Ciencia Forestal* 7(39), 23-43.
- Santacruz-Reyes, R. A., Chien, Y.-H. (2010). Ammonia reduction in seawater by *Yucca schidigera* extract: efficacy analysis and empirical modelling. *Aquaculture Research* 41(8) 1221-1228.
- SEMARNAT. (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-005-SEMARNAT-1997. *Diario Oficial de la Federación*, 1-12.

SEMARNAT. (2007). Oficio No. DF-BC/SGPA/UARRN/DGFS/3545/07. Asunto: Se autoriza aprovechamiento comercial no maderable de tallos de palmilla (*Yucca valida*) en la Parcela no. 72 Z-1 P1/1, del Ejido el costeño, Delegación municipal de Jesús María, Municipio de Ensenada, Baja California. Delegación Federal en Baja California, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 3 pp.

SEMARNAT. (2011). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2011. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1-226.

Sepúlveda-Betancourt, J. (1994). *La palmilla Yucca schidigera en Baja California, Folleto Técnico No. 8, Centro Regional del Noroeste*, Ensenada: Campo experimental Costa de Ensenada, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Servín, R., Tejas, A., Arce-Montoya, M., Robert, M. L. (2006). *Scyphophorus acupunctatus gyllenha* (Coleoptera: Curculionidae) como potencial insecto-plaga de *Yucca valida* Brandegees en Baja California Sur, México. *Folia Entomológica Mexicana* 45, 1-7.

Servín, R., Tejas, A., Palacios, C., Cota, A., Domínguez, R., Domínguez, M. (2010). Seasonal and host-plant associated population changes of *Homalodisca liturata* Ball in Northwest Mexico. *Southwestern Entomologist* 35(3), 251-260.

Shreve, F. (1910). The rate of establishment of the giant cactus. *The Plant World* 13, 235-240.

Shreve, F. (1917). The establishment of desert perennials. *Journal of Ecology* 5, 210-216.

Shreve. (1942). The desert vegetation of North America. *Botanical Review* 8, 195-246.

Shreve, F. (1964). Vegetation of the Sonoran Desert. Pp.6-186 en F. Shreve I.L. Wiggins, *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford: Stanford University Press.

Snell, R., Addicott, J. (2008). Limiting the success of stem borers (*Prodoxus quinquepunctellus*) in *Yuccas*: indirect effects of ants, aphids and fruit position. *Ecological Entomology* 33 (1) , 119-126.

Standley, P.C. (1920). *Yucca* L. Pp. 89-94 en P.C. Standley, *Trees and Shrubs of Mexico. Contributions from the United States National Herbarium* 23, parte 1.

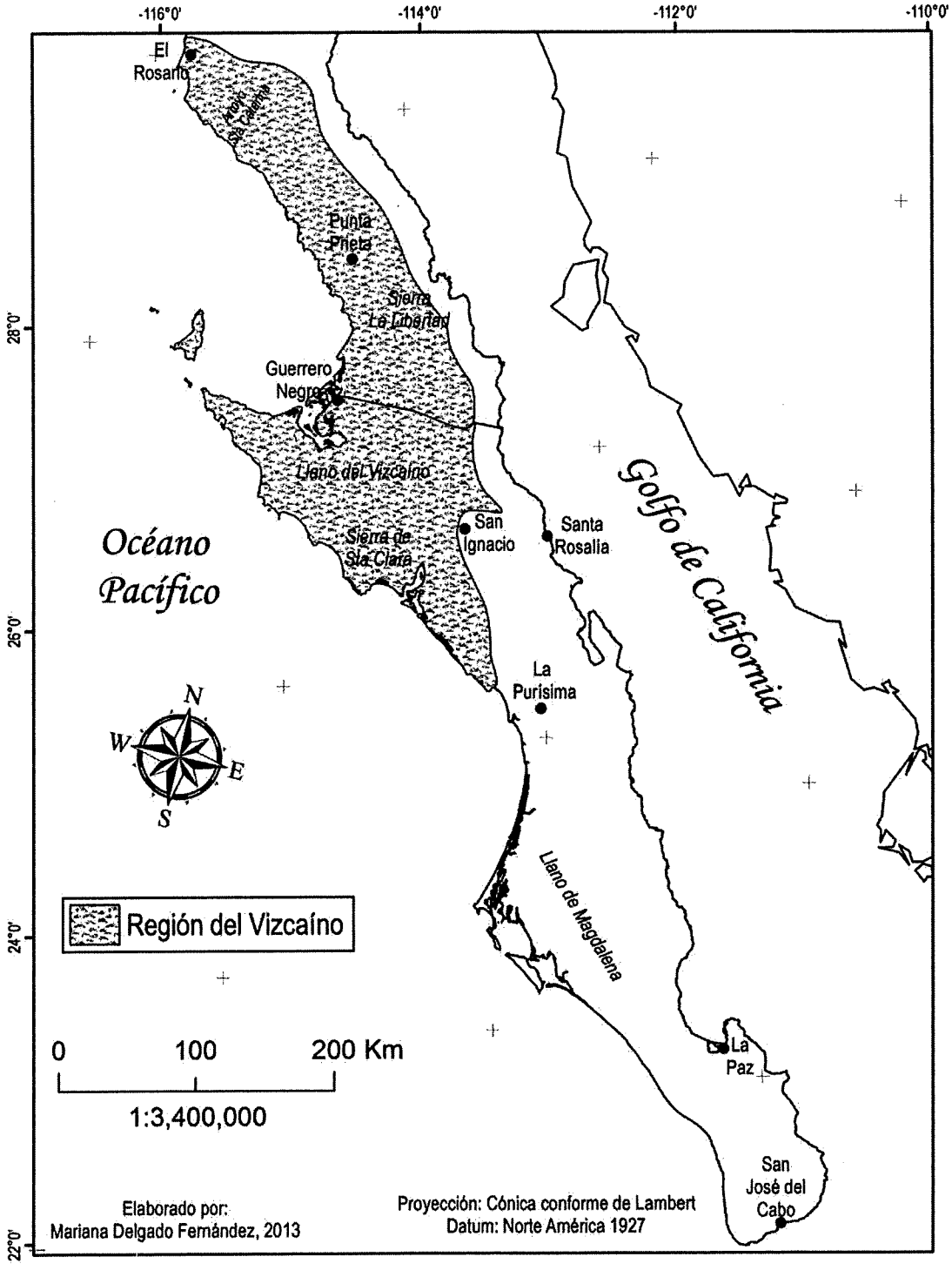
Steenbergh, W.F. y Lowe, C.H. (1983). Ecology of the saguaro: III. Growth and demography. xxiv + 228 pp. National Park Service Scientific Monograph Series No.17.

- Syfert, M. M., Smith, M. J. y Coomes, D. A. (2013). The effects of sampling bias and model complexity on the predictive performance of MaxEnt species distribution models. *PLoS One* 8(2): e55158.
- Tschirley, F. H.; Wagle, R. (1964). Growth rate and population dynamics of jumping cholla (*Opuntia fulgida* Engelm.). *Journal of the Arizona Academy of Science* 3, 67-71.
- Turner, R. M. (1990). Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran desert site. *Ecology* 71, 464-477.
- Turner, R., Brown, D. (1982). Sonoran desert scrub. Pp. 181-221 en D. Brown (ed.), Biotic communities of the American Southwest-United States and México, *Desert Plants* 4(1-4), 181-221.
- Turner, R., Bowers, J., Burgess, T. (1995). *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas*. Tucson: University of Arizona Press.
- Von, W. D., Eller, B., Werger, M., Brinckmann, E., D. Ihlenfeldt, H. (1992). Climate and vegetation of deserts. Pp. 49-70 en W. D. Von, B. Eller, M. Werger, E. Brinckmann, H. D. Ihlenfeldt, *Life Strategies of Succulents in Deserts, with Special Reference to the Namib Desert*. New York: Cambridge University Press.
- Wallace, A. (1972). Characteristics of *Yucca* species. Pp. 188-199 en A. Wallace E.M. Romney (eds), *Radioecology and ecophysiology of desert plants at the Nevada test site*. Los Angeles: LNMRB-UCLA..
- Webb, R. H., Boyer, D. E., Turner, R. M. (2010). *Repeat Photography: Methods and Applications in the Natural Sciences*. Washington: Island Press.
- Webb, R.H., Steiger, J.W. Turner, R.M. (1987). Dynamics of Mojave desert shrub assemblages in the Panamint Mountains, California. *Ecology* 68, 478-490.
- Webber, J. M. (1953). *Yuccas of the Southwest*. *Agricultural Monograph* 17, 6-91.
- Whitford, W. G. (2002). *Ecology of Desert Systems*. San Diego: Academic Press.
- Wiggins, I. L. (1964). *Flora of Baja California*. Stanford: Stanford University Press.
- Wilson, C. A. (2007). *Patente n° EP1755408 A1*. EUA.

Wykoff, W.R. y Monserud, R.A. (1988). Representing site quality in increment models: a comparison of methods. pp. 184-191 en: Ek, A.R., Shifley, S.R. y Burk, T.E. (eds.), Forest growth modelling and prediction: proceedings of the IUFRO conference. General Technical Report NC-120, USDA Forest Service, St. Paul.

# Anexos

## Anexo 1. Mapa de la "Región del Vizcaíno" y otras localidades notables



## Anexo 2. Especies asociadas a la presencia de *Yucca valida*

Especies asociadas a la presencia de *Yucca valida* en al menos 30% de los 354 sitios donde se ha registrado *Y. valida* en BC y BCS (Webb et al. datos no publicados). Se registró la frecuencia entre estos sitios y también en 1239 sitios entre los 25.9°N y 30.2°N de la península (incluyendo la costa del Golfo y sin considerar presencia o ausencia de *Y. valida*) y la razón entre esas frecuencias ("factor de asociación").

Nombre	Frecuencia		Factor de asociación
	Con <i>Y. valida</i>	Al sur de 30.2°	
<i>Yucca valida</i> T.S.Brandege	1.00	0.286	
<i>Stenocereus gummosus</i> (Engelm.) A.C. Gibson y K.E. Horak	0.79	0.487	1.6
<i>Pachycereus pringlei</i> (S. Wats.) Britt. y Rose	0.76	0.614	1.2
<i>Lophocereus schottii</i> (Engelm.) Britt. y Rose var. <i>schottii</i>	0.66	0.599	1.1
<i>Larrea tridentata</i> (Sesse y Moc. DC.) Coville	0.62	0.503	1.2
<i>Prosopis articulata</i> S. Watson	0.54	0.429	1.3
<i>Fouquieria diguetii</i> (Van Tieghem) I.M. Jhtn.	0.53	0.354	1.5
<i>Cylindropuntia cholla</i> Weber	0.52	0.303	1.7
<i>Ambrosia magdalenae</i> (Brandegee) Payne	0.52	0.237	2.2
<i>Euphorbia lomelii</i> V.W.Steinm.	0.52	0.249	2.1
<i>Mammillaria dioica</i> K. Brandege	0.51	0.355	1.4
<i>Jatropha cinerea</i> (C.G:Ortega) Muell.-Arg. in DC.	0.48	0.287	1.7
<i>Ambrosia chenopodifolia</i> (Benth.) Payne	0.47	0.362	1.3
<i>Lycium californicum</i> Nutt. ex Gray	0.47	0.328	1.4
<i>Fouquieria columnaris</i> Kell.	0.46	0.370	1.2
<i>Bursera microphylla</i> A.Gray	0.43	0.332	1.3
<i>Atriplex polycarpa</i> (Torr.) S. Wats.	0.43	0.297	1.4
<i>Euphorbia misera</i> Benth.	0.42	0.274	1.5
<i>Simmondsia chinensis</i> (Link) Schneider	0.41	0.349	1.2
<i>Solanum hindsianum</i> Benth.	0.39	0.316	1.2
<i>Cylindropuntia</i> cf. <i>prolifera</i> Engelm.	0.35	0.241	1.5
<i>Viscainoa geniculata</i> (Kell.) Greene var. <i>geniculata</i>	0.32	0.181	1.8
<i>Agave shawii</i> Engelm. ssp. <i>goldmaniana</i> (Trel.)	0.31	0.149	2.1
<i>Pachycormus discolor</i> (Benth.) Cov.	0.30	0.269	1.1
<i>Lycium</i> sp.	0.30	0.248	1.2

**Anexo 3. Sitios de *Yucca valida* muestreados en 2012** con algunas características de *Yucca valida* en cuanto a la morfología gruesa, crecimiento en longitud de los fustes y densidad. "r"= presencia de reclutas, \* = Estimados. (Continúa)

Sitio	Latitud °N	Longitud °W	Altura (msnm)	Ø Roseta (cm)	Ø Fuste (cm)	Altura máxima (m)	Tasa de crecimiento anual (cm)	Densidad (individuo/ha)	Frutos	Densidad
10NE <sup>r</sup>	29.5647	-114.7790	351	55.0		5.49	9.5	12.5	x	x
37NE	28.8258	-113.8035	488	48.0		3.79	5.9			
38SE <sup>r</sup>	28.7829	-113.7571	481	46.4	15.3	5.07	12.3	6.3		x
38NE <sup>r</sup>	28.7829	-113.7571	481	46.4	15.3	5.07	12.3	6.3		
64N	29.1781	-114.1448	524	49.6	14.6	4.99	5.3	25.0	x	x
73E	28.7444	-113.7817	398	53.4	16.4	5.64	7.0	43.8	x	x
73N	28.7444	-113.7817	398	53.4	16.4	3.67	6.3	43.8		
74NE <sup>r</sup>	28.7419	-113.7583	437	48.0*		3.50	2.1			
82S	29.0347	-114.0574	409	51.7	13.3	4.29	4.5	12.5	x	x
85SW	29.6263	-114.8107	536	48.0*		7.06	6.1*			
122W	29.1102	-114.1614	426	48.0*		4.65	4.6			
163E <sup>r</sup>	28.4027	-114.0331	11	34.7	13.3	2.77	3.1	43.8	x	x
165N	28.7268	-113.9286	232	48.0	12.8	2.86	5.7	12.5		
165NW	28.7268	-113.9286	232	48.0	12.8	3.37	3.5		x	x
166N	28.6827	-113.9806	177	48.0*		2.66	4.6			
166NW <sup>r</sup>	28.6827	-113.9806	177	48.0*		4.32	4.4			
192NE	29.3524	-114.4631	663	48.0*		4.36	6.1*			
193SE <sup>r</sup>	29.3783	-114.3871	663	51.3	24.0	4.21	13.2	12.5		x
194N <sup>r</sup>	29.3366	-114.4620	643	48.0*		4.36	6.0			
195W	29.3389	-114.4621	653	48.0*		4.15	2.4			
211N <sup>r</sup>	29.3995	-114.7160	300	48.0*		4.28	17.2			
215E <sup>r</sup>	29.3660	-114.3627	668	48.0*		4.31	11.5			
216N	29.3623	-114.3613	666	48.0*		3.90	1.1			
217E <sup>r</sup>	29.3638	-114.3711	672	40.4	14.0	4.16	7.4	6.3		x
218E	29.3727	-114.3745	674	48.0*		4.10	6.1*			
232NE <sup>r</sup>	28.8300	-114.1365	121	41.3	18.5	3.29	6.6	25.0	x	x
233W <sup>r</sup>	29.0974	-114.5437	43	49.6	9.8	4.37	5.2	25.0		x

234SE	29.0974	-114.5437	43	44.0	10.8	2.90	2.9	25.0		
235N	29.0977	-114.5452	42	48.0*		4.00	6.6			
236E <sup>r</sup>	29.1633	-114.7286	22	42.0*		3.36	6.3			
252NE <sup>r</sup>	28.7509	-114.1819	50	33.3	10.7	2.46	3.5	18.8	x	x
253E <sup>r</sup>	29.0338	-114.5342	55	35.2	12.0	2.76	3.4	31.3	x	x
253N	29.0338	-114.5342	55	39.0	9.2	3.59	3.4	31.3		
254SW <sup>r</sup>	29.0654	-114.5369	131	43.5	12.0	4.15	3.7	25.0		x
255N <sup>r</sup>	29.0034	-114.4999	121	33.9	10.7	4.33	3.7	6.3		x
257NE	28.8086	-114.3402	13	43.2	11.5	3.93	4.7	31.3		x
279NE <sup>r</sup>	28.3849	-113.8110	213	54.2	14.5	4.21	9.5		x	
349N <sup>r</sup>	28.2226	-113.1734	533	48.0*	12.00	3.43	3.3			
386NE	29.1525	-114.0232	597	48.0*		4.11	6.1*			
394NE <sup>r</sup>	29.2540	-114.1823	590	58.0		4.29	6.1*	18.8		x
469E <sup>r</sup>	28.9447	-114.4829	11	42.0*		4.30	10.3			

#### Anexo 4. Las variables ambientales empleadas para modelar la distribución de *Yucca valida* en Maxent

Variables tomadas de WorldClim (Hijmans et al., 2005) con su contribución al modelo.

Variable	Contribución (%)
BIO1 = Promedio de la temperatura anual	0.4
BIO2 = Promedio de temperatura del rango diario	4.7
Rango diario = Promedio de (T <sub>max</sub> - T <sub>min</sub> ) semanal	
BIO3 = Iso-termalidad = Promedio de [(T <sub>max</sub> -T <sub>min</sub> ) semanal / (T <sub>max</sub> -T <sub>min</sub> ) anual] *100 = BIO2 / BIO7	37.1
BIO4 = Temperatura estacional (desviación estándar *100)	10.6
BIO5 = Máxima temperatura del mes más caliente	0.1
BIO6 = Mínima temperatura del mes más frío	2.1
BIO7 = Rango de Temperatura Anual = BIO5 - BIO6	21.5
BIO8 = Promedio de temperatura del trimestre más húmedo	1.7
BIO9 = Promedio de temperatura del trimestre más seco	1.1
BIO10 = Promedio de temperatura del trimestre más caliente	1.1
BIO11 = Promedio de temperatura del trimestre más frío	0.2
BIO12 = Precipitación anual	0.5
BIO13 = Precipitación del mes más húmedo	0.3
BIO14 = Precipitación del mes más seco	0
BIO15 = Precipitación estacional (Coeficiente de variación)	1.4
BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo	16.7
BIO17 = Precipitación del trimestre más seco	0
BIO18 = Precipitación del trimestre más caliente	0
BIO19 = Precipitación del trimestre más frío	0.5

## Anexo 5. Resultados del análisis de componentes principales (ACP)

### Composición de los Factores

Variables del Análisis de Componentes Principales	Peso* factor 1	Peso* factor 2	Peso* factor 3
Promedio de la temperatura anual (°C) (BIO1)	0.786	-0.249	0.351
Promedio de temperatura del rango diario (°C) (BIO2)	0.833	0.063	-0.477
Rango de Temperatura Anual (°C) (BIO7)	0.214	0.119	-0.882
Precipitación anual (mm) (BIO12)	-0.936	-0.273	-0.058
Precipitación del mes más húmedo (mm) (BIO13)	-0.706	-0.445	0.041
Fósforo presente en el suelo (ppm)	0.232	.0149	0.730
Sodio presente en el suelo (ppm)	0.344	0.573	0.157
pH del suelo	0.158	0.844	0.008
Limos en el suelo (%)	0.007	0.779	0.055
Arcillas en el suelo (%)	-0.035	0.674	-0.397

\* = "factor loads"

### Posición de los sitios de muestreo en los ejes del análisis de componentes principales.

Punto	factor1	factor2	factor3
pnt 1	1.415	-0.559	-2.700
pnt 2	-1.154	-0.330	-0.034
pnt 4	-1.056	-0.768	0.258
pnt 5	-0.491	-0.730	-0.503
pnt 7	-0.569	-0.961	-0.133
pnt 8	-0.818	-1.098	0.295
pnt 9	-0.185	-1.839	0.047
pnt 10	1.406	-1.173	-2.777
pnt 11	-0.134	-0.909	-0.367
pnt 12	1.745	-0.973	2.816
pnt 14	-0.228	-0.390	0.144
pnt 16	-0.070	-0.122	0.614
pnt 17	-0.886	1.235	-0.208
pnt 18	-0.991	1.092	-0.277
pnt 19	-1.011	1.208	-0.156
pnt 20	-0.890	1.189	-0.302
pnt 21	0.670	1.188	-1.805
pnt 22	-1.066	1.109	-0.067
pnt 23	-1.060	1.113	-0.032
pnt 24	-1.119	1.117	-0.023
pnt 25	-1.192	1.125	-0.040
pnt 26	0.500	-0.733	-0.547
pnt 28	1.357	0.933	0.759
pnt 29	1.355	0.937	0.782

pnt 30	1.693	1.822	0.701
pnt 31	0.728	-0.381	-0.220
pnt 33	1.282	0.227	0.590
pnt 34	0.842	0.668	0.714
pnt 35	0.815	0.157	0.183
pnt 36	0.758	-0.194	-0.079
pnt 37	-0.022	-0.485	1.489
pnt 38	-0.999	-1.613	1.186
pnt 39	-0.943	-1.530	0.007
pnt 40	-0.668	-0.391	-0.236
pnt 41	0.986	0.060	-0.080

## **Anexo 6. Lineamientos propuestos para una normativa y para planes de manejo**

Procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento de *Yucca valida*

- I. Para el aprovechamiento de tallos de *Yucca valida* T.S. Brandegees
  - a. De no tener estudios específicos de la población de *Y. valida* a aprovechar, se seguirán las indicaciones preestablecidas por el Instituto Nacional de Ecología para recabar datos fundamentales de manejo.
  - b. En parcelas a aprovechar de menos de 50 ha deberán usar una tasa anual de crecimiento de 5 cm, maduración reproductiva a los 3.0 m y densidad de 58 fustes ha<sup>-1</sup>, de no tener estudios específicos.
- II. Para mantener o aumentar el número de fustes inicial de *Y. valida* en un predio se deberá realizar propagación:
  - a. Vegetativa, plantando la terminación intacta de una rama cosechada, sin florecer en el año, con al menos 20 cm de tallo sin hojas verdes, plantado en un hoyo de al menos 30 cm de profundidad y 30 cm de diámetro
  - b. Por plántulas, que provengan de semillas locales germinadas y cuidadas en viveros durante tres años, espaciadas a 5 m como mínimo.
- III. Promoción de la selección de tallos después del aprovechamiento
  - a. Las acciones de manejo deberán incluir podas de selección de retoños con periodicidad anual durante tres años, con el objetivo de reducir el número de tallos que compitan por los nutrientes y de esta manera puedan desarrollarse satisfactoriamente los nuevos tallos.
- IV. Inspección
  - a. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente u organismo desinteresado, realizará inspección a las plantas procesadoras de tallos de *Y. valida* para verificar que todos los tallos cortados midan al menos 3.0 m de altura y se tenga el número de guía y certificado de origen.