

CAPÍTULO 7

ESTRUCTURA DE TAMAÑOS Y EDADES EN POBLACIONES DE SAHUARO

7.1. Introducción

7.1.1. Historia de Vida

En biología, la frase “Historia de Vida” de un organismo se usa frecuentemente para referirse al ciclo reproductivo de los animales y plantas (Molles, 1999). Sin embargo, en ecología, especialmente en ecología evolutiva, tiene una connotación especial para referirse a la “Evolución de las Características de Historia de Vida” la evolución de los caracteres que afectan la sobrevivencia, la edad a la primera reproducción, el éxito reproductivo y la frecuencia reproductiva (Roughgarden, 1979). La evolución de estas características depende de la interacción genotipo-fenotipo-ambiente (Stearns 1992), pero su base fundamental descansa en la existencia de varianza genética que brinde diferencias en adecuación a ciertos fenotipos sobre otros. Esta incluyen rasgos como: el tamaño de los individuos, las habilidades para obtener recursos y para escapar de la competencia y la depredación entre otros factores (Reeve y Sherman, 1993). La estructura de las poblaciones es el resultado del tamaño de los individuos (o la edad), del tamaño de la población (densidad), de los nacimientos específicos y las tasas de sobrevivencia edad-específicas de una población (Silvertown, 1987). Es realmente el resultado de la habilidad promedio de los individuos para sobrevivir y reproducirse en cada estadio de edad (o tamaño). Es un resultado directo de la evolución de las características de historia de vida.

Estudiar la historia de vida de las poblaciones de una especie particular requiere del estudio del contexto demográfico, que obliga a trasladar a los individuos al nivel de población. Los organismos individuales nacen, crecen, maduran, se reproducen y eventualmente mueren. La probabilidad de cada uno de estos eventos depende del ambiente del individuo y de las herramientas que se proveyeron al individuo por su fenotipo para relacionarse con ese ambiente. En el conjunto de la población, la suma de estas probabilidades individuales determina la sobrevivencia y fecundidad que permite que la población persista

o se extinga localmente. Colectivamente, estas tasas, que describen el movimiento de los individuos a través de su ciclo de vida, son llamadas tasas vitales (Tuljapurkar y Caswell, 1997; Caswell, 2001). Enfocándose en las tasas vitales en el contexto del ciclo de vida, la demografía trata tanto de la dinámica como de la estructura de las poblaciones (Tuljapurkar y Caswell, 1997; Caswell, 2001). La existencia de diferencias demográficamente importantes entre individuos de diferentes edades, tamaños, sexos, o estados de desarrollo, hace importante estructurar a las poblaciones para tener una mejor comprensión de su dinámica.

Un modelo estructurado de una población describe la distribución de los individuos en la población a través de sus posibles categorías dependiendo de las diferencias individuales importantes. Si las diferencias de edad son más importantes, la población es descrita por su distribución de edades. Si el tamaño revela más acerca de un individuo que la edad, la población es descrita mejor por su distribución de tamaños. En algunos casos es necesario seguir la trayectoria de los individuos tanto por la edad como por el tamaño, o por otros descriptores como estados de desarrollo (Tuljapurkar y Caswell, 1997).

Un tipo diferente de estructura poblacional es interna, donde los individuos se clasifican por su genotipo y/o sexo además de la edad y/o el tamaño. La estructura poblacional genética es la manera en que una población es subdividida dentro de grupos locales que se reproducen o subpoblaciones, el tamaño de estas subpoblaciones en términos del número de individuos que se reproducen, y la cantidad de migración y flujo génico entre subpoblaciones. Finalmente, las poblaciones pueden ser estructuradas por su ambiente físico (efecto espacial), esto es como están distribuidos los individuos en el espacio (por ejemplo, en parches o al azar) y cuantos individuos hay en diferentes tipos de hábitats.

Estructura de tamaños y de edades. Incluso para organismos que no tienen estadios de historia de vida distintivos, la sobrevivencia y la reproducción pueden depender más del tamaño de un organismo que de su edad. Muchos organismos tienen crecimiento indeterminado –una planta de cierto tamaño puede ser un juvenil con crecimiento rápido o un adulto achaparrado. Si el riesgo de mortalidad depende del tamaño, solo el tamaño de los individuos, más que su edad, puede ser relevante en su persistencia. Finalmente, los

organismos modulares como las plantas y los corales pueden organizarse en colonias o unidades semi-independientes (retoños de las plantas) que son capaces de reproducirse. En estos casos, la historia de vida puede ser extremadamente compleja, las colonias de los corales pueden fragmentarse o fusionarse, y las plantas pueden reproducirse a través de propagación vegetativa o simplemente ser el resultado de acreción de módulos que incrementan el tamaño y el éxito reproductivo absoluto. En todos estos ejemplos, la edad de los organismos es menos importante que el tamaño o el estado de desarrollo en determinar su sobrevivencia y reproducción (Gotelli, y Kelley, 1993).

Analizar las poblaciones de plantas en términos de estados de desarrollo tiene mas sentido cuando se examina la fase de reclutamiento en su historia de vida. Las plantas exhiben un número de mecanismos por los cuales los individuos persisten por años en un estado de inactividad esperando un periodo de mejora en el ambiente antes de iniciar su crecimiento total y reproducirse o porque se presentan eventos extraordinarios de reclutamiento que están gobernados por factores ambientales extremos como la presencia de fuego en pinos serotinos o las precipitaciones extraordinarias en plantas del desierto.

7.1.2. Ecología del sahuaro

La variabilidad climática y los factores bióticos, están fuertemente relacionados a la dinámica poblacional de especies de plantas desérticas, ya que afectan la abundancia y los procesos biológicos de las especies, como la estructura de edades y la delimitación de su distribución (Kleidon et al. 2000; Harper, 1977; Brum, 1973; Steenbergh y Lowe, 1977; Parker, 1993; Pierson y Turner, 1998) Desde los trabajos de Shreve (1910), a principios del siglo XX, se sabe el sahuaro está fuertemente afectada por las bajas temperaturas que limitan su distribución latitudinal hacia el norte (Gibson y Nobel, 1986; Nobel, 1978, 2002; Turner et al. 1995). Sin embargo, factores como la intensidad y distribución de las lluvias, las propiedades del suelo, la disponibilidad de plantas nodrizas y el pastoreo, pueden también afectar la abundancia local y la dinámica de poblaciones del sahuaro y otras cactáceas columnares (Sosa y Fleming, 2002; Godínez-Álvarez et al., 2002; Steenbergh y Lowe, 1977).

El saguaro, está adaptado a la sequía y es intolerante a las heladas y a la precipitación excesiva. En su límite norte de distribución crece principalmente en suelos gravosos y en las laderas rocosas con orientación sur. Ocurre en menor frecuencia en laderas con orientación norte. Más hacia el sur es muy abundante en los extensos valles del desierto, aunque también se le ha encontrado en suelos aluviales pobremente aireados (Steenbergh y Lowe 1977; Turner et al. 1995).

La reproducción del sahuaro ocurre en los días cálidos previos al verano, (abril-julio), en estos meses, brotan y se desarrollan los botones florales para dar paso a la formación y maduración de los frutos (Steenbergh y Lowe, 1977). Los frutos maduros pesan alrededor de 50 g y cada uno contiene aproximadamente 2250 semillas. Steenbergh y Lowe (1977), obtuvieron bajo condiciones naturales en Saguaro National Monument en Tucson Arizona, un éxito de más del 60% en la germinación de semillas bajo condiciones controladas, la viabilidad de semillas alcanzó un éxito cercano al 100%. Los animales juegan un papel muy importante en el rol de dispersión y transporte de las semillas a lugares convenientes para la germinación y el establecimiento de las semillas. Los frutos maduros y secos son un alimento muy atractivo durante el verano para muchos mamíferos, aves e insectos. (Steenbergh y Lowe, 1977).

De las miles de plántulas de sahuaros que emergen cada verano, la gran mayoría muere durante el transcurso del primer año (Steenbergh y Lowe, 1977). De los pocos individuos que sobreviven, algunos son encontrados entre rocas y pendientes pronunciadas, el resto de las plántulas se encuentran bajo la sombra y protección de plantas nodrizas, las cuales ofrecen un microhábitat adecuado para su desarrollo (Franco y Nobel, 1989; Steenbergh y Lowe, 1977; Turner et al., 1966).

Las poblaciones de sahuaro se encuentran muy vulnerables en estos primeros estadios, por lo que hay una gran mortalidad, tanta que en la mayoría de los años no sobrevive ni una sola de los millones de plántulas. Con esta severa mortalidad inicial, las poblaciones de sahuaro, al igual que muchas otras poblaciones de cactáceas, presentan generalmente curvas de sobrevivencia tipo III (Steenbergh y Lowe, 1969). De acuerdo a Hastings y Alcorn, (1961), y posteriormente a Steenbergh y Lowe (1969, 1977, 1983), la edad reproductiva de los sahuaros se alcanza cuando estos miden entre 2.00 y 2.49 m, y tienen

una edad entre 31-36 años. En esta etapa es cuando presentan su tasa máxima de crecimiento (Hastings y Alcorn, 1961). Conforme crecen y se reproducen, se da una disminución de la tasa de crecimiento en altura ya que una importante parte de la energía que antes se dedicaba al crecimiento (hasta un 50%) se asigna a eventos reproductivos (Steenbergh y Lowe, 1969, 1977). *C. gigantea* puede vivir más de 175 años y alcanzar una altura de más de 15 m. La mortalidad de individuos maduros en condiciones de vida normales, es estimada en 0.7 por ciento al año. Las muertes por lo general son causadas por vientos fuertes, los cuales quiebran o tumban a los individuos, por la erosión hídrica que deja al descubierto las raíces, por heladas recurrentes y por necrosis bacteriana (Boyle, 1949; Hastings y Alcorn, 1961; Steenberg y Lowe, 1977).

La producción de flores parece estar controlada por la llegada de las temperaturas cálidas de la primavera y por el incremento del fotoperiodo (Johnson, 1924). El número de semillas y frutos producidos, incrementa con el crecimiento anual de la planta (Steenbergh y Lowe, 1977). Cuando las semillas se encuentran maduras llegan al suelo, muchas de estas encuentran un sitio adecuado para establecerse y otras son consumidas por la gran variedad de mamíferos, roedores, aves e insectos que habitan el desierto. Muchos animales juegan un papel importante en la dispersión de semillas de las plantas desérticas (Gilman, 1915). La depredación de semillas, también afecta la dinámica poblacional, ya que puede reducir el éxito de la dispersión y establecimiento de nuevos individuos (Reichman, 1979; Wolf y Martínez del Río, 2000; Wolf et al. 2002; Davidson et al., 1985).

Las semillas de *C. gigantea*, solo germinan en verano, en los meses de julio y agosto durante las lluvias de verano cuando la temperatura mínima del aire es mayor que 20°C (Bowers, 1994). Al igual que muchas especies de ambientes áridos, el reclutamiento es episódico, asociado principalmente con el régimen de lluvias y temperaturas (ver por ejemplo: Brum, 1973; Steenbergh y Lowe, 1977; Jordan y Nobel, 1982; Parker, 1993; Pierson y Turner, 1998), por lo que el proceso de establecimiento y germinación, dependen de un corto periodo en los que coinciden altos niveles de humedad, temperatura y radiación solar (Steenbergh y Lowe, 1977; Gibson y Nobel, 1986; Turner et al. 1995). Además, está bien demostrado que dependen de la presencia de plantas nodrizas o de

rocas que ofrecen un microhábitat adecuado para la germinación y establecimiento (Turner et al., 1966; Steenbergh y Lowe, 1977; Franco y Nobel, 1989). En *C. gigantea* las poblaciones sufren ciclos de abundancia y escasez que hacen que sus poblaciones cambien en abundancia relativa con las fases arbustivas –nodrizas, que facilitan su establecimiento (Shreve 1910; Niering et al., 1963; Steenbergh y Lowe 1977, 1983; Valiente y Ezcurra, 1991).

7.2. Objetivos

El objetivo de este capítulo es el de describir la estructura de las poblaciones de sahuaro a lo largo de su ámbito de distribución y establecer la relación entre la estructura de tamaños y la estructura de edades y los correlatos ambientales que afectan la forma de las distribuciones.

7.3 MATERIALES Y MÉTODOS

7.3.1. Muestreo de las poblaciones

El muestreo consistió en la elección sistemática de los individuos de todas las categorías de edad tal como iban apareciendo en parcelas anidadas que se iniciaban en una parcela de 20 x 20 m (400 m²; Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). La adición de unidades de muestreo se continuó hasta obtener una muestra de al menos 100 individuos vivos (exceptuando Date Creek Ranch con 76 plantas vivas). También se registraron todos los individuos muertos que aparecieron en el muestreo. Cada uno de los individuos se ubicó utilizando un posicionador geográfico satelital GPS (Garmin MAP 76, Garmin International, Inc., Olathe, Kansas) y además se marcó con una etiqueta numerada de aluminio de 2 x 3 cm, sujeta a la base del tallo con un alambre galvanizado calibre 20.

7.3.2. Distribución y Densidad

Los datos del GPS se vaciaron en el programa Map Source 3 (Garmin Ltd. International Inc., Olathe, Kansas) para obtener la una base de datos con la ubicación espacial de cada sahuaro muestreado. La base de datos se exportó al programa Sigma Plot versión 9 (SPSS Inc., Chicago, Illinois) para producir el mapa de distribución al cual se le superpuso una cuadrícula de 20 x 20 m. A cada cuadro se le asignó un número único que se utilizó como identificador de

cuadro en las bases de datos subsecuentes. Las bases de datos se analizaron con el programa estadístico SPSS versión 10 (SPSS Inc., Chicago, Illinois), para obtener la densidad de individuos vivos y muertos por hectárea para cada población. Los análisis estadísticos (ANOVAs, regresiones, y descriptivos poblacionales) se realizaron con el programa SPSS 10.

7.3.3. Estructura Poblacional

La muestra incluyó 16 poblaciones con 1765 individuos (plántulas, juveniles, adultos y muertos), incluyendo individuos con daños. Se excluyeron del análisis de estructura poblacional los individuos con daños evidentes, vandalismo o malformaciones. En cada parcela se contabilizaron todos los sahuaros, tanto vivos como muertos. En cada uno de los individuos vivos se tomaron las siguientes mediciones (Figura 7.1): 1) estatura, utilizando una vara telescópica de 11 m graduada en centímetros (Crain Enterprises, Inc., Illinois), 2) número de brazos, 3) longitud de cada brazo al metro más cercano, 4) altura a la cual se ramifica cada uno de los brazos, 5) diámetro de la base del tronco principal, a 1 m de estatura y el de la sección más ancha del tronco principal (en individuos menores de 1.5 m solo se tomaron dos diámetros, el basal y la parte más ancha del tallo) utilizando una forcípula con apertura de hasta 80 cm (Haglöf, Suecia) y, 6) estado reproductivo de los individuos categorizándolos como reproductivos y no reproductivos con base en la presencia de botones, flores y/o frutos solo en las poblaciones que se censaron durante la estación reproductiva (Date Creek Ranch, Winkelman, Bahía de Kino y Masiaca). Las evidencias de daños en la base del tronco, la presencia y orientación de perforaciones hechas por aves, roedores o si presentaban daños por el pastoreo de caprinos o vacunos se anotaron como datos adicionales. En los individuos muertos, únicamente se tomaron las medidas de altura y el diámetro basal. Se anotó si los individuos se encontraban en pie o caídos, registrando el estado de conservación de la madera como en buen estado, con porciones podridas y completamente podrida.

7.3.4. Determinación de la edad de sahuaros

Una vez obtenidas las alturas para cada uno de los individuos de *C. gigantea*, se utilizó el modelo de crecimiento desarrollado por Steenbergh y Lowe (1983)

para una población de sahuaros en el Sahuaro National Monument East para aplicarlo a cada una de la poblaciones muestreadas y así obtener la edad de los individuos. Esta población se ha descrito como el “óptimo de crecimiento” y representa un valor de crecimiento muy cercano al máximo que experimentan las poblaciones de sahuaro (Turner et al., 1995; Drezner, 2003). Ya que se sabe que el crecimiento no es igual para todas los sitios pues depende de factores como el promedio y la variación en la precipitación y temperatura (ver p. ej. Steenbergh y Lowe, 1983; Drezner, 2003), la estimación de la edad por este método correlativo representa la edad mínima para un individuo de cierta estatura en una determinada población. Finalmente, con la observación de los picos en los gráficos, se determinaron los años en los que se registraron eventos masivos de reclutamiento como aquellas barras de la distribución de edades que se diferenciaban de las barras adyacentes por al menos dos unidades de frecuencia. Determinados los picos, se calculó la periodicidad promedio entre eventos de reclutamiento como el promedio de la distancia en años entre picos, y se calculó la fecha desde el último reclutamiento masivo como el intervalo en años entre el primer pico de la distribución y el presente.

7.3.5. Área basal

En cada sitio de muestreo, se tomaron al menos 10 lecturas de área basal utilizando el método de radio variable de Bitterlich (Relascopeo de Bitterlich; Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974). El método consiste en contar aquellos árboles cuyos diámetros sean iguales o mayores que a la apertura angular del relascopeo, realizando un giro de 360°. Las lecturas se expresan directamente en $m^2 ha^{-1}$.

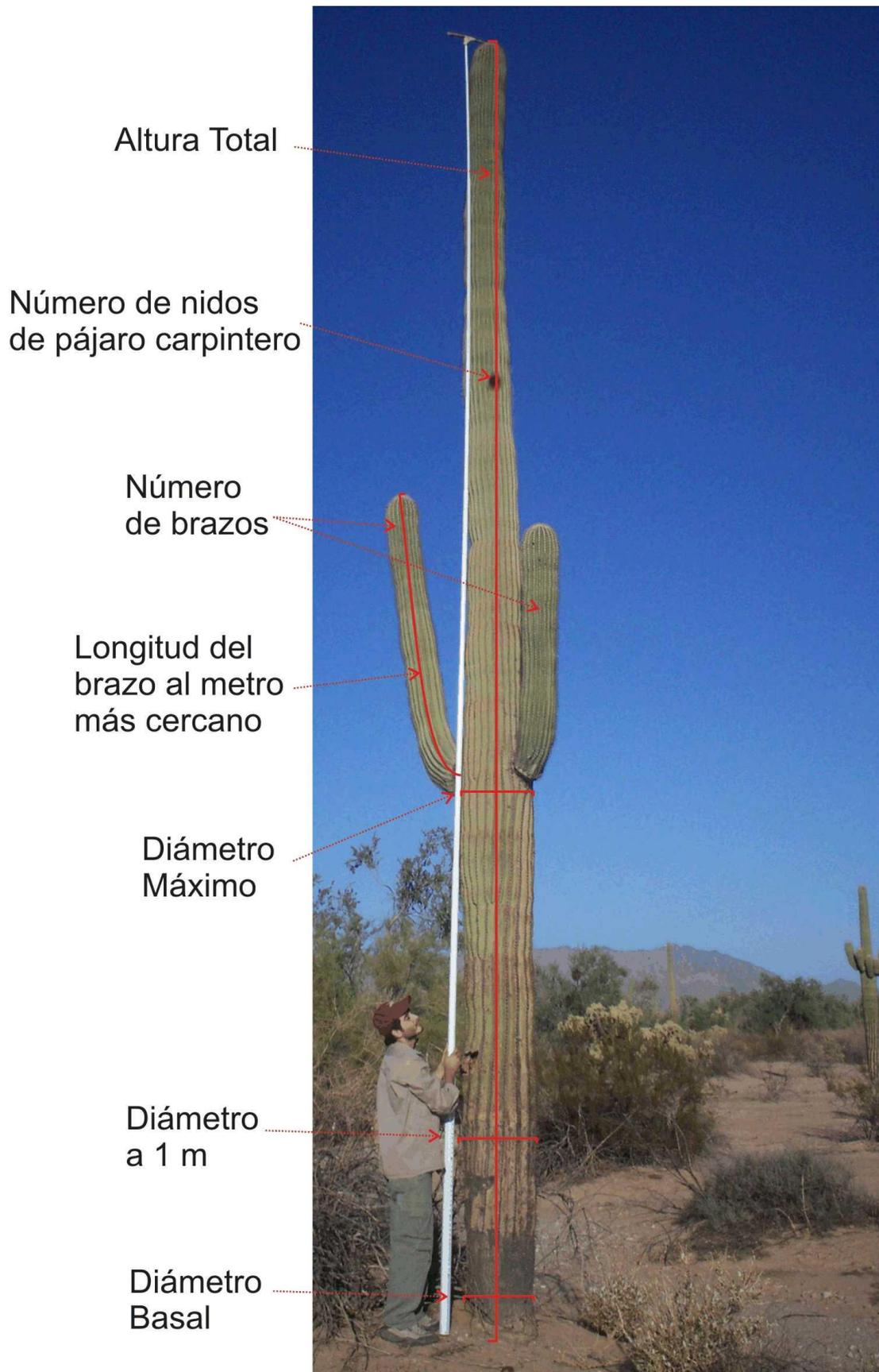


Figura 7.1. Aspecto general de un individuo adulto. Mediciones de tamaño de los individuos de sahuaro.

7.4 RESULTADOS

7.4.1 Densidad y distribución de los individuos

A pesar de que el criterio de selección de los sitios de estudio fue que mostraran la más alta densidad de sahuaros a nivel regional, la densidad poblacional de *Carnegiea gigantea* resultó muy variable entre sitios; desde aquellos con muy bajas densidades, hasta sitios donde alcanzan densidades de cientos de individuos por hectárea. El número de parcelas de 20 x 20 m (400 m²) necesarias para registrar un número mínimo de 100 individuos varió enormemente entre sitios. Hubo sitios donde únicamente se necesitaron 12 parcelas (0.48 ha) como la población de El Dipo, y sitios como El Orégano en donde fue necesario establecer 534 parcelas (21.36 ha) para completar los 100 individuos (Tabla 7.1). La menor densidad promedio de sahuaros se registró en la población de El Orégano (5 ind ha⁻¹), y la mayor en El Dipo que presentó una densidad promedio de 218 ind ha⁻¹ (Tabla 7.1).

Al examinar la densidad de individuos por clases de tamaño, específicamente por clases de altura, es evidente: i) una densidad baja de individuos en las clases de tamaño grande, ii) una gran heterogeneidad en la densidad entre clases, tanto dentro, como entre poblaciones, e iii) poblaciones que en su mayoría presentan un severo déficit de individuos juveniles (Tabla 7.1). El patrón de distribución de los individuos, expresado como el Coeficiente de Dispersión (cociente varianza/promedio) muestra que la distribución de los individuos es en general de ligeramente a muy agregada, tanto en la distribución de todos los individuos en la población (densidad total), como en la distribución de los individuos de diferentes clases de tamaño (Tabla 7.1). En algunos casos, sin embargo, se encontró un patrón de distribución aleatorio (o tendiente a aleatorio), especialmente en la categoría de plántulas.

7.4.2 Estimaciones de área basal y densidad poblacional con la muestra total de individuos y con el método del Relascopio de Bitterlich

Área basal medida directamente de la sumatoria de los diámetros

El área basal es un importante descriptor de una población forestal. Su medición permite caracterizarla estructuralmente en términos de su biomasa, especialmente cuando es comparativa. Ya que los sahuaros presentan un tronco ahusado con el diámetro más pequeño en la porción en contacto con el suelo, un diámetro mayor a 1 m de altura y alcanzan un valor máximo entre 2 y 3 m de altura, se midieron estos tres parámetros como estimadores del área basal. Al igual que con la altura, se observó una gran variación en los valores de área basal de los sahuaros. Los valores fueron siempre menores cuando se midió el diámetro en la base de los individuos, y máximos cuando se midió en el extremo superior (Tabla 7.2). Asimismo, se encontraron diferencias altamente significativas entre poblaciones en el área basal promedio por hectárea utilizando cualquiera de los tres diámetros como estimadores (Tabla 7.2). Establecida la diferenciación estadística, existen poblaciones con muy bajos valores de área basal como los sitios de El Orégano y San Marcial que presentaron valores alrededor de $1 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, hasta poblaciones con áreas basales de más de $13 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ como el caso de la población de Cucurpe.

Área basal medida con el relascopio de Bitterlich

Al estimar el área basal con muestreos utilizando un relascopio de Bitterlich, se encontró un rango de variación en área basal desde 4.2 en Masiaca, hasta $22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en la población de Cucurpe (Tabla 7.2). Considerando al amplio rango de valores y los bajos errores estándares asociados a los promedios de cada población, se encontraron diferencias altamente significativas entre los promedios de área basal (Tabla 7.2). Para calibrar los valores obtenidos con el relascopio, se obtuvo una regresión entre los valores obtenidos con el relascopio y los valores resultantes de la medición directa de las áreas basales en el campo. La regresión fue altamente significativa con las áreas basales estimadas con cualquiera de los diámetros (Figura 7.2). Las estimaciones utilizando el relascopio de Bitterlich muestran una sobreestimación muy acentuada del área basal cuando se utiliza el diámetro basal de los sahuaros (3 veces mayor con el relascopio), menos notable al usar el área basal calculada con el diámetro a un 1 m de altura (1.6 veces mayor), y con poco menos del 30% de sobreestimación cuando se utiliza el diámetro máximo de los sahuaros (Figura 7.2). Considerando esta diferencia, la estimación con el método del relascopio explica casi el 80% de la varianza en el área basal al utilizar el

diámetro a un metro de altura o el diámetro máximo de los sahuaros. Aún de más relevancia es la estimación de la densidad poblacional basándose en las mediciones del relascopio ya que casi el 80% de la varianza ($R^2=0.78$) en la densidad es explicada por las estimaciones del relascopio utilizando una sencilla ecuación lineal (Figura 7.3).

7.4.3. Estructura poblacional de tamaños

En las 16 poblaciones estudiadas se observa que los individuos están distribuidos de manera irregular entre las diferentes clases de tamaño (Figura 7.4). Esto produce distribuciones multimodales que reflejan eventos masivos pero poco frecuentes de reclutamiento que son únicos a la historia de cada población. Por ejemplo, en algunas poblaciones predominan individuos muy grandes (como en Masiaca y San Marcial), mientras que en otras existe una buena representación de individuos jóvenes (como en El Dipo y Sáric, Figura 7.4). En la mayoría de las poblaciones de estudio no se detectaron plántulas o individuos juveniles que hubiesen ingresado recientemente (menores de 5 cm), salvo en la población del Dipo. Como consecuencia de la escasez de reclutamiento, la estructura poblacional de la mayoría de las poblaciones presenta un severo déficit en las clases de tamaño pequeño, lo que refleja que en la mayoría de los casos se encuentran lejos de tener una estructura estable de edades, aunque en algunas poblaciones como El Dipo las categorías pequeñas están bien representadas (Figura 7.4).

El tamaño al cual comienzan a ramificarse los individuos es en general entre 2 y 5 m de altura. Sin embargo, en ciertos sitios existe una ramificación temprana como en el caso de las poblaciones de Las Guásimas, Cráter MacDougal y Masiaca, donde existen individuos en la categoría de 1-2 m que muestran ramas, y sitios donde predominan individuos monopódicos que apenas comienzan a ramificarse arriba de los 5 m de altura como Winkelman, Sáric y La Primavera (Figura 7.4). poblaciones predominan individuos muy grandes (como en Masiaca y San Marcial), mientras que en otras existe una buena representación de individuos jóvenes (como en El Dipo y Sáric, Figura 7.4). En la mayoría de las poblaciones de estudio no se detectaron plántulas o individuos juveniles que hubiesen ingresado recientemente (menores de 5 cm), salvo en la población del Dipo. Como consecuencia de la escasez de

reclutamiento, la estructura poblacional de la mayoría de las poblaciones presenta un severo déficit en las clases de tamaño pequeño, lo que refleja que en la mayoría de los casos se encuentran lejos de tener una estructura estable de edades, aunque en algunas poblaciones como El Dipo las categorías pequeñas están bien representadas (Figura 7.4).

En la mayoría de las poblaciones los individuos comienzan a ramificarse a partir de los 500 cm de altura. Sin embargo, hay una gran variación en la altura inicial de ramificación, ya que en ciertos sitios existe una ramificación temprana como en el caso de las poblaciones de Las Guásimas, Cráter MacDougal, La Joyita y Los Vidrios, donde existen individuos en la categoría de 1-2 m que muestran ramas, y sitios donde predominan individuos monopódicos que apenas comienzan a ramificarse arriba de los 5 m de altura como Bahía Kino y La Primavera (Figura 7.4).

La proporción de individuos con y sin brazos varió notablemente entre poblaciones, desde poblaciones como Bahía Kino, Sáric, La Primavera y Rancho Lobos con menos del 10% de los individuos con al menos una ramificación, hasta poblaciones con dos tercios del total de los individuos con brazos como Masiaca y San Marcial (Tabla 7.3.3). De hecho, en esta última población fue donde se registró el individuo con el mayor número de brazos (23), y el que presentó los brazos de mayor longitud (750 cm). Aún al considerar solamente los individuos con ramificaciones, se torna evidente que algunas de las poblaciones presentan, en los individuos con ramificaciones, menos de 2 brazos en promedio como sucede en las poblaciones de La Primavera, Cucurpe y Las Guásimas, mientras que en otras como en San Marcial, Masiaca, Date Creek Ranch y Winkelman, se presentan individuos muy grandes con más de 5 ramificaciones en promedio (Tabla 7.3).

7.4.4. Estructura poblacional de edades

Basándose en los datos de tamaño obtenidos en campo y los datos de crecimiento de Steenbergh y Lowe (1983) para *Carnegiea gigantea*, se obtuvo una edad para cada uno de los sahuaros muestreados, encontrándose que los individuos de sahuaro más jóvenes se encuentran en la población de El Dipo con 4 años de edad, mientras que en los sitios de La Primavera, La Joyita, Cráter MacDougal, Los Vidrios, Masiaca y San Marcial, se encontraron los

individuos más viejos con una edad de entre 120 y 130 años (Figura 7.5). En general, la translación de la estructura de tamaños a la estructura de edades mantuvo la forma general de las distribuciones, ampliando un poco la resolución en los tamaños pequeños. El análisis general de la estructura de tamaños se aplica de igual manera a la estructura de edades. Para detectar los picos de reclutamiento, se realizó una inspección de las distribuciones de edades en cada población. Cada pico discreto que se separara por más de dos unidades del eje “y” de los puntos circunvecinos se consideró un evento de reclutamiento que ocurrió n años en el pasado (ver flechas en la Figura 7.5). Ya que en cada población existen muchas ocurrencias de este tipo, se pudo obtener el intervalo promedio en el que ocurren eventos masivos de reclutamiento, así como el último evento de reclutamiento masivo que está representado por el primer pico de abundancia en la distribución de edades de cada población (Tabla 7.3). Los eventos de reclutamiento masivo son menos comunes para las poblaciones de Sáric y Caborca con intervalos de 12 y 11.3 años entre evento y evento respectivamente, mientras que para los sitios de Masiaca y Cucurpe se detectaron eventos más frecuentes con un intervalo promedio de poco más de 6 años entre eventos de reclutamiento (Tabla 7.4). Sin embargo, al considerar el último año en el que se presentó un evento masivo de reclutamiento para cada población, resaltó la población de Masiaca en la cual no se ha presentado reclutamiento significativo desde hace 31 años, mientras que El Dipo destaca como la población con reclutamiento masivo más reciente (Tabla 7.3). No se detectó correlación alguna entre el intervalo promedio y el número de años desde el último reclutamiento, ni de estas variables de tiempo de reclutamiento con alguna de las variables climáticas descritas en la sección de 5.1.2, a excepción de la textura del suelo que está negativamente correlacionada con el intervalo promedio de reclutamiento, esto es, que conforme la textura del suelo se torna más gruesa, el intervalo entre eventos de reclutamiento se vuelve más largo. Sin embargo, esta correlación es débil ya que la textura del suelo explica aproximadamente el 25% de la varianza en el intervalo ($r=0.506$; $p<0.04$), y es apenas marginalmente relevante al realizar una correlación bivariada no paramétrica (Tau de Kendall= -0.358 ; $p<0.09$; rho de Spearman= -0.421 ; $p<0.1$). Asimismo, no se detectó asociación significativa entre las variables de reclutamiento y las variables de morfología de adultos descritas en el capítulo

5. Debe notarse que resultaron significativas las correlaciones entre el valor en años del último intervalo de reclutamiento y los exponentes alométricos que describen la morfología de tamaño (capítulo 5), especialmente de diámetro a 1m de altura y altura total ($r=0.657$; $p<0.006$), de diámetro basal y altura ($r=0.665$; $p<0.005$), de número de costillas y diámetro a 1 m ($r=0.704$; $p<0.002$) y de manera muy sugerente y significativa con el exponente alométrico resultante de la relación alométrica entre número de costillas y altura total ($r=0.835$; $p<0.0005$).

Tabla 7.1. Densidad de individuos total y por categoría de altura en las 16 poblaciones estudiadas de *Carnegiea gigantea*. N = número de parcelas de 400 m² (parcelas de 20x20m) muestreadas para cada sitio. EEM = error estándar de la media. CD = coeficiente de dispersión (varianza/promedio).

Población	N	Categorías de altura de los Individuos											
		Total			0-50 cm			50-250 cm			>250 cm		
		Promedio	EEM	CD	Promedio	EEM	CD	Promedio	EEM	CD	Promedio	EEM	CD
Caborca	91	28.02	3.58	1.66	7.69	1.50	1.06	6.87	1.57	1.30	13.46	2.57	1.79
Cucurpe	14	182.14	49.13	7.42	85.71	28.91	5.46	35.71	12.21	2.34	60.71	15.66	2.26
Date Creek Ranch	49	38.78	5.93	1.77	4.08	1.69	1.36	13.78	3.65	1.90	20.92	4.21	1.66
El Dipo	12	218.75	50.39	5.57	145.83	42.95	6.07	33.33	18.29	4.82	39.58	10.42	1.32
El Orégano	534	4.68	0.88	3.54	0.61	0.21	1.59	1.97	0.43	2.02	2.11	0.49	2.48
Las Guásimas	28	91.07	15.23	2.85	50.89	10.80	2.56	19.64	5.66	1.82	20.54	5.46	1.63
Bahía Kino	37	67.57	10.06	2.22	20.95	5.61	2.22	27.03	4.78	1.25	19.59	5.05	1.92
La Joyita	114	22.15	3.05	1.91	1.32	0.53	0.96	3.07	0.83	1.03	17.76	2.67	1.84
La Primavera	24	104.17	18.35	3.10	32.29	7.45	1.65	27.08	7.81	2.16	44.79	10.31	2.28
Cráter MacDougal	68	34.19	5.16	2.12	3.31	1.16	1.11	5.51	1.73	1.47	25.37	4.43	2.10
Masiaca	105	24.05	3.33	1.94	0.48	0.34	0.99	3.33	1.07	1.45	20.00	2.61	1.43
Los Vidrios	73	34.59	4.07	1.40	10.27	2.17	1.34	9.59	2.16	1.42	14.73	2.48	1.22
Rancho Lobos	48	52.60	6.28	1.44	6.77	2.20	1.37	22.40	4.23	1.53	23.44	3.90	1.24
San Marcial	309	8.09	1.18	2.14	0.97	0.34	1.47	0.89	0.33	1.51	6.23	0.98	1.90
Sáric	15	170.00	36.20	4.63	88.33	25.92	4.56	58.33	12.83	1.69	23.33	6.20	0.99
Winkelman	39	64.74	9.03	1.97	27.56	6.21	2.19	7.69	2.28	1.05	29.49	5.94	1.87

Tabla 7.2. Promedios \pm error estándar de la media (EEM) del área basal calculada con el diámetro basal (DBas), el diámetro a 1 m de altura (D1m), el diámetro máximo (DMax) y el relascopio de Bitterlich (Bitt) en las 16 poblaciones muestreadas de *Carnegiea gigantea* a lo largo de su distribución. Todos los valores en $m^2 ha^{-1}$. N_1 = número de parcelas de 400 m^2 , N_2 = número de muestras con el relascopio. Al final se muestran los valores de F resultantes del análisis de varianza para comparar los promedios entre poblaciones. Todos ellos altamente significativos ($P<0.0001$).

	N_1	D Bas	EEM	D1m	EEM	DMax	EEM	Bitt	EEM	N_2
Caborca	91	1.054	0.182	1.594	0.260	1.961	0.339	6.09	0.85	11
Cucurpe	14	4.639	1.238	10.395	2.666	13.301	3.483	22.00	1.63	16
Date Creek Ranch	49	2.431	0.457	3.895	0.652	4.910	0.836	8.20	0.99	10
El Dipo	12	4.571	0.918	7.791	1.504	9.876	1.861	14.58	1.47	12
El Orégano	534	0.220	0.045	0.449	0.090	0.573	0.118	5.45	0.94	11
Las Guásimas	28	1.844	0.456	4.191	0.854	5.057	1.108	10.42	1.30	12
Bahía Kino	37	2.503	0.517	6.883	1.217	8.409	1.595	10.75	0.96	12
La Joyita	114	1.569	0.227	2.417	0.333	2.935	0.408	6.09	0.73	11
La Primavera	24	3.697	0.734	5.774	1.129	7.251	1.416	12.36	0.99	11
McDougal	68	1.936	0.318	2.671	0.420	3.366	0.528	9.31	0.71	13
Masiaca	105	1.771	0.241	2.474	0.328	3.249	0.427	4.20	0.70	10
Los Vidrios	73	1.492	0.216	2.482	0.286	3.043	0.375	5.45	1.84	11
Rancho Lobos	48	2.002	0.272	4.353	0.565	5.322	0.725	8.83	1.13	12
San Marcial	309	0.730	0.127	1.020	0.161	1.344	0.208	4.40	2.08	10
Sáric	15	2.654	0.500	5.648	1.007	6.456	1.130	11.77	1.18	13
Winkelman	39	3.195	0.639	4.462	0.776	5.994	1.081	8.40	1.19	10
F del ANOVA		$F_{1,14}=22.20^{***}$		$F_{1,14}=32.52^{***}$		$F_{1,14}=30.26^{***}$		$F_{1,14}=32.60^{***}$		

Tabla 7.3. Proporción de individuos con y sin ramificaciones, y número de ramificaciones (brazos) promedio por individuo para los individuos ramificados en cada una de las 16 poblaciones estudiadas de *Carnegieia gigantea*. N = número total de individuos muestreados.

	N	% de individuos sin brazos	% de individuos con brazos	Núm. brazos promedio por individuo
Caborca	102	83	17	2.60
Cucurpe	102	88	12	2.00
Date Creek Ranch	76	54	46	5.20
El Dipo	105	89	11	4.20
El Orégano	100	77	23	3.30
Las Guásimas	102	88	12	1.60
Bahía Kino	100	95	5	2.00
La Joyita	101	51	49	2.76
La Primavera	105	92	8	1.50
Cráter MacDougal	93	53	47	4.10
Masiaca	100	31	69	5.30
Los Vidrios	101	68	32	3.90
Rancho Lobos	101	92	8	2.12
San Marcial	99	37	63	6.70
Sáric	102	92	8	2.12
Winkelman	101	62	38	5.00

Tabla 7.4. Número de eventos (N), Intervalo promedio (años) entre eventos, y años desde el último evento de reclutamiento masivo en las 16 poblaciones de *Carnegiea gigantea* estudiadas. EMM = error estándar de la media.

	N	Promedio	EMM	Último reclutamiento
Caborca	10	11.33	2.28	18
Cucurpe	9	6.87	1.77	12
Date Creek Ranch	10	9.00	1.85	21
El Dipo	9	10.00	2.47	9
El Orégano	9	9.25	2.27	20
Las Guásimas	11	8.10	2.07	11
Bahía Kino	11	7.80	1.34	17
La Joyita	10	8.66	1.45	17
La Primavera	12	9.45	3.90	13
Cráter MacDougal	11	10.5	2.26	19
Masiaca	13	6.83	1.04	31
Los Vidrios	12	9.63	3.59	19
Rancho Lobos	7	9.33	2.27	22
San Marcial	12	9.81	1.70	18
Sáric	7	12.00	4.70	15
Winkelman	10	9.88	2.77	16

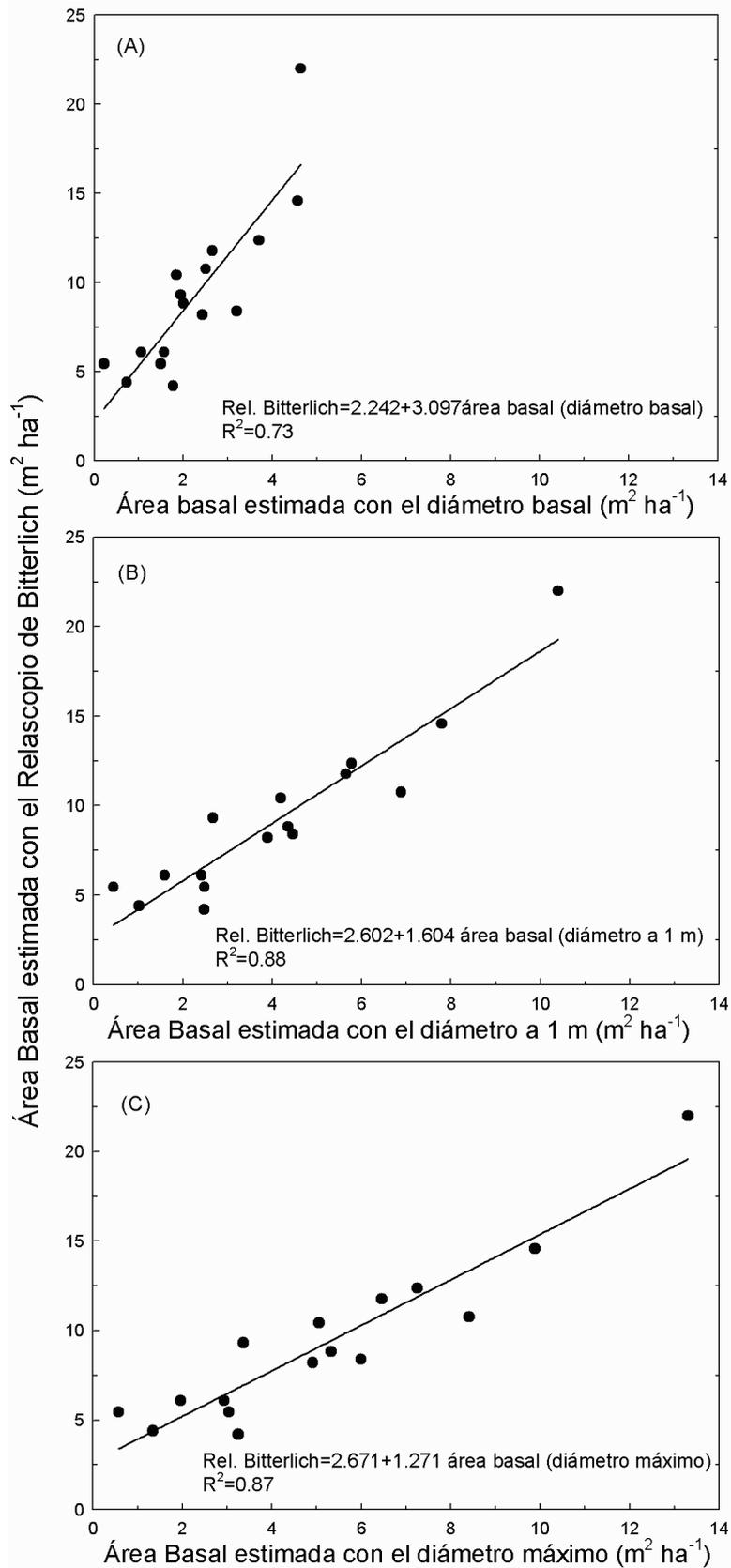


Figura 7.2. Relación del área basal en $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ estimada con el relascopeo de Bitterlich y el área basal calculada directamente usando el promedio de los diferentes diámetros de cada individuo en las 16 poblaciones de *Carnegiea gigantea* estudiadas.

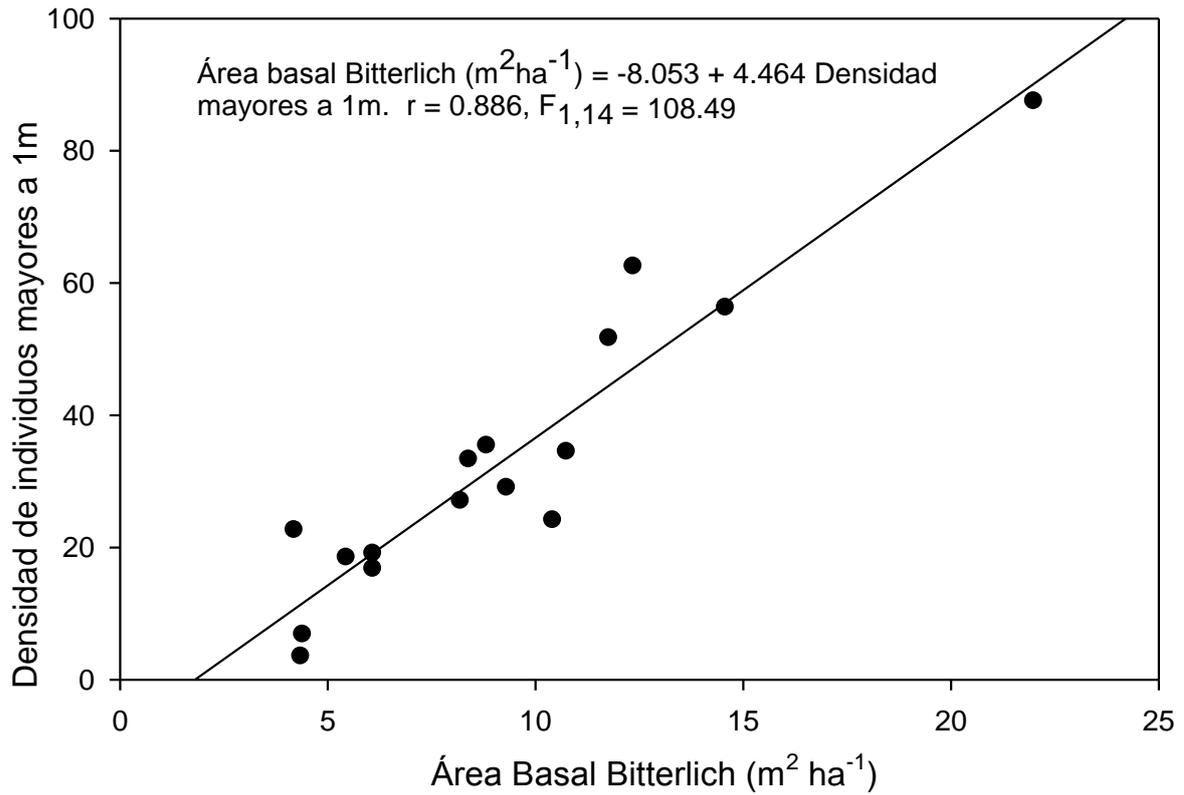


Figura 7.3. Relación entre la densidad poblacional de individuos mayores de un metro de altura y el área basal calculada con el relascopeo de Bitterlich en las 16 poblaciones de *Carnegia gigantea* estudiadas.

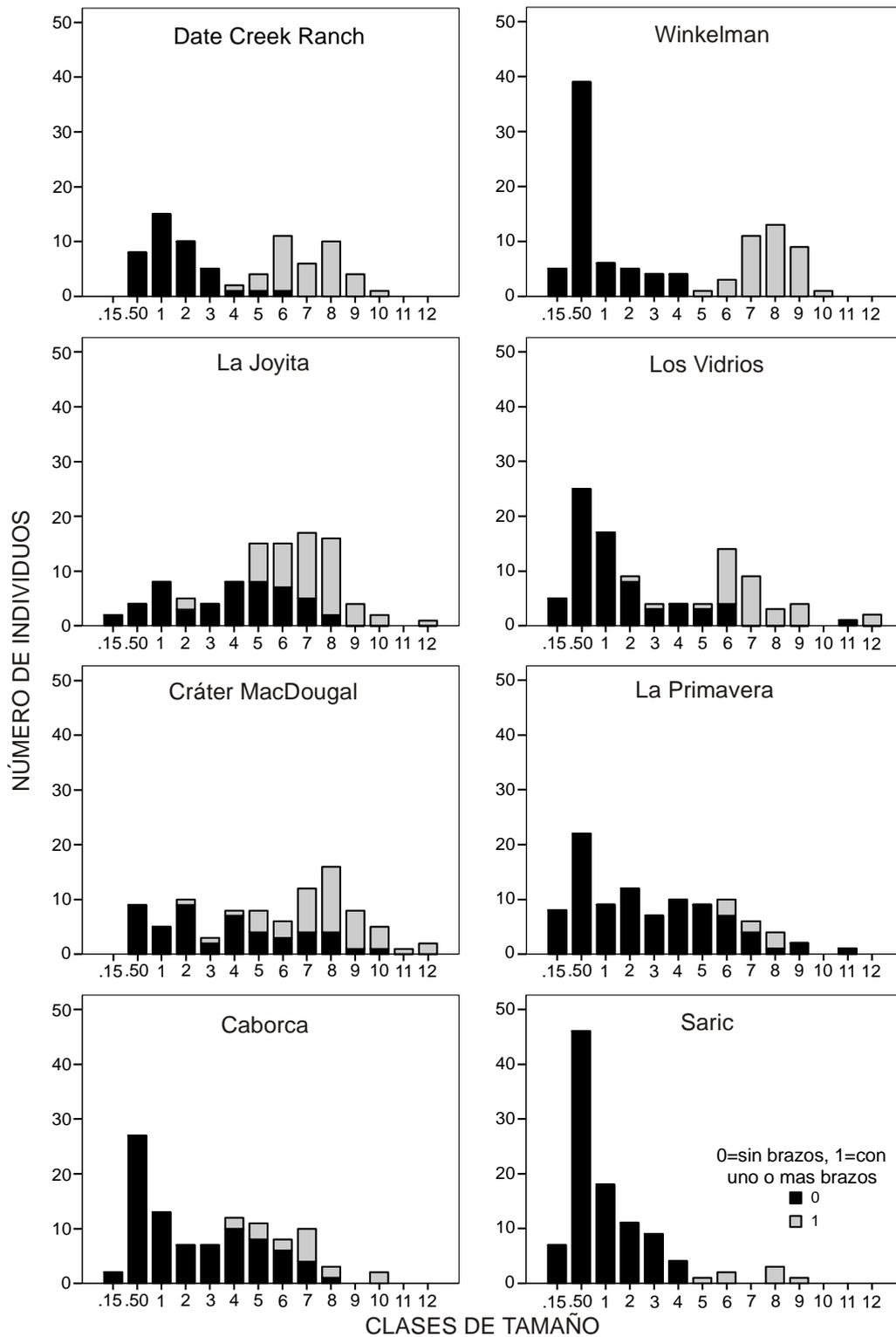


Figura 7.4. Distribución de alturas de los individuos de *Carnegiea gigantea* en las 16 poblaciones estudiadas. La porción en gris de cada barra muestra los individuos ramificados con un brazo o más. Clases de altura: .15 = 0-15 cm, .50 = 15-50 cm, 1 = 50 cm-1 m, 2 = 1-2 m, 3 = 2-3 m.....12 = 11-12 m.

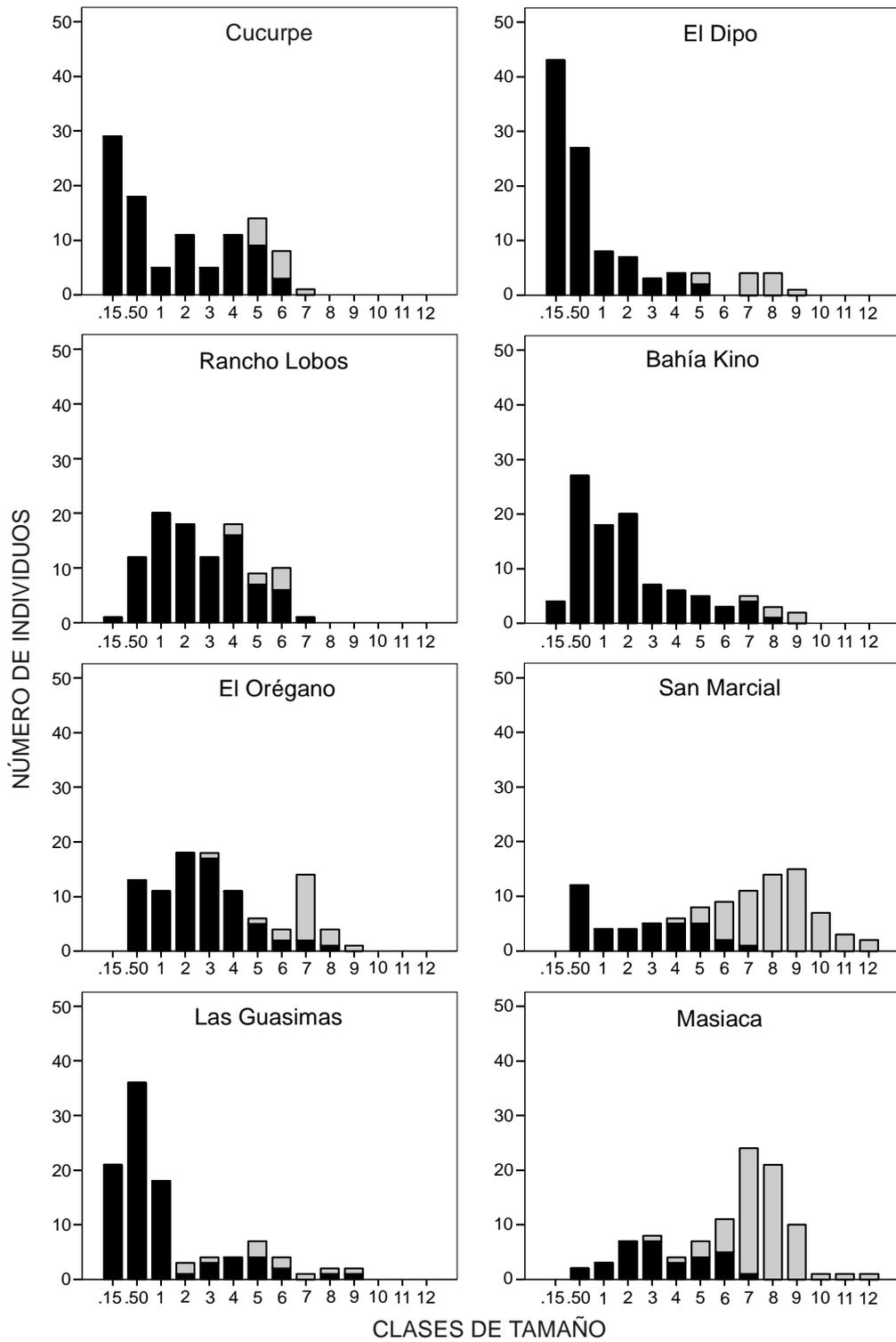


Figura 7.4. (Cont.). Distribución de alturas de los individuos de *Carnegia gigantea* en las 16 poblaciones estudiadas. La porción en gris de cada barra muestra los individuos ramificados con un brazo o más. Clases de altura: .15 = 0-15 cm, .50 = 15-50 cm, 1 = 50 cm-1 m, 2 = 1-2 m, 3 = 2-3 m.....12 = 11-12 m.

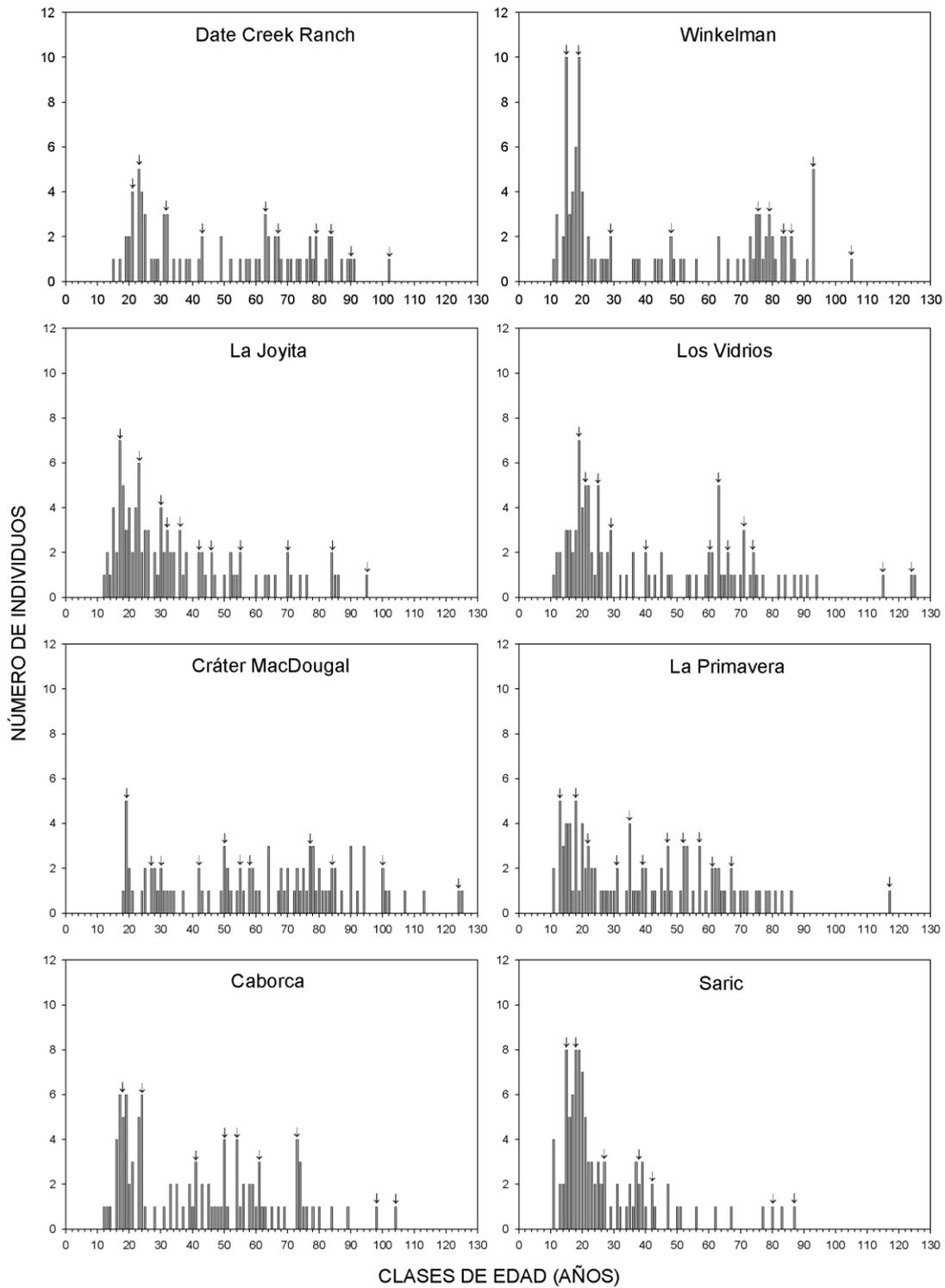


Figura 7.5. Distribución de edades en intervalos de 1 año de *Carnegiea gigantea* en las 16 poblaciones muestreadas en el ámbito de distribución de la especie. La porción en gris de cada barra muestra los individuos ramificados con un brazo o más.

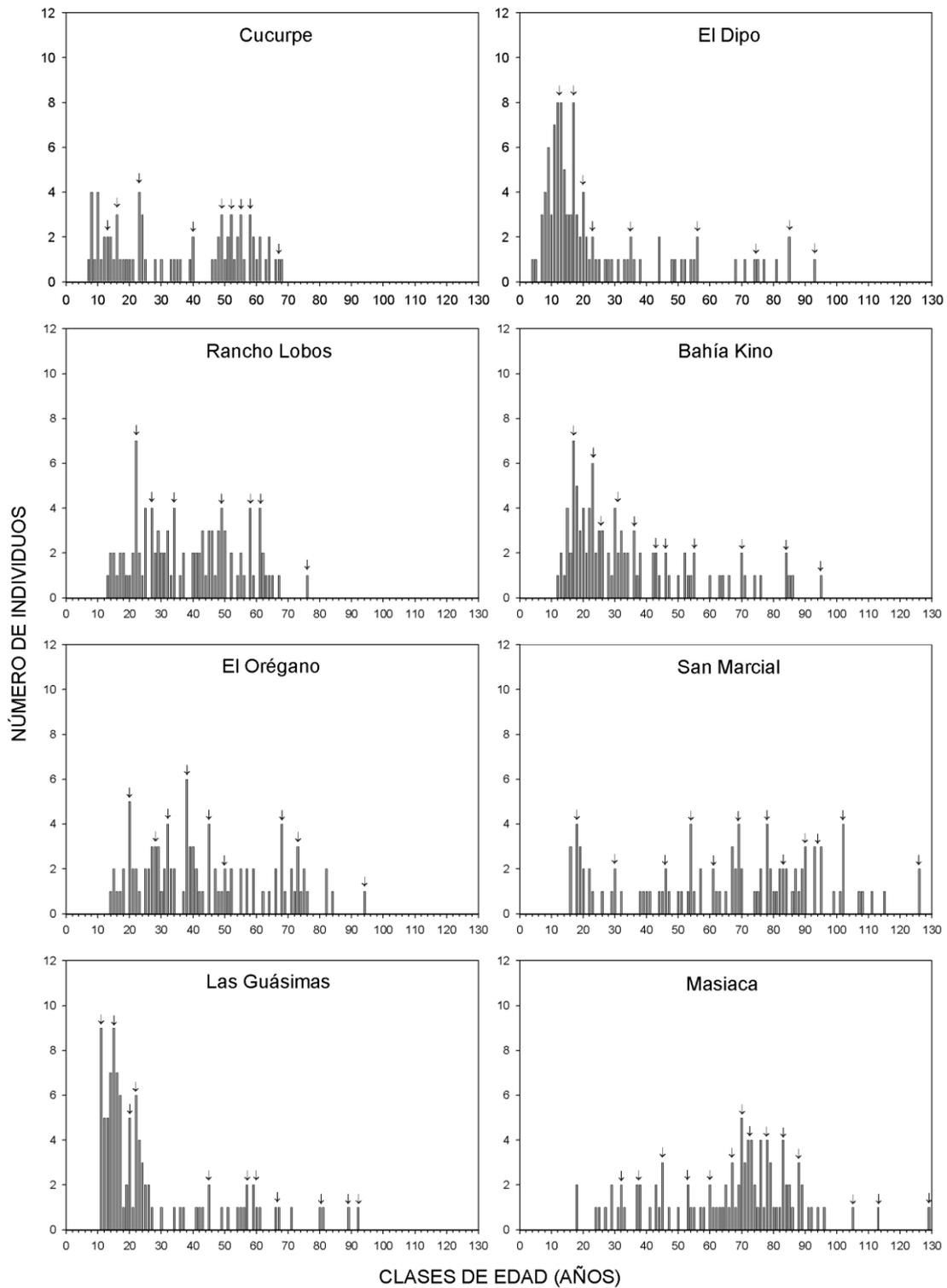


Figura 7.5. (Cont). Distribución de edades en intervalos de 1 año de *Carnegiea gigantea* en las 16 poblaciones muestreadas en el ámbito de distribución de la especie. La porción en gris de cada barra muestra los individuos ramificados con un brazo o más.

CAPÍTULO 8

DISCUSIÓN GENERAL: El telón de fondo ecológico

Los sahuaros son elementos clave de los ecosistemas del Desierto Sonorense pues proveen de recursos florales y frutos que mantienen una compleja red de interacciones que incluyen murciélagos, aves e insectos que hacen uso del néctar, polen y frutos como alimento (Steenberg y Lowe ,1977; Schmidt y Buchmann, 1986; Fleming, 1996, 2001; Wolf y Martínez, 2000). También sirven de refugio a muchos animales que hacen uso de su sombra y sus ramas para anidar (McAuliffe, 1998; Godínez-Alvarez y Valiente-Banuet, 2000; Godínez-Alvarez et al., 2002) y proveen a las comunidades humanas de recursos de subsistencia que complementan la dieta durante la época de fructificación y son esenciales en la provisión de materiales de construcción en áreas donde los recursos forestales son escasos (Pimienta Barrios y Nobel, 1995; Casas *et al.* 1997; Yetman y Van Devender 2002; Casas 2007; Yetman 2007).

También son importantes en términos económicos y representan una base importante en la cultura de los grupos indígenas del desierto, donde son y han sido utilizados de diferentes maneras, ya sea en juegos, en medicina, en construcción o como alimento (Bravo-Hollis, 1978; Felger y Moser, 1985; Yetman, 1998; Casas et al., 1999, 2001; Yetman y van Devender, 2002).

Distribución actual y predicciones de un modelo basado en GARP.

Independientemente de las ventajas competitivas de los sahuaros en los ambientes del desierto, en este caso particular, las ventajas en la generación de un modelo de distribución basado en GARP no residen en la delimitación del ámbito de distribución de la especie, sino en la exploración de los factores ambientales responsables (o que han determinado el camino evolutivo) de la distribución actual específica. Era de esperarse que la densidad del muestreo (casi 1000 puntos en toda su distribución) delimitara muy bien la distribución del sahuaro sin necesidad de la generalización de la distribución con un GARP (ver p. ej. Stockwell y Peters, 2002). Sin embargo, la generación de un modelo de distribución del sahuaro basado en GARP, además de destacar que los elementos bioclimáticos pueden delimitar bien la distribución, muestran que las temperaturas altas y la elevada radiación solar parecen ser elementos de suma importancia que definen los límites de su distribución muy precisamente; un tema que ha sido abordado por Nobel (1978, 1980) para explicar el éxito de las cactáceas en ambientes muy áridos, especialmente del sahuaro que parece estar restringido a los

sitios más cálidos por presentar temperaturas apicales y del tallo más bajas que especies de menor estatura como *Mammillaria* o *Ferocactus*. También, en este sentido la habilidad de los sahuaros (y otras cactáceas) para soportar la elevada irradiancia y altas temperaturas promedio, le confiere una ventaja competitiva en estos ambientes, y no necesariamente una dependencia de las bajas precipitaciones; un caso análogo a las asociaciones de pino-encino en bajas elevaciones de la Sierra Madre que persisten en las condiciones de suelos alterados como manchones dentro de la selva baja caducifolia no porque las plantas de selva baja no persistan en los suelos alterados, sino porque los pinos y encinos tienen una ventaja competitiva en este tipo de suelos (Goldberg, 1982).

El modelo de distribución, sugiere que una angosta región en Baja California Norte podría albergar poblaciones de sahuaro, sin embargo, no existe ningún registro que indique su presencia en esta zona y es muy probable que realmente no este presente en estos lugares. Su ausencia, podría ser indicadora de que no se dispersa a grandes distancias, o que existe algún otro factor que impide su presencia en éstas áreas. Es muy sugestiva la coincidencia entre la distribución de la alta radiación solar en México (Galindo et al., 1990) con la distribución de la mayoría de las especies de cactáceas columnares que están presentes en la península de Baja California, a lo largo de la costa del Pacífico y penetran en la cuenca del Río Balsas y la región del valle de Tehuacán-Cuicatlán (Valiente-Banuet et al. 1996, 2002). Este tema, sin duda requiere de mayor elaboración futura.

Es notable que no se haya encontrado relación en la modelación con GARP entre la distribución espacial de las poblaciones de sahuaro y los tipos de vegetación, un tema que se retoma en el capítulo 4 de este trabajo. La falta de relación se explica al analizar los sitios de muestreo que se caracterizan por presentar una relativamente baja diversidad alfa y una elevada diversidad beta, un rasgo notable del Desierto Sonorense que ha sido reconocido desde los trabajos de Shreve (1951). Las cinco especies acompañantes del saguaro son también especies de amplia distribución en el Desierto Sonorense, y al menos dos de ellas: *Parkinsonia microphylla* y *Olneya tesota* son importantes plantas nodrizas del desierto que probablemente están directamente asociadas con el reclutamiento de plántulas en casi todos los sitios de estudio (Steenberg y Lowe, 1977, 1983; Turner, Turner et al. 1995; Suzán et al., 1994; Búrquez y Quintana, 1994). Las otras especies incluyen dos cactáceas, una de ellas columnar

con requerimientos de regeneración similares a los del sahuaro (*Stenocereus thurberi*), una *Cylindropuntia* de amplia dispersión y la quinta especie el arbusto omnipresente en el desierto: *Encelia farinosa*. Las 120 especies restantes se distribuyeron en las poblaciones muestreadas con una predominancia de especies que ocurren en un sólo sitio, lo que genera la elevada diversidad beta. Estos resultados concuerdan estrechamente con los resultados obtenidos del modelo de distribución con GARP y sugieren una elevada diferenciación geográfica en vegetación que se muestra gráficamente en los histogramas que segregan cuatro tipos generales de comunidades vegetales donde están presentes los sahuaros: 1) comunidades en planicies y colinas pedregosas del NW de Sonora y SW de Arizona, 2) comunidades de planicies cercanas a la costa, 3) comunidades de los cerros pedregosos del norte de Sonora y sur de Arizona, y 4) comunidades en matorrales subtropicales. Este patrón de estructuración de la comunidad presenta con un componente geomorfológico evidente que ha sido explorado desde hace mucho tiempo (ver p. ej. los trabajos en Brown 1982) y que recientemente ha sido formalizado por Coblenz y Riitters, (2004) al asociar la diversidad y complejidad estructural de las comunidades del noroeste de México y sudoeste de los EUA con la heterogeneidad topográfica. Esta separación en grupos más o menos homogéneos sugiere oportunidades ambientales para la diferenciación en procesos ecosistémicos y muy probablemente para adaptación local de las poblaciones de sahuaro.

La estructura de la vegetación es extremadamente variada entre poblaciones y comprende diferentes expresiones del Desierto Sonorense y de las comunidades transicionales de matorrales espinosos que segregan a las poblaciones en varios grupos fitogeográficos. En términos de la asociación con las plantas nodriza, los sahuaros son muy liberales, aunque muestran claramente una preferencia por ciertas especies como *Parkinsonia microphylla*, *Prosopis* spp y *Olneya tesota*. Sin embargo en los sitios mas hacia el sur y al oeste aparentemente esta relación se debilita o es inexistente, mientras que en las poblaciones en los ambientes más xerofíticos, es sorprendente el papel de planta nodriza que desempeña *Larrea tridentata*; una especie que no se consideraba relevante, y aún deletérea para el reclutamiento de plántulas de sahuaro. En este sentido, los resultados apoyan la idea de que la relación no es especie-específica (Callaway 1998).

Variación en características morfométricas entre poblaciones: patrones ontogenéticos y de variación en los adultos.

El crecimiento alométrico es evidente para la mayoría de las características de tamaño. La relación entre altura y los diámetros es muy parecida a la reportada por Niklas y Buchman (1994). De hecho los valores para la población estudiada por estos autores en las Tucson Mountains, Arizona, representa un valor muy cercano a la mediana de las 16 poblaciones estudiadas en este trabajo. Sin embargo, no se encontró una buena concordancia con el trabajo de Niklas y Buchman (1994) al asociar la relación entre altura y diámetro basal ya que estos autores indican que las mediciones de diámetro basal no fueron realizadas en la porción propiamente basal de las plantas. Aunque se comprueba que la relación entre las características de tamaño es alométrica, positiva y altamente significativa para todas las poblaciones, el resultado más atractivo es la variación estadísticamente significativa en los exponentes alométricos entre poblaciones. Por ejemplo, en la relación altura-diámetro existe una clara segregación interpoblacional con un amplio rango de exponentes alométricos que indican formas de crecimiento muy distintas en diferentes ambientes: desde poblaciones con plantas que mantienen una forma muy cilíndrica durante su ontogenia, hasta plantas con la característica forma de clava que persiste hasta en individuos muy grandes. En otras palabras, es patente que existe diferenciación poblacional debida a plasticidad o a diferenciación genética entre poblaciones desde poblaciones con individuos muy delgados para una altura determinada, hasta poblaciones con individuos muy gruesos para esa misma estatura. Este mismo argumento se aplica para otras características como número de brazos, superficie de tallo y número de costillas. En este último caso, al analizar los patrones geográficos de los adultos, las características de costillas destacan por presentar fuertes correlaciones con la defensa (en términos de aréolas y espinas y con factores geográficos y/o ambientales (porque no se puede separar la colinearidad que existe entre estas variables. Este fenómeno sin duda tiene su explicación en las relaciones de superficie-volumen estudiadas por Mauseth (2000) quien mostró que la presencia de muchas costillas provee de una capacidad de almacenamiento de agua moderado sin incurrir en los costos de incrementar la proporción superficie/volumen. Esta relación se encuentra en las poblaciones del norte y del desierto. Un menor número de costillas más anchas, como las encontradas en las poblaciones del sureste (Masiaca y San Marcial por ejemplo) resulta adaptativa en

ambientes más mésicos pues incrementan mucho la capacidad de almacenamiento con el costo adicional de mayor superficie: este patrón confirma la tesis de Mauseth (2000). Estos patrones son claramente aparentes tanto en sentido latitudinal como longitudinal lo que sugiere que la precipitación veraniega es responsable de este patrón geográfico como lo evidencia la correlación negativa con la precipitación acumulada para marzo-octubre.

Variación en la Estructura poblacional

Existen sin duda enormes diferencias en el comportamiento poblacional que se derivan de las relaciones alométricas discutidas en el capítulo anterior. Por ejemplo, los años desde el último reclutamiento reflejan de manera fiel la morfometría de tamaño. Ambas deben de ser variables que están fuertemente asociadas con eventos climáticos. De igual manera el número de brazos varía entre poblaciones, los sitios con individuos pequeños, y poco ramificados sin duda deben de tener un potencial reproductivo menor que aquellos sitios dominados por individuos grandes muy ramificados como lo muestran Silvertown et al. (1993) para muchas perennes y Bustamante y Búrquez (manuscrito) para el pitayo (*Stenocereus thurberi*) que crece simpátricamente con los sahuaros.

A pesar de que se eligieron poblaciones con las mayores densidades posibles dentro del ámbito de distribución de la especie, se detectaron enormes diferencias en densidad. La densidad poblacional, conjuntamente con los patrones de distribución fuertemente agregados de los individuos y la baja densidad de individuos reproductivos es indicativa del precario equilibrio en el que se encuentran muchas de las poblaciones estudiadas. Como Silvertown et al. (1993) indican, este es un claro ejemplo de poblaciones por debajo de su límite de regeneración.

Es común en poblaciones de plantas de ambientes extremos la ausencia de distribuciones de tamaños y/o de edades que no se ajustan a una distribución estable, sino que representan una serie de eventos extraordinarios de reclutamiento denominados reclutamiento episódico (Búrquez y Quintana, 1994, Tewksbury y Lloyd, 2001, Miriti, 2007). Este fenómeno es aparente en todas las poblaciones de sahuaro estudiadas y parece estar asociado con eventos de lluvias, o periodos “pluviales” que han permitido el establecimiento de cohortes de individuos que permiten la persistencia de las poblaciones (Miriti et al. 2007). La frecuencia promedio de los eventos de reclutamiento varió notablemente entre poblaciones. La falta de correlación con alguno

de los factores del clima no invalida que la precipitación y la temperatura puedan ser los principales motores del reclutamiento como se sugiere desde los trabajos de Shreve (1914, 1917, 1931, 1934) ya que es probable que se requiere de una sucesión de varios años de buenas lluvias (“pluviales” sensu Miriri et al. 2007) en los sitios de muestreo para detectar un patrón de asociación. Este nivel de resolución a nivel de sitios es casi imposible con la red actual de meteorología como mostraron Comrie y Broyles (2003). Independientemente de la causalidad, lo destacable de este fenómeno es la escasez y la variancia en los eventos de reclutamiento que sin duda hacen que los sahuaros, como otras perennes del desierto estén sujetas a cambios en las trayectorias de reclutamiento. Por ejemplo, Gray et al. (2002) encontraron que una sequía erradicó casi completamente a *Juniperus osteosperma* que fue inmediatamente reemplazado por *Pinus edulis* al principio del Holoceno en el sudoeste americano.

Dada la existencia de procesos de reclutamiento episódico, la escasez de plántulas y juveniles en la mayoría de las poblaciones no es causa inmediata de preocupación. Sin embargo, los fenómenos de transformación del desierto por disturbo antrópico, principalmente por pastoreo y desmontes (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006) imponen una presión adicional sobre muchas de las poblaciones estudiadas.

Finalmente, la fuerte correlación encontrada entre la estimación del área basal y la densidad basada en el uso del relascopeo de Bitterlich, permite una evaluación rápida de las condiciones de una población. Esta herramienta, nueva y original, permitirá la evaluación *in extenso* del estado de las poblaciones.

CAPÍTULO 9

ENTREVISTAS Y TAMAÑOS MÍNIMOS APROVECHABLES

El estudio poblacional por si mismo no necesariamente da respuestas inmediatamente aplicables al comportamiento de una especie en condiciones naturales. De hecho, es difícil pensar en que el estudio de la ecología de una especie nos puede responder todas las preguntas respecto a su aprovechamiento. Como Daily (1997) expone, y luego Toledo (2006) retoma, no podemos escapar al contexto social y económico en la toma de decisiones sobre sustentabilidad y manejo de recursos naturales. Para ello debemos contemplar los usuarios de los recursos, su percepción y su impacto en las poblaciones naturales. Sobre este tema se cierra este estudio en los capítulos 9-11.

9.1. Percepción de la situación actual y pasada respecto a la cosecha y uso de varas de sahuaro

Se entrevistó a un número aproximado de 100 personas. Sin embargo, en muchos casos no hubo respuesta ni interés por lo que la muestra final fue de 39 entrevistas (Tabla 9.1, Figura 9.1). La composición muestral incluyó propietarios que explotan y comercializan la vara hasta su mercado final, y personas que conocen tangencialmente del comercio con varas. Dividiendo el estado de Sonora en regiones, la muestra incluyó 13 entrevistas en la porción noroeste, 8 en la porción norte-centro, 4 en la región sur del estado, y tres especialistas reconocidos por estar involucrados directamente con el estudio y manejo de poblaciones de sahuaro. Las personas que respondieron negativamente a las preguntas: 1) ¿Sabe usted qué es un sahuaro?, y 2) ¿Qué partes del sahuaro se cosechan? Se excluyeron de la muestra final por lo que el análisis se basa en 18 entrevistas de personas que brindaron información relevante respecto al uso, cosecha o transporte de las varas de sahuaro (Tabla 9.1). El principal problema en la obtención de entrevistas con personas que sabíamos estaban asociadas con el comercio o la transformación de las varas fue la reticencia a brindar información, esencialmente por el temor de ser sujetos de sanciones ya sea por recolectar, hacer

acopio, comercializar, o transformar las varas en otros productos. Esto se refuerza ante la respuesta a la pregunta 14 relacionada con la obtención de un permiso de colecta, ya que un 72% de los encuestados dijeron no haberlo tenido nunca.

Aún cuando hay muchos sahuaros en las cercanías y viven en ambientes rurales o suburbanos, más de la mitad dijeron no saber que las varas o los frutos se cosechan y poco más del 40% supieron que tanto los frutos como las varas son materiales que tradicionalmente se han aprovechado (Tabla 9.1, Figura 9.1. Algunas personas reconocen que las varas provienen de individuos muertos (89%), y que resulta muy importante para la población natural de sahuaros que así sea (72%), aunque una porción importante de la muestra dice saber que existe cosecha ilegal de varas. En este respecto, reconocen que existen diferencias entre varas provenientes de individuos muertos y vivos (74%),

el 61% de los entrevistados dice que la calidad de las varas de individuos vivos (o sea, recientemente muertos) es superior. Destaca que un 44% de los casos dicen saber que se han sacrificado plantas para realizar después un aprovechamiento de las varas.

Las plantas se seleccionan de acuerdo a su altura, eligiendo las plantas altas (78%), especialmente las mayores de 4 m de altura (89%). Estas varas son recolectadas por grupos de dos personas o menos (83%) recorriendo con más frecuencia distancias mayores de 1 km (66%). Las varas se colocan tanto en los mercados foráneos (48%) como en el entorno doméstico (35%). Los resultados corresponden bien con la aseveración de los entrevistados de que no venden las varas en un 44% de los casos y que las venden a mayoristas o comercializadoras en el 45% de las respuestas relacionadas con el tipo de comprador.

La frecuencia de recolecta generalmente no es mayor de una al año (esto es, una vez que un sitio se colecta, no vuelve a colectarse ese mismo año) y es realizada solamente por hombres, quienes afirman realizarla en cualquier época del año, dependiendo de la demanda. El destino de las varas recolectadas es en un 44% para el mercado nacional, un 22% para los mercados internacionales y un 33% para ambos destinos. Los compradores

Tabla 9.1. Respuestas al cuestionario sobre uso de vara de sahuaro derivadas de las entrevistas a 39 personas en el ámbito de distribución de esta especie.

CUESTIONARIO SAGUARO 2006-2007: Conabio ES008	Categoría de Respuestas					Porcentaje de la muestra (N=39 entrevistas)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1) Qué partes del saguaro se cosechan?	varas	frutos	ambos	No sabe		3	0	44	54	0
2) Se colectan individuos vivos, muertos o ambos?	vivos	muertos	ambos	No sabe		0	89	6	6	0
3) Qué tan importante es que las varas sean de individuos muertos?	Poco	mediano	muy import	No sabe		6	17	72	6	0
4) Efecto de colecta de individuos vivos en la persistencia de la población?	poco	mediano	mucho	No sabe		6	11	78	6	0
5) Existe alguna diferencia entre las varas colectadas de individuos vivos y muertos?	si	no		No sabe		74	11	0	16	0
5a) ¿Sabe de alguien que haya matado un saguaro para después aprovecharlo?	si	no		No sabe		44	33	0	22	0
5b) ¿Son esas varas de mejor calidad?	si	no		No sabe		61	6	0	33	0
6) ¿Cual de estas es mejor?	vivos	muertos	igual	No sabe		61	22	6	11	0
7) ¿Cómo se sabe que un saguaro es indicado para colectar?	altura	grosor	conservado	No sabe		78	0	11	11	0
8) ¿Cuál es el criterio de selección en términos de altura?	0-1m	1-2m	2-4m	4m+	No sabe	0	0	0	89	11
9) ¿Existen preferencias en la colecta de varas dependiendo de la altura de las plantas?	si	no		No sabe		78	0	0	22	0
10) ¿Cual es mejor?	altas	bajas		No sabe		61	17	6	17	0
11) ¿Qué fin reciben las varas colectadas?	uso domest	uso local	venta local	venta fuera	No sabe	35	9	4	48	4
12) ¿Cuanto se cosecha?	nada	poco	regular	mucho	= a demanda	28	22	17	22	11
14) ¿Ha tenido un permiso de colecta?	si	no		No sabe		28	61	0	0	11
15) ¿Qué distancia recorre durante la cosecha?	0-500m	500-1km	1-5km	5 o más	No sabe	0	11	22	33	33
16) ¿Cómo se realiza la cosecha? (Técnica) descripción										
17) ¿Colecta solo o en grupo?	solo	grupo		No sabe		56	22	0	22	0
18) ¿De cuantas personas son los grupos de colecta?	1-2	2-4	4-8	8 o más	No sabe	72	0	0	0	28
19) ¿La cosecha se realiza por ___?	hombres	mujeres	ambos	No sabe		83	0	6	11	0
20) ¿Quién es el recolector más eficiente?	Hombre	Mujer		No sabe		80	0	0	20	0
21) ¿Qué tan seguido colecta?	1 c/m	1 c6/m	1 p/año	+ 1 año	No sabe	6	0	0	78	17
22) ¿De que edad son los recolectores?	- 10 años	10-20 años	20-40 años	40+	cualquiera	0	0	0	17	83
23) ¿qué destino actual tienen las varas de saguaro que colecta: local o venta?	doméstico	venta	ambos	No sabe		33	33	28	6	0
23a) ¿Si las vende, a quien las vende?"	no vendo	a mayorista	comercializo	No sabe		44	28	17	0	11
23b) ¿El destino de las varas es nacional o internacional?	nacional	internac	ambos	No sabe		44	22	33	0	0
23c) ¿Pasan a su propiedad a recogerlas o ud las lleva?	pasan	pueblo	uso personal	No sabe		16	11	42	32	0
24) ¿Mes preferido para la cosecha? y/o en el que haya materia acumulada?	todo año	invierno	verano	No sabe		89	0	0	11	0
25a) ¿Cuánto le pagan por vara? (si son mazos, reducido al valor por vara)"	no vendo	1peso	1-5 pesos	5+	No sabe	50	6	11	17	17
25) ¿Existe un comercializador local?	si	no		No sabe		50	22	0	28	0
35) ¿Quién es el principal comprador de varas y producto de varas?	conocido	gte local	gte foránea	extranjeros	No sabe	4	26	17	13	39
37) ¿Ganancia neta por venta en en una temporada completa?	0-\$100	\$100-\$1000	\$1000-\$10,000	nada	No sabe	0	22	17	50	11
38) ¿Cuántas personas se dedican a la colecta?	1-2	2-4	4-8	8+	No sabe	11	0	11	28	50
39) ¿Hace cuanto tiempo se realiza la cosecha en la región?	1 año	1-5 años	5-10 años	10 años+	No sabe	0	0	6	78	17
41) ¿Es esta una actividad tradicional?	si	no		No sabe		61	39	0	0	0
42) ¿Como se realiza el traslado hacia los mercados regionales?	pasan	centro	las vendo	no vendo	No sabe	20	5	15	60	0
42a) ¿Cree que recolectar varas es una activada sustentable?	si	no		No sabe		100	0	0	0	0
42b) ¿Es necesario la colecta de saguaro para complementar la economia domestica?	si	no		No sabe		50	44	0	0	6
42c) ¿Hay tantos saguaros que no importa que los corten, cree us que se acaben?"	si	no		No sabe		72	22	0	0	6
42d) ¿Cree que deba haber una cuota de colecta?	si	no		No sabe		50	44	0	0	6
43) ¿La cuota de colecta debe de ser de ___ saguaros por recolector?	10	50	500	ilimitado	estudio	0	0	11	50	39
44) ¿Cuántas personas cree hayan colectado?	Ninguna	1	2-5	5+		28	17	0	50	6

son tanto personas de la localidad (30% de conocidos y personas locales) como de fuera de la región (30% nacionales foráneos y extranjeros), aunque es probable que mucha de la producción que no es de uso doméstico termine fuera de la región. Es razonable suponer que los precios para el mercado nacional varían entre \$1.00 y \$5.00 pesos mexicanos (17% de los casos) y que es mayor de \$5.00 pesos para el mercado internacional (17%), por lo que un sahuaro adulto puede valer, dependiendo del número de costillas, de \$15.00 a \$100.00 en el mercado nacional y en exceso de \$100.00 en el internacional. Al conjuntar estas cifras con las de la ganancia reportada por temporada (cuando venden), un 22% de los encuestados dice ganar entre \$1000.00 y \$10,000.00, esto es, el equivalente a 1000 a 10,000 varas en el mercado nacional al precio mas bajo (equivalente en el escenario más liberal de 70-700 sahuaros muertos), mientras que un 17% de los encuestados reporta ganancias por temporada en exceso de \$10,000.00 (mas de 700 sahuaros). A pesar de estas cifras, sólo la mitad de los entrevistados reconocen que la recolecta es importante para la economía familiar.

Treinta y nueve por ciento de las personas respondieron que conocen a más de 4 personas que recolectan varas, aunque un 50% dice no conocer a ninguna persona que se dedique a esta actividad. Existe también la percepción de que esta actividad se remonta a más de 10 años (78%) y que es una actividad tradicional (61%).

Es notable la preocupación porque la explotación y el uso de la tierra puedan acabar con el uso de los productos que ofrece el sahuaro. Asimismo, la percepción de que deben de existir cuotas de colecta se contradice con la colecta de un número ilimitado de piezas (50%) en una actividad que el 100% de los encuestados percibe como sustentable.

9.2. Determinación del tamaño mínimo de los individuos productores de varas comerciales

Con base en las entrevistas y la documentación de varas en venta, se determinó que el diámetro comercial de las varas de sahuaro aprovechables es de aproximadamente 2.5 cm (ver sección 9.1). Con esta información se estableció una metodología de medición

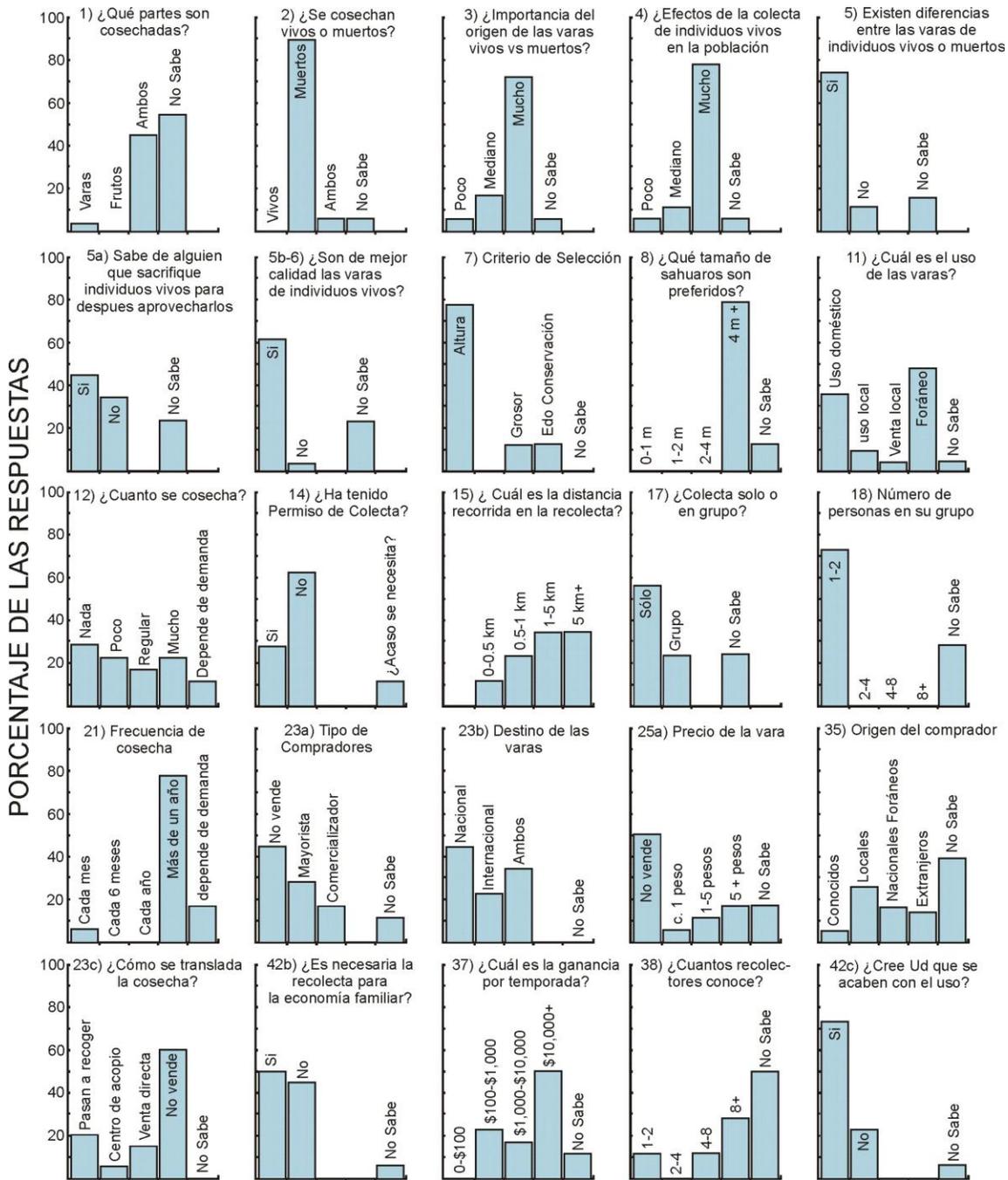


Figura 9.1. Porcentaje de cada tipo de respuesta al cuestionario sobre uso y venta de vara de sahuaro en el ámbito de su distribución en México. De un total de 39 entrevistas, se eligieron sólo aquellas que mostraron conocimiento sobre el uso de las varas como un recurso (N=18 en todos los histogramas, excepto en el primero donde N=39). El número en cada gráfico indica el número de pregunta en el cuestionario (ver Tabla 9.1).

del cambio en el diámetro de las varas con respecto a la altura de individuos muertos para establecer el tamaño mínimo aprovechable en términos comerciales. Para ello, se eligieron tres poblaciones ampliamente separadas geográficamente: 1) Masiaca, 2) Cucurpe, y 3) Caborca. Sin embargo, la dificultad para encontrar individuos muertos de todas las categorías de tamaño, en esta y otras poblaciones, obligó a tomar las muestras en un área que ha sido protegida de la colecta de vara por mucho tiempo. Para ello, se eligió la Reserva de la Biosfera de Organ Pipe Cactus National Monument localizada en la faja fronteriza con México y colindante con la Reserva de la Biosfera de El Pinacate y Gran Desierto de Altar; un lugar donde no existen registros de colecta, donde existe la más alta densidad de individuos muertos de todas las categorías de tamaño, donde es posible medir la altura de la planta a la edad de la muerte, y donde la colecta ilegal está firmemente vigilada.

Al graficar el cambio en el diámetro promedio de las costillas ($N=4$ costillas para cada intervalo de

un metro, en 30 individuos muertos de todas las categorías de tamaño con costillas con diámetro mayor a un cm) con respecto a la distancia del ápice (una medida de la altura del individuo, Figura 9.2), se aprecia una relación alométrica altamente significativa en la que el grosor de las costillas se incrementa como una potencia de la distancia del ápice de la planta (Figura 9.3). Al interpolar la distancia para obtener varas de al menos

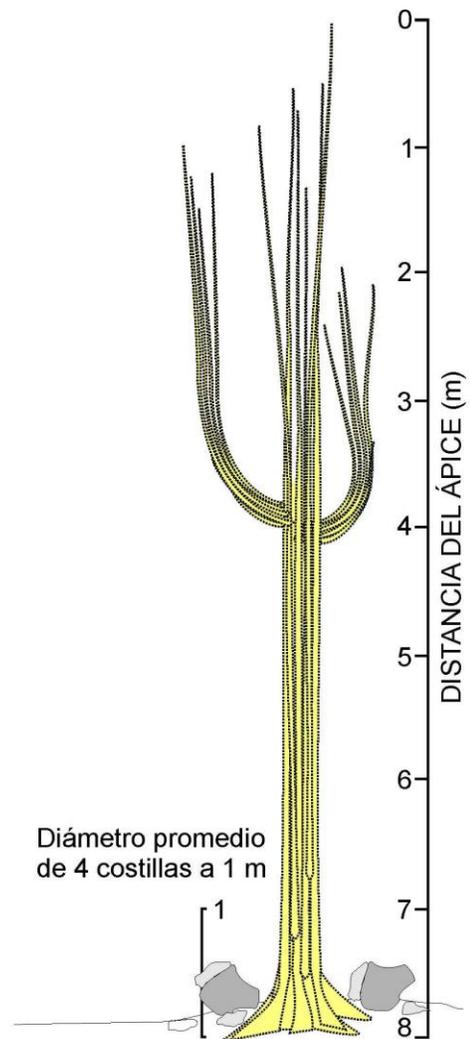


Figura 9.2. Diagrama esquemático de la medición del diámetro promedio de cuatro costillas cada metro desde el ápice y a un metro de altura en saguaros muertos en la reserva de la biosfera Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona.

2.5 cm de grosor se encuentra que sólo los individuos mayores de 6.5 m pueden producir varas comerciales.

Ya que en las entrevistas se mencionó que generalmente no se utilizan las varas planas de la base de los sahuaros, en una muestra independiente se correlacionó el diámetro promedio de 4 costillas a 1 m de altura con la altura total de cada uno de 301 individuos muertos de diferente tamaño. La interpolación indica que sólo los individuos de seis metros o más tienen costillas de 2.5 cm a 1 m de altura (Figura 9.4). Esta regresión, confirma que la estatura mínima para colectar individuos con varas aprovechables es de aproximadamente seis metros o mas.

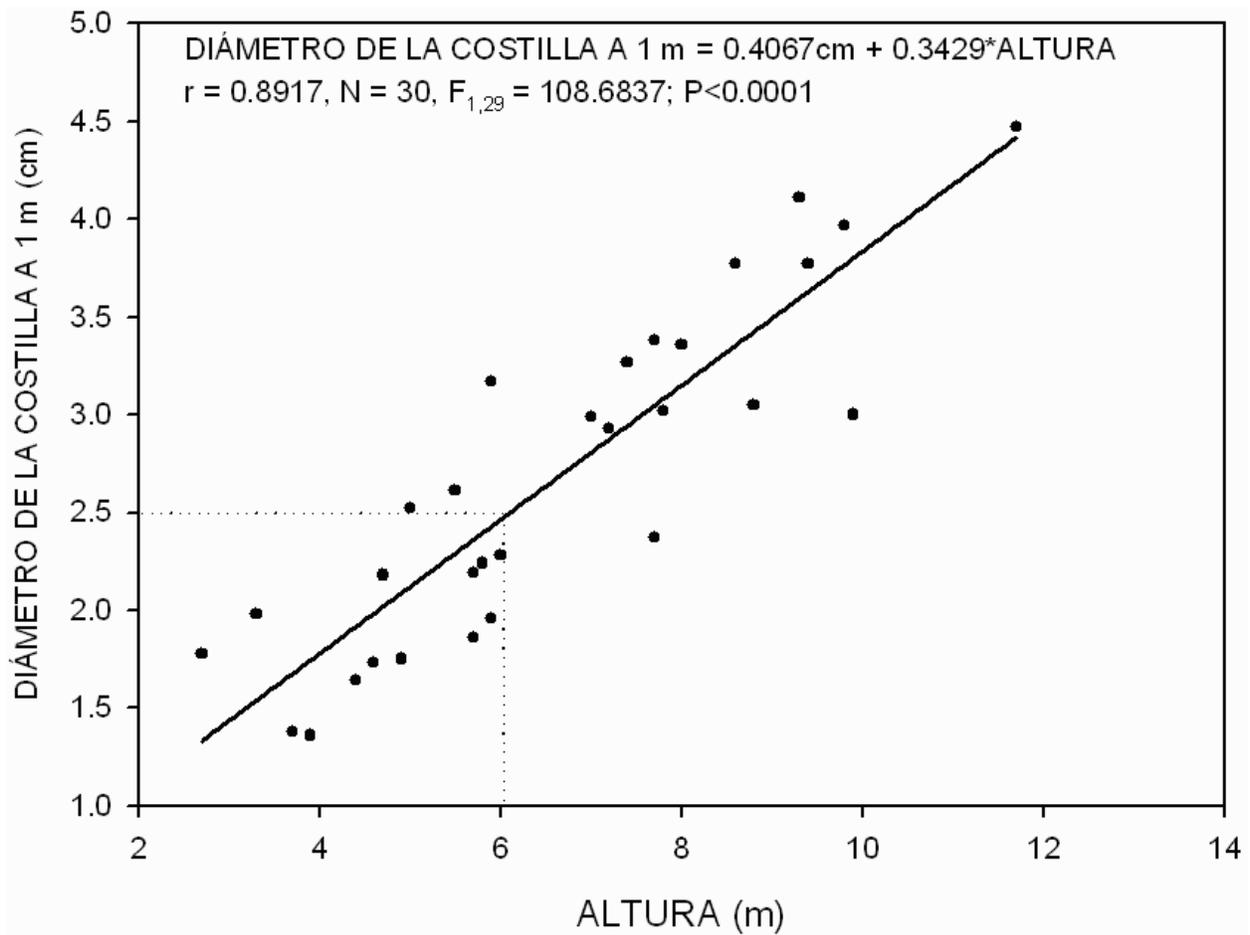


Figura 9.3. Relación entre el diámetro promedio de las costillas a un metro de altura del suelo en saguaros muertos de diferente tamaño. La línea punteada muestra que la altura mínima para obtener varas de 2.5 cm de diámetro promedio es de 6 m.

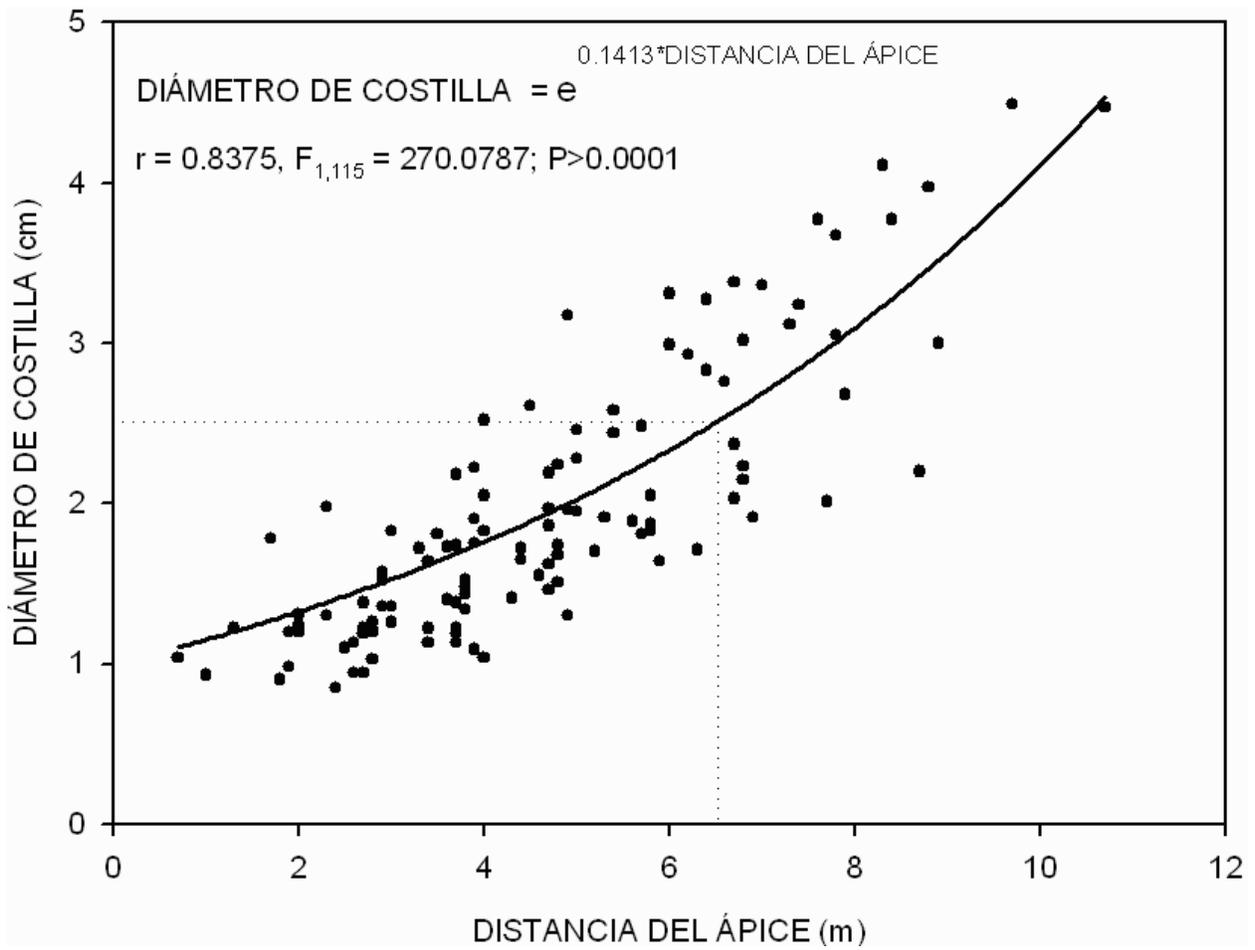


Figura 9.4. Relación entre el diámetro promedio de las costillas y la distancia del ápice en la cual se realiza la medición del diámetro (para 30 saguaros muertos de diferente tamaño). La línea punteada muestra la interpolación de la altura mínima para obtener varas de 2.5 cm de diámetro = 6.5 m.

CAPÍTULO 10

MODELACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PRESENTE Y FUTURA DE VARAS DE SAHUARO

Conjuntando la información ecológica y la percepción y realidad del uso de las varas de sahuaro se pueden crear escenarios futuros de uso de las varas de sahuaro. En este capítulo se explora los escenarios más conservadores respecto a la explotación de vara de sahuaro.

10.1. Densidad promedio de individuos vivos y muertos

A pesar de que el criterio de elección de los sitios de muestreo fue el de estudiar aquellas poblaciones con la mayor prominencia en términos de densidad (esto es, aquellas poblaciones que aparentemente presentan la mayor densidad de individuos de todas las clases de edad en un amplio entorno regional), la densidad promedio de individuos vivos y muertos fue extremadamente variable, desde poblaciones como El Dipo o Cucurpe con densidades de aproximadamente 200 ind ha^{-1} , hasta poblaciones relativamente poco densas como El Orégano y San Marcial con menos de 10 ind ha^{-1} (Tabla 10.1). La densidad de individuos muertos es mucho menor y también muy variable, desde prácticamente ninguno, hasta casi 12 ind ha^{-1} , y las proporciones entre la población viva y la de individuos muertos de cualquier edad es consecuentemente muy heterogénea, siendo en algunas poblaciones casi cero mientras que en otras los individuos muertos representan más de un tercio de la población de vivos (Tabla 10.1). El patrón de distribución para individuos vivos es generalmente agregado, mientras que para los muertos existen poblaciones que muestran un patrón de distribución agregado, otras aleatorio o en otras mas los individuos tienden a distribuirse en un patrón regular tal como lo indica el Coeficiente de Dispersión (cociente varianza/media, Tabla 10.1). La población de individuos vivos o muertos mayores de seis metros de estatura representa la población de individuos que actualmente pueden ser aprovechables (ver Cap. 8), ya sea por estar muertos, o porque en un futuro se aprovecharán cuando salgan de la población reproductiva por mortalidad natural. Al considerar solamente esta fracción de la población, es evidente la heterogeneidad en la densidad, desde

sitios con muy pocos individuos vivos mayores de 6 m, como en Rancho Lobos, hasta

Tabla 10.1. Densidad promedio \pm error estándar del promedio (EEM) de individuos vivos y muertos en cada una de las poblaciones estudiadas. Los coeficientes de dispersión (varianza/promedio, CD) indican el patrón de distribución de los individuos en cada una de las poblaciones, agregado (>1), aleatorio ($=1$) o regular (<1). La proporción densidad de individuos vivos/densidad de individuos muertos se muestra en la última columna. El número de unidades de muestreo de 20 x 20 m se muestra como N.

Población	N	Individuos vivos ha ⁻¹			Individuos muertos ha ⁻¹			Proporción muerto/vivo
		Promedio	EEM	CD	Promedio	EEM	CD	
Caborca	91	28.02	3.58	1.66	1.65	0.65	0.94	0.06
Cucurpe	14	182.14	49.13	7.42	5.36	2.85	0.85	0.03
Date Creek Ranch	49	38.78	5.93	1.77	2.04	0.99	0.94	0.05
El Dipo	12	218.75	50.39	5.57	2.08	2.08	1.00	0.01
El Orégano	534	4.68	0.88	3.54	0.28	0.13	1.32	0.06
Las Guásimas	28	91.07	15.23	2.85	11.61	4.36	1.83	0.13
Bahía Kino	37	67.57	10.06	2.22	5.41	1.97	1.06	0.08
La Joyita	114	22.15	3.05	1.91	6.36	1.28	1.17	0.29
La Primavera	24	104.17	18.35	3.10	5.21	2.12	0.83	0.05
Cráter MacDougal	68	34.19	5.16	2.12	11.76	2.54	1.49	0.34
Masiaca	105	24.05	3.33	1.94	1.90	0.73	1.19	0.08
Los Vidrios	73	34.59	4.07	1.40	9.25	2.04	1.31	0.27
Rancho Lobos	48	52.60	6.28	1.44	4.69	1.77	1.28	0.09
San Marcial	309	8.09	1.18	2.14	1.38	0.38	1.30	0.17
Sáric	15	170.00	36.20	4.63	3.33	2.27	0.93	0.02
Winkelman	39	64.74	9.03	1.97	5.13	2.09	1.33	0.08

Tabla 10.2. Densidad promedio \pm error estándar del promedio (EEM) de individuos vivos y muertos mayores de seis metros de estatura (i. e. de tallas aprovechables) en cada una de las poblaciones estudiadas. Los coeficientes de dispersión (varianza/promedio, CD) indican el patrón de distribución de los individuos en cada una de las poblaciones, agregado (>1), aleatorio ($=1$) o regular (<1). La proporción de la densidad de individuos muertos de seis metros o más/densidad de individuos vivos de seis metros o más/densidad, y la proporción de la densidad de individuos muertos de seis metros o más/densidad de individuos muertos totales en cada población se muestra en la última columna. El número de unidades de muestreo de 20 x 20 m se muestra como N.

Población	N	Individuos vivos ha ⁻¹			Individuos muertos ha ⁻¹			Proporción muerto/vivo	Proporción M 6 m/M totales
		Promedio	EEM	CD	Promedio	EEM	CD		
Caborca	91	4.40	1.33	1.47	0.00	0.00			
cucurpe	14	1.79	1.79	1.00	0.00	0.00			
Date Creek Ranch	49	10.71	2.63	1.26	1.02	0.71	0.98	0.10	0.50
El Dipo	12	18.75	1.49	0.52	0.00	0.00			
El Orégano	534	0.89	0.25	1.49	0.00	0.00			
Las Guásimas	28	4.46	2.89	2.10	0.89	0.89	1.00	0.20	0.08
Bahía Kino	37	6.76	2.50	1.37	0.68	0.68	1.00	0.10	0.13
La Joyita	114	8.77	1.65	1.41	1.54	0.64	1.24	0.18	0.24
La Primavera	24	12.50	3.98	1.22	1.04	1.04	1.00	0.08	0.20
Cráter MacDougal	68	16.18	3.04	1.56	3.68	1.31	1.27	0.23	0.31
Masiaca	105	13.81	2.06	1.29	0.71	0.41	0.98	0.05	0.37
Los Vidrios	73	6.51	1.47	0.96	3.08	0.98	0.89	0.47	0.33
Rancho Lobos	48	0.52	0.52	1.00	0.52	0.52	1.00	1.00	0.11
San Marcial	309	4.21	0.86	2.18	0.40	0.18	0.99	0.10	0.29
Sáric	15	6.67	3.83	1.32	0.00	0.00			
Winkelman	39	21.79	4.96	1.76	1.28	0.89	0.97	0.06	0.2

poblaciones con una elevadas densidad de grandes individuos como en Winkelman, El Dipo, y el Cráter MacDougal (Tabla 10.2).

La densidad de individuos muertos varía aún más dramáticamente, ya que en cinco poblaciones no se encontró ningún individuo muerto mayor de seis metros, en otras cuatro hay menos de uno individuo muerto ha^{-1} , y sólo en los sitios más protegidos hay mas de un individuo muerto ha^{-1} (Tabla 10.2). Al relacionar la densidad de individuos muertos mayores de seis metros con el grado de protección de cada población (calculado como un índice subjetivo de lejanía de centros poblacionales y protección oficial en una escala de 0-5) se observa una relación creciente de acumulación de individuos muertos conforme aumenta el grado de protección (Figura 10.1).

La distribución espacial de individuos mayores de seis metros, ya sea vivos o muertos, es muy variado, existen poblaciones que muestran un patrón de distribución agregado, otras aleatorio, y otras en donde los individuos tienden a distribuirse en un patrón regular (Tabla 10.2).

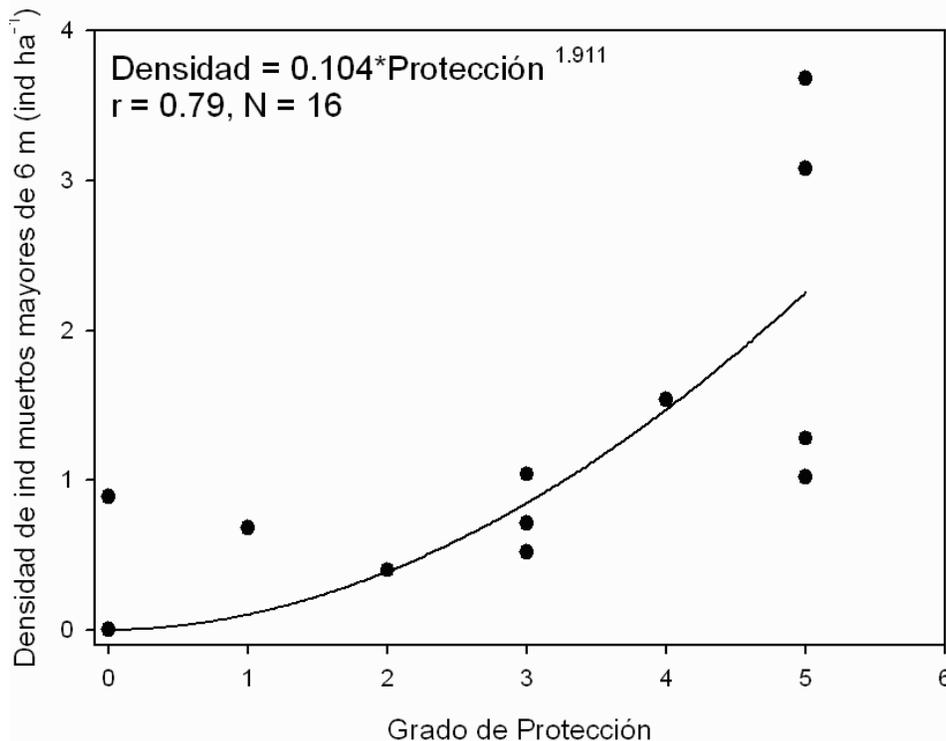


Figura 10.1. Relación entre la densidad de sahuaros muertos de mas de seis metros de altura y el grado de protección de los sitios (ver texto para escala de protección).

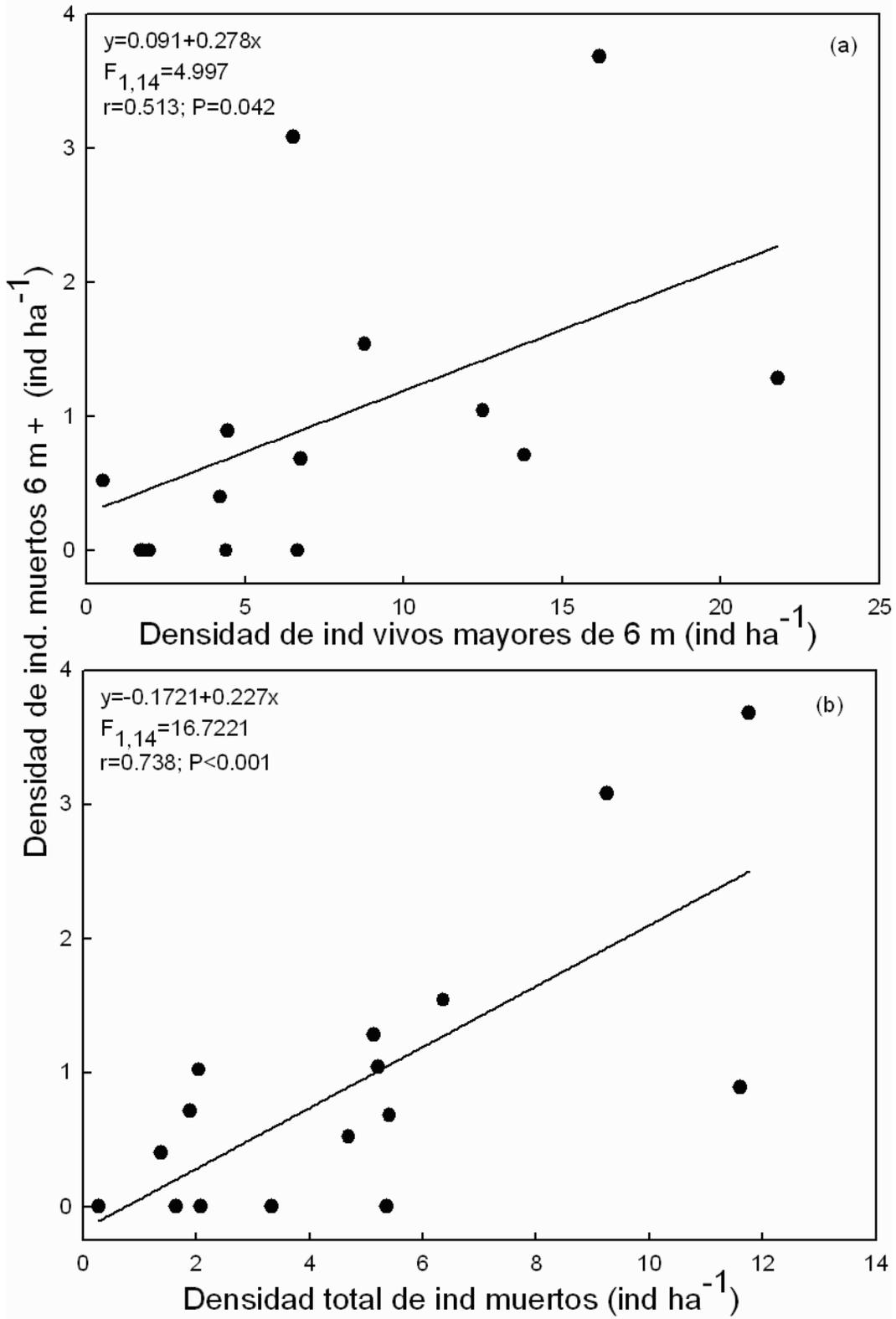


Figura 10.2. Relación entre la densidad de individuos muertos mayores de seis m de estatura y la densidad de individuos vivos mayores de seis m (a), y la densidad total de individuos muertos (b).

Al correlacionar las densidades de individuos vivos y muertos (densidad total y de seis o más metros), no se observó ninguna relación significativa, excepto una aparente relación de dependencia de la densidad de sahuaros muertos de seis metros o mas y la densidad total de individuos muertos ($r = 0.738$), y marginalmente con la densidad de individuos vivos mayores de 6 m ($r = 0.513$; Figura 10.2).

10.2. ¿Cuántas varas hay por hectárea en este momento?

Basado en la densidad de individuos muertos mayores de seis metros en cada población y calculando el número de costillas promedio a 1 y 2 m de altura en una selección de los 15 individuos vivos más grandes de cada población, se calculó el número de varas que cada sitio produciría si se colectara la totalidad de estos individuos (Tabla 10.3). Como se mencionó en el apartado anterior, algunas poblaciones no tienen individuos muertos, presumiblemente porque ya han sido removidos por los recolectores. En las poblaciones que presentan valores positivos de densidad de individuos grandes muertos, se utilizó la altura promedio como un indicador del factor de corrección para el número de varas que produce un individuo, por ejemplo, a un sahuaro entre 6 y 7 m de altura se le asignó un valor de 1 porque sólo produce un juego de varas de 1.83 m, uno de 7-8 m de altura produce uno y medio juegos de varas, etc. (ver Tabla 10.3). La variación en el número de varas por hectárea es muy grande; desde cero en los sitios más expuestos, hasta más de 100 varas en los más protegidos (Tabla 10.3).

Incorporando la información del Capítulo 7 de entrevistas y equivalencias, fue posible trasladar los valores reales de varas por hectárea, kg por hectárea, número de hectáreas necesarias para obtener un m^3 o un megagramo (= tonelada métrica) tanto en varas a granel o en varas en haces de 50 unidades, y el valor comercial de las varas por hectárea (Tabla 10.4). Es notable destacar que para aquellas poblaciones donde quedan varas cosechables, es necesario recorrer decenas de hectáreas para recolectar un m^3 de vara, en algunas casos, más de 100 hectáreas como en Rancho Lobos y San Marcial. Para obtener mil kg de vara en estas poblaciones se requiere en exceso de 300 ha. Contrastantemente, en valor comercial de la recolecta, una hectárea en cada población puede producir desde menos de \$10.00 (todos los valores en pesos

Tabla 10.3. Densidad de individuos muertos por hectárea, número de costillas promedio a 1 m y circa 2 m desde la base de la planta (N Costillas =15 individuos mas grandes de una población de 100), factor multiplicativo basado en la estatura de los individuos, y número de varas de sahuaro de talla comercial presentes en pie en cada una de las poblaciones estudiadas. EEM= Error estándar del promedio. N₁. = Número de cuadrantes de 20 x 20 m. N₂ = Número de individuos.

Población	Número de Ind ha ⁻¹			N Costillas		Altura			Factor Mult ^a	No de Varas ha ⁻¹	
	Promedio	EEM	N ₁	1 m	c. 2 m	Promedio	EEM	N ₂		min	max
Caborca	0.00	-	91	14.60	17.87	-	-	0	1.0	0	0
Cucurpe	0.00	-	14	15.80	18.93	-	-	0	1.0	0	0
Date Creek Ranch	1.02	0.71	49	19.07	22.58	785	85	0	1.5	29	35
El Dipo	0.00	-	12	16.27	19.07	-	-	2	1.0	0	0
El Orégano	0.00	-	534	15.6	19.50	-	-	0	1.0	0	0
Las Guásimas	0.89	0.89	28	15.73	19.07	618	-	1	1.0	14	17
Bahía Kino	0.68	0.68	37	16.73	20.40	670	-	1	1.0	11	14
La Joyita	1.54	0.64	114	16.27	21.43	822	54	7	2.0	50	66
La Primavera	1.04	1.04	24	14.87	17.93	676	19	1	1.0	15	19
Cráter MacDougal	3.68	1.31	68	16.53	21.67	745	29	10	1.5	91	120
Los Vidrios	3.08	0.97	73	15.20	18.64	747	82	9	1.5	70	86
Masiaca	0.71	0.41	105	15.93	19.08	807	59	3	1.5	17	20
Rancho Lobos	0.52	0.52	48	16.73	19.80	620	10	1	1.0	9	10
San Marcial	0.40	0.17	309	13.73	16.29	772	69	5	1.5	8	10
Sáric	0.00	-	15	16.87	20.43	-	-	0	1.0	0	0
Winkelman	1.28	0.89	39	15.87	19.60	755	55	2	1.5	30	38

^a Factor de corrección: sahuaros muertos de 6-7 m de altura=1, 7-8=1.5, 8-9=2, 9-10=2.5 (ver texto)

Tabla 10.4. Tabla de equivalencias en número, volumen, masa y valor económico promedio de varas comerciales en cada población estudiada. 1) Número de varas por hectárea (ver Tabla 10.3), 2) número de hectáreas necesarias para producir un metro cúbico de varas a granel, 3) número de hectáreas necesarias para producir un metro cúbico en haces de 50 varas, 4) kilogramos de vara por hectárea, 5) número de hectáreas necesarias para producir un Mg (1000 kg) de varas, 6-8) valor comercial por hectárea al costo de \$1.00, \$5.00 y \$14.20 por vara (en (8) al precio de venta de \$65.00 dólares/50 varas. Cotización de diciembre, 2007: \$10.92 pesos por dólar).

Población	1	2	3	4	5	Pesos ha ⁻¹		
	Varas ha ⁻¹	ha m ⁻³ a granel	ha m ⁻³ en haces	kg ha ⁻¹	ha Mg ⁻¹	@ \$1.00	@ \$5.00	@ \$14.20
Caborca	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Cucurpe	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Date Creek Ranch	32.0	31.79	28.84	9.94	100.60	31.86	159.31	452.44
El Dipo	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
El Orégano	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Las Guásimas	15.5	65.41	59.34	4.83	206.98	15.49	77.43	219.90
Bahía Kino	12.5	80.24	72.80	3.94	253.90	12.62	63.12	179.26
La Joyita	58.0	17.45	15.83	18.11	55.21	58.06	290.29	824.42
La Primavera	17.0	59.39	53.88	5.32	187.93	17.06	85.28	242.20
Cráter MacDougal	105.5	9.61	8.72	32.89	30.40	105.43	527.16	1497.13
Los Vidrios	78.0	12.96	11.76	24.39	41.00	78.17	390.85	1110.02
Masiaca	18.5	54.34	49.30	5.82	171.93	18.64	93.21	264.73
Rancho Lobos	9.5	106.66	96.76	2.96	337.48	9.50	47.49	134.87
San Marcial	9.0	112.48	102.04	2.81	355.91	9.01	45.03	127.89
Sáric	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00	0.00
Winckelman	34.0	29.75	26.99	10.62	94.13	34.05	170.26	483.53

mexicanos) ha^{-1} en las poblaciones con menor densidad de vara al valor reportado de \$1.00 por vara en el mercado nacional, hasta más de \$1000.00 en las poblaciones situadas en reservas o en los EUA donde esta especie tiene protección estatal y federal. Sin embargo, sólo en algunas poblaciones se justifica la recolecta con fines comerciales, aún al generoso valor de \$5.00 por vara que apenas cubre un poco más de un salario mínimo vigente en las mayoría de las poblaciones. Especialmente considerando que una vez realizada la colecta esa área queda desprovista de varas cosechables por largos periodos.

10.3. Escenarios futuros: proyecciones a 50 años

Una vez que se establece la curva que asocia crecimiento con edad y se conoce la sobrevivencia edad-específica, es posible calcular para cada población la expectativa de producción de individuos muertos cosechables, esto es, cuantos individuos salen, por mortalidad natural, de la población en un periodo determinado. Con este propósito se generó una matriz, que comenzando con la distribución actual de edades (t_0) y por iteraciones sucesivas que incorporan la sobrevivencia edad-específica, permitió estimar la nueva estructura de edades (t_{0+1} ; t_{0+2} , t_{0+3} ... t_{0+n}). Se limitó esta simulación a una proyección a 50 años ya que los fenómenos de reclutamiento, por su naturaleza puramente episódica, no pueden modelarse sin un mejor conocimiento de la periodicidad y la intensidad del reclutamiento. Además, a diferencia de la modelación determinística de la mortalidad, es necesaria la simulación de la probabilidad de reclutamiento en un año dado con variables estocásticas.

Un patrón que emerge del análisis de las proyecciones futuras de la estructura poblacional de adultos es que la estructura poblacional, y consecuentemente la cosecha de varas a futuro, es fuertemente dependiente de: 1) la abundancia absoluta de las clases de edades tempranas (relacionada con la densidad), 2) El ingreso de estas clases a la porción de la curva de sobrevivencia que se comporta como de tipo II después de los 60 años de edad, y 3) la frecuencia de eventos de reclutamiento (Ver Cap. 6 Figura 6.5). Así, en las poblaciones donde es frecuente el reclutamiento masivo y que presentan mayor número absoluto de individuos en las clases intermedias de

edad (como El Dipo, Ver Cap. 6 Figura 6.5), la expectativa futura de varas secas es más alta que en poblaciones con menos eventos de reclutamiento masivo y menor densidad. Con base en estas proyecciones, se calculó el número absoluto de individuos mayores de 6 m de estatura que salen de la población por mortalidad natural. Una forma de expresar la expectativa futura de varas es acumulando el número de individuos grandes que mueren en un periodo de diez años y estimando la contribución en varas que estos hacen (Figura 10.3).

Con la generación de estos escenarios futuros, resulta claro que algunas poblaciones como El Orégano y San Marcial presentan una expectativa futura muy pobre y por lo tanto poco redituable en términos de esfuerzo de recolección de vara. De manera contrastante, poblaciones como El Dipo, Cucurpe y La Primavera resultan poblaciones con elevada expectativa de producción de varas muertas, especialmente en el futuro mediato.

El elemento más destacable en la simulación de producción de varas en cada una de las poblaciones estudiadas, es la oportunidad que brinda la comparación del cambio en el valor absoluto de la mortalidad entre periodos sucesivos para evaluar las presiones humanas sobre la estructura poblacional, especialmente respecto a la extracción de individuos vivos de la población para su presumible aprovechamiento. Al analizar las proyecciones, se aprecia una patente constancia o decrecimiento en la expectativa de individuos muertos en aquellas poblaciones en las que se tiene certeza que no ha habido recolección por estar sujetas a protección, por estar muy alejadas de las zonas de recolecta, o simplemente porque no existe la tradición ni la necesidad local de recolección. Tal es el caso de El Dipo, El Orégano, San Marcial, Las Guásimas, Masiaca, Date Creek Ranch, Winkelman, La Joyita, Los Vidrios, Cráter MacDougal y Caborca. Comparativamente, en las poblaciones donde se sabe que existe una intensa presión de recolecta hay una clara tendencia a que el valor absoluto de mortalidad se incremente de manera notable conforme transcurre el tiempo. Este fenómeno, presente en las poblaciones de Rancho Lobos, Cucurpe, Bahía Kino, La Primavera y Sáric, sugiere que ha existido un fuerte aprovechamiento de individuos vivos.

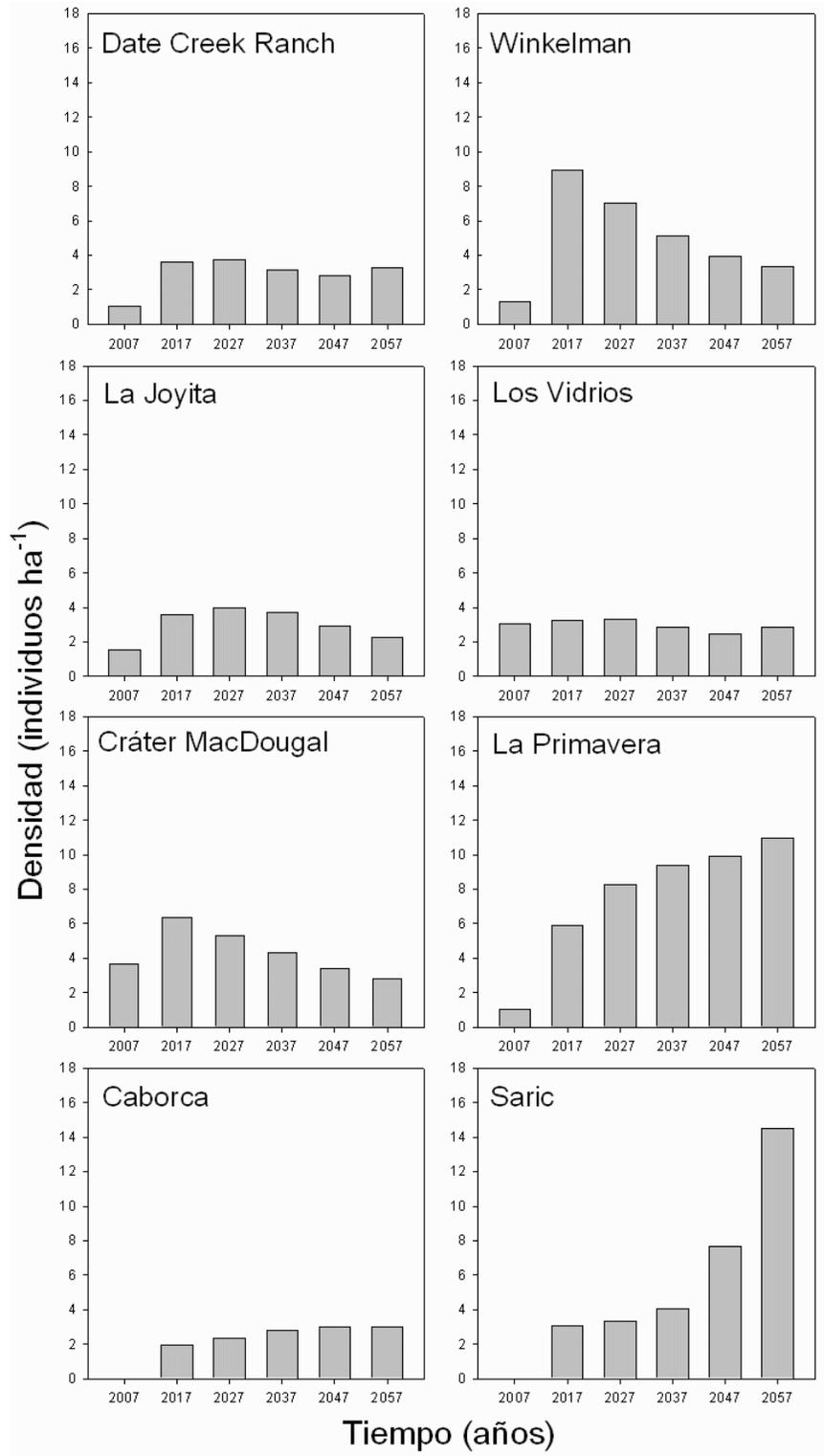


Figura 10.3. Simulación de la producción de varas actual (2007) y esperada en los próximos 50 años en periodos de 10 años en cada uno de los sitios estudiados. La producción se expresa como número de individuos que mueren naturalmente en las categorías de tamaño de seis metros o mas.

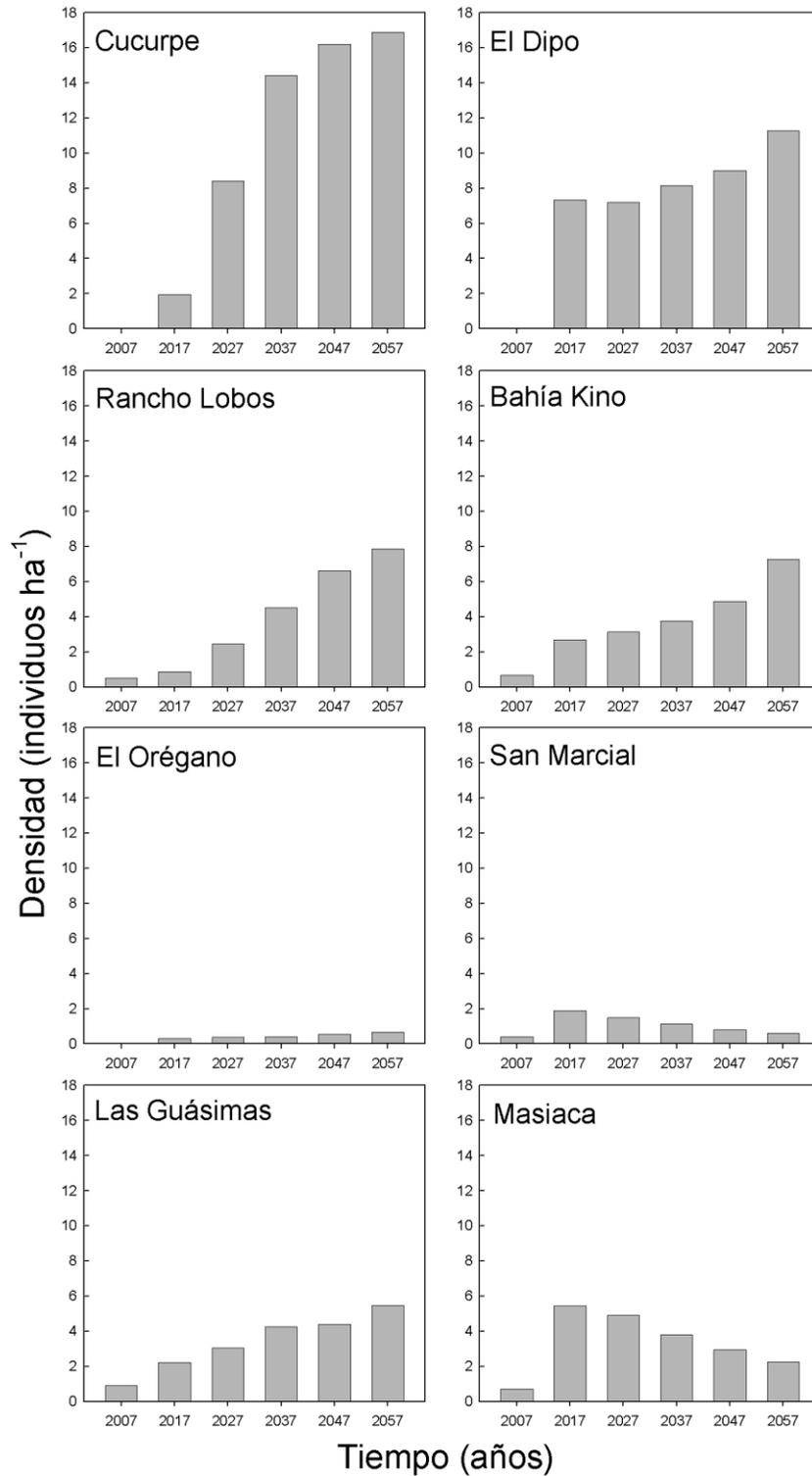


Figura 10.3 (continuación). Simulación de la producción de varas actual (2007) y esperada en los próximos 50 años en periodos de 10 años en cada uno de los sitios estudiados. La producción se expresa como número de individuos que mueren naturalmente en las categorías de tamaño de seis metros o más.

CAPÍTULO 11

INTEGRANDO EL CONTEXTO ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE VARAS DE SAHUARO

11.1. Características de las varas de sahuaro: equivalencias de número, masa y volumen

11.1.1. Metodología

Para hacer una tabla comparativa de equivalencias en número, masa y volumen de las costillas aprovechadas se colectaron costillas reconocidas por los recolectores como de talla comercial (aproximadamente de 2.5 cm de diámetro) en individuos de las poblaciones de Bahía Kino (n=14), Cucurpe (n=20) y de una población hacia el noreste de Puerto Peñasco (Ejido Juan Álvarez, Sonora, 31° 13' 30"N, 112° 44' 40"W, 235m, n=20). En estas se midieron dos diámetros perpendiculares (diámetro mayor y menor) con un vernier. En estas mismas costillas se midió el área seccional aproximando los dos diámetros a una elipse. Una muestra de 12 cm de longitud de cada costilla, secada en un horno a 70°C durante 48 horas y posteriormente pesada en una balanza hasta centésimas de gramo (Ohaus E-400, Pine Brook, New Jersey), permitió calcular la densidad de la madera.

Con costillas provenientes de estas poblaciones se armaron haces de 50 varas. Estos haces se digitalizaron en un escaner y con la imagen resultante se estimó el área seccional, incluyendo el espacio ocupado por las varas y el espacio vacío con una resolución de 0.16 mm² por pixel. Conjuntamente con los datos de masa y volumen, se estimó el empaque posible y las equivalencias entre varas, madera en rollo, volumen y masa de cada haz y grupos de haces.

11.1.2. Resultados

Las varas determinadas como aprovechables en las tres poblaciones estudiadas no presentaron diferencias significativas en ninguna de las características métricas de tamaño, densidad, masa, y volumen (Tabla 11.1). Los diámetros promedio son cercanos al tamaño citado por los vendedores como el más común (de aproximadamente una pulgada = 2.54-2.65 cm). El área seccional de cada vara es de aproximadamente 4 cm². Ya que las varas presentan una densidad de la madera

relativamente baja, comparable con la de maderas suaves (Simpson y TenWolde 1999), la masa por cm de vara es también baja (Ver http://www.simetric.co.uk/si_wood.htm) con un promedio de 1.7 g cm^{-1} de vara (Tabla 11.1), por lo que una vara comercial de 1.83 m pesa aproximadamente 312 g y un haz comercial de 50 varas 15.6 kg (Tabla 11.2), ambos en condiciones anhidras. Considerando el rango de temperatura y humedad relativa a las que están sujetas las varas, el valor de masa y volumen puede incrementarse aproximadamente un 5% al equilibrarse la madera con la humedad atmosférica (ver Tabla 3.4 en Simpson y TenWolde, 1999).

Tabla 11.1. Diámetro mayor y menor (d1, d2; cm), área transversal (cm^2), densidad de la madera, masa en gramos por centímetro lineal de vara y volumen por centímetro de vara en varas de talla comercial de tres poblaciones de saguaro ampliamente separadas geográficamente. Ya que no existen diferencias significativas entre grupos para ninguna de las variables (ver cuadro anexo de anovas), se presenta el promedio general.

Población	d1	d2	Área sección	Densidad de la madera	Masa por cm	Volumen por cm
Cucurpe N=20	2.75 0.10	2.43 0.12	4.0656 0.1240	0.4238 0.0180	1.7593 0.1210	4.0656 0.1240
Bahía Kino N=14	2.45 0.12	2.53 0.21	3.9130 0.1730	0.3708 0.0179	1.4824 0.1232	3.9130 0.1730
Puerto Peñasco N=20	2.70 0.11	2.66 0.18	4.2078 0.1680	0.4212 0.0162	1.8061 0.1293	4.2078 0.1680
Promedio Total N=54	2.65 0.06	2.54 0.10	4.0787 0.0891	0.4091 0.0104	1.7048 0.0739	4.0787 0.0891

		Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	F	Sig.
d1 * pobl	Entre Grupos	0.768	2	0.384	1.848	0.168
	Dentro Grupos	10.592	51	0.208		
	Total	11.360	53			
d2 * pobl	Entre Grupos	0.534	2	0.267	0.525	0.595
	Dentro Grupos	25.939	51	0.509		
	Total	26.473	53			
area * pobl	Entre Grupos	0.721	2	0.361	0.836	0.439
	Dentro Grupos	22.009	51	0.432		
	Total	22.731	53			
dens * pobl	Entre Grupos	0.028	2	0.014	2.519	0.090
	Dentro Grupos	0.281	51	0.006		
	Total	0.309	53			
masa_cm * pobl	Entre Grupos	0.957	2	0.479	1.663	0.200
	Dentro Grupos	14.676	51	0.288		
	Total	15.633	53			
vol_cm * pobl	Entre Grupos	0.721	2	0.361	0.836	0.439
	Dentro Grupos	22.009	51	0.432		
	Total	22.731	53			

En un grupo de varas empacadas a granel, se determinó el volumen midiendo las áreas de intersección de varas y el espacio vacío para los equivalentes de varas de un metro de longitud apiladas en una sección de 1 m² (Tabla 11.2). En esta situación, aproximadamente el 75% del espacio está representado por las varas, y el resto (25%) representa el espacio vacío entre las varas (en cuatro mediciones el porcentaje fue: 73, 77, 74, 75; Figura 11.1) por lo que en una sección de 1 m² pueden empaketarse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Varas m}^{-2} = (10,000 \text{ cm}^2 / \text{área de sección promedio } 4.0787 \text{ cm}^2) * 0.7475 = 1853 \text{ varas m}^{-2}$$

Ya que las varas comerciales miden 183 cm, ajustando para un m³ se obtiene el equivalente en varas m⁻³:

$$1853 \text{ varas} / 1.83 \text{ m} = 1013 \text{ equivalentes de varas m}^{-3}$$

Estas relaciones siguen el comportamiento de empaque de polígonos descritos por Williams (1979). Dada la heterogeneidad en la forma de las varas, el empaquetado difiere mucho del óptimo para polígonos regulares (por ejemplo, el óptimo es una red de círculos idénticos empacados en una matriz hexagonal que ofrece una densidad de aproximadamente 0.9069:1).

Tabla 11.2. Equivalencias de número de varas de 183 cm de longitud, su volumen y masa en unidades de varas, metros cúbicos y masa en kg.

Unidad	Número	Volumen	Masa (kg)
Vara de 183 cm	1 vara	746.40 cm ³	0.31198
Haz de 50 varas (74.75% varas)	50 varas	46,743 cm ³	15.6
Varas a granel m ⁻³	1013 varas	1 m ³	316
Varas en haces (de 50 varas) m ⁻³	919 varas	1 m ³	287
Varas a granel	3205 varas	3.16 m ³	1000
Varas en haces (68.6% varas)	64.14 haces	3.49 m ³	1000

Más comúnmente, las varas se transportan en haces. Los haces miden entre 20 y 24 cm de diámetro (20, 21, 22, 24; X=22 cm; Figura 11.1). En este arreglo, al empacar los haces en una sección transversal de un m², un 68.6% del espacio está ocupado por las varas, un 18.6% es espacio vacío entre los haces y el 12.8% restante representa el

espacio vacío entre las varas. Por lo tanto, siguiendo los cálculos anteriores, en una sección de un m^2 es posible empaquetar:

$Varas\ m^{-2} = (10,000\ cm^2 / \text{área de sección promedio } 4.0787\ cm^2) * 0.6859 = 1682\ varas\ m^{-2}$
ajustando para un m^3

$$1682\ varas / 1.83\ m = 919\ equivalentes\ de\ varas\ m^{-3}$$

Por extensión, en un m^3 se empacan en promedio el equivalente de 18.4 haces de 50 varas ligeramente irregulares que incrementan la proporción de espacio vacío respecto a un empaque óptimo de polígonos regulares.

La masa total de varas en un m^3 a granel es en promedio:

$$1013\ equivalentes\ de\ varas\ m^{-3} * 0.31198\ kg\ vara^{-1} = 316\ kg$$

y empaquetadas en haces de 50 varas:

$$919\ equivalentes\ de\ varas\ m^{-3} * 0.31198\ kg\ vara^{-1} = 286.7\ kg$$

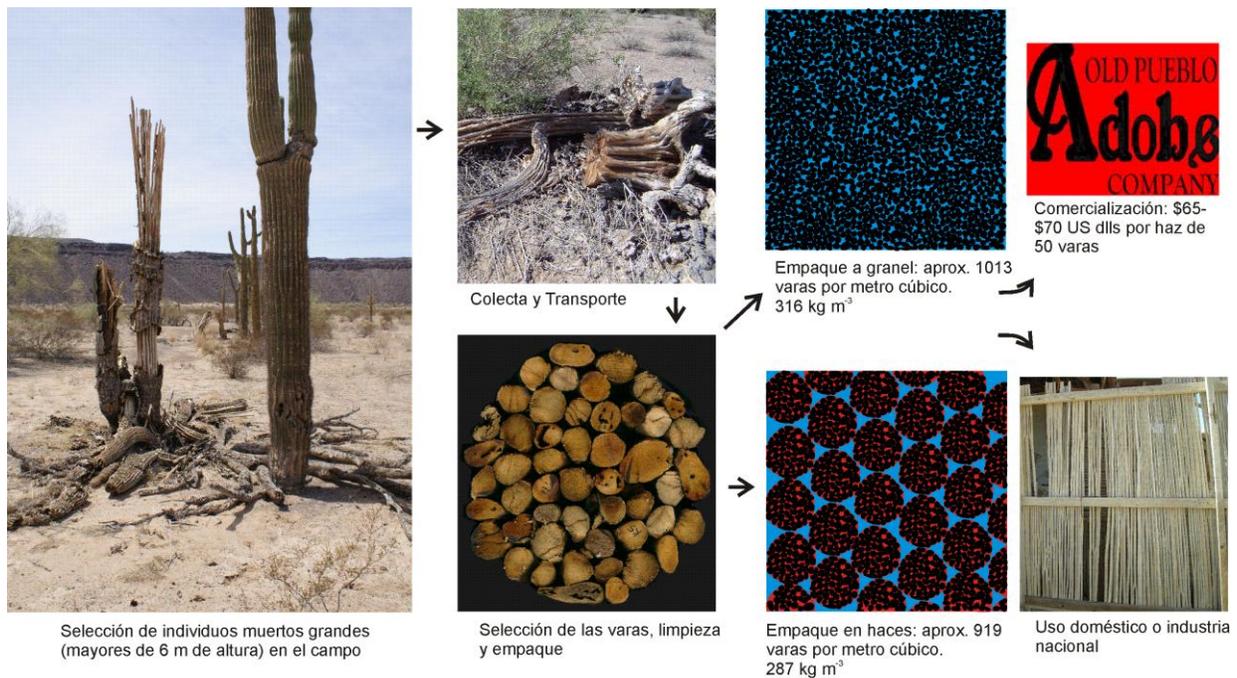


Figura 11.1. Proceso de aprovechamiento de las varas de sahuaro, desde su colecta y selección, hasta la comercialización.

11.2. Comportamiento histórico del comercio y la explotación legal e ilegal de varas de sahuaro

La demanda a nivel nacional e internacional de madera de cactáceas para usos decorativos en el estilo sudoeste (“southweste style”) ha conducido a un incremento notable en el tráfico fronterizo, legal e ilegal, de estos productos (Floyd, 1998). Antes de los años 90s, no existía una regulación oficial en México y poca vigilancia en los Estados Unidos de América respecto al comercio de especies protegidas por CITES (Convención Internacional de Comercio de Especies en Peligro de Flora y Fauna Silvestre). Es hasta 1991 que se legisla la adhesión de México al Convenio (Diario Oficial de la Federación 24 de junio de 1991), y en 1994 que se registran los primeros permisos para la exportación de madera de cactáceas, específicamente para varas de sahuaro hacia los EUA –el principal mercado de este producto (Robbins, 2003).

11.2.1. El comercio ilegal

Los reportes de comercio ilegal de plantas vivas y productos de sahuaro reportados por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) son relativamente pequeñas. Incluyen algunos individuos vivos, o decenas o cuando mucho cientos de varas que se pretenden introducir en los EUA sin el permiso correspondiente, o artesanías elaboradas con vara de sahuaro comprados por los turistas que carecen de información sobre el control que el convenio CITES ejerce sobre estos productos. En total representan una fracción menor del 1% del comercio total reportado (estadísticas reportadas en la base de datos del Programa Ambiental de las Naciones Unidas-World Conservation Monitoring Centre). Es relevante, sin embargo, considerar que se menciona repetidamente el comercio ilegal transfronterizo que es muy difícil de cuantificar y documentar. Por ejemplo, se dice repetidamente en las entrevistas realizadas en el noroeste de Sonora que existe un comercio ilegal en el que se trasladan las varas a través de la frontera evitando los puntos de revisión fronteriza y que una vez en los EUA, alguien recoge el producto y lo comercializa en el mercado norteamericano.

En numerosos casos, los individuos encuestados mencionaron que se realiza recolecta sin contar con los permisos correspondientes, tanto para uso doméstico como para cumplir con pedidos especiales para surtir a un comprador específico. Al igual que el comercio ilegal transfronterizo es muy difícil de cuantificar y documentar la cantidad de varas que se comercian de esta forma, que sin embargo, muy probablemente representan una explotación ilegal que debe de situarse en las decenas o cientos de miles de varas anuales destinadas a propósitos decorativos en casas habitación, que según los encuestados, son generalmente de personas de origen estadounidense.

11.2.2. El comercio legal y las contradicciones entre los datos de comercio reportados por diferentes agencias

El comercio legal autorizado y reportado por las agencias nacionales (Dirección General de Vida Silvestre (DGVS-INE-SEMARNAT, México), y por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) indica un comercio substancial en varas de sahuaro desde 1994 hasta la fecha (Figura 11.2). Sin embargo, existen profundas diferencias en el volumen de comercio en las estadísticas reportadas por cada una de estas agencias, tanto al nivel interno, por los permisos de recolecta y las autorizaciones CITES-México, como por los volúmenes recibidos por las autoridades en los EUA.

La DGVS muestra que para el periodo 1994-2007 se autorizaron en promedio de 94,936 varas de sahuaro anuales, mientras que el centro UNEP-WCMC reporta un comercio de 60,380 varas anuales con permisos expedidos por la autoridad CITES-México para el periodo 1994-2005 y de 148,381 varas recibidas en los EUA en el mismo periodo. Estas discrepancias en el comercio son evidentes en la Figura 11.2. La diferencia entre las autorizaciones de la DGVS y la autoridad CITES-México pueden explicarse porque parte de la recolecta no recibe autorización para exportación y se dedica al consumo nacional. Sin embargo, con base en los resultados de las entrevistas puede concluirse que una fracción muy pequeña o nula de las autorizaciones se queda en nuestro país. De hecho, es evidente que además de las autorizaciones legales existe un enorme mercado subterráneo de vara de sahuaro como lo atestiguan las

numerosas consultas de los entrevistados que afirman no contar con permisos de colecta aduciendo la dificultad de obtenerlos para realizar los aprovechamientos.

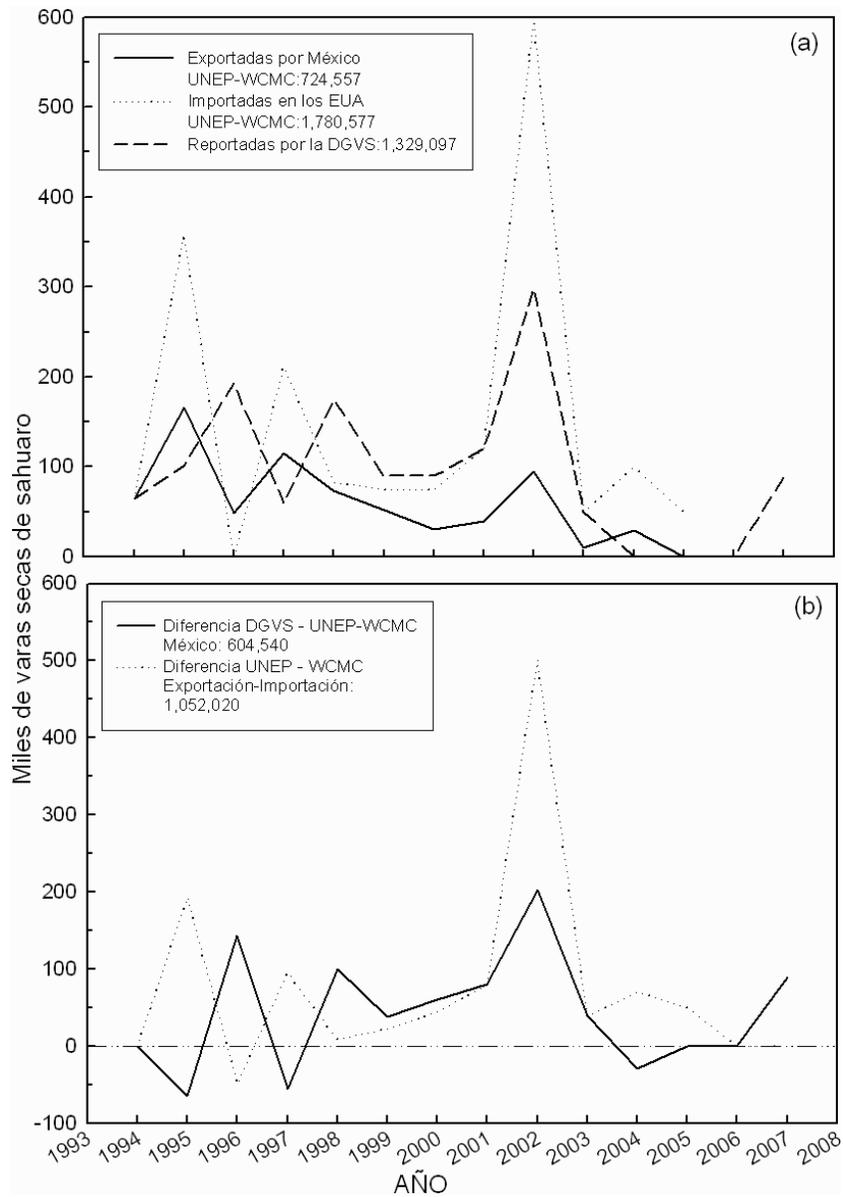


Figura 11.2. Comportamiento anual en el comercio de vara de sahuaro. (a) De acuerdo con la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS-INE-SEMARNAT) y al programa Ambiental de las Naciones Unidas-World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC). (b) Diferencia en la cantidad de varas reportada entre agencias. La línea cero en (b) indica el punto de equilibrio.

La notable diferencia en el comercio reportado por las autoridades mexicanas y norteamericanas sólo puede explicarse por una falta de verificación de los embarques

autorizados en México y el abuso de los exportadores que, aprovechando esta situación, han aparentemente excedido las cantidades permitidas exportando casi el doble de la cantidad autorizada. El cambio temporal en la diferencia indica que en todos los años, con la excepción de 1996, se ha excedido la cuota autorizada. Destaca el año 2002 en el que el comercio legal autorizado y también el exceso de vara no autorizado alcanzó un máximo. Aún considerando las discrepancias debidas a que puede realizarse una autorización un año y su comercialización hasta el siguiente año (Anónimo UNEP-WCMC. 2004), los reportes de embarques en la frontera amparados por permisos emitidos en México consistentemente han sido menores que los registros reportados por las agencias norteamericanas a UNEP-WCMC.

Tal como se detectó a través del proceso de entrevistas, sólo unas cuantas personas (5 de acuerdo con la autoridad CITES-México) han recibido autorizaciones para realizar aprovechamientos. Una de estas personas es responsable de la mayoría de los permisos. Esta información refuerza la percepción generalizada de que existen centros de acopio donde se concentra la recolecta comprada a precios relativamente bajos para que una vez obtenidos los permisos se realice la exportación a los EUA. Es relevante destacar que las recientes revisiones aprobadas en los Estados Unidos de América respecto a CITES (Federal Register, 2007) ponen un candado a las exportaciones y re-exportaciones de plantas y animales incluidos en CITES, ya que en la validación 23 se estipula que una autoridad de inspección deberá validar la documentación CITES confirmando que las cantidades sean congruentes entre la autorización asentada en el documento CITES y el embarque. En esta revisión, se indica además que el cargamento se puede detener o confiscar cuando existan problemas de validación (United States Fish and Wildlife Service, 2007).

11.2.3. ¿Cuántas hectáreas de sahúarales de alta densidad se requerirían para satisfacer la cuota de exportación 1994-2005?

Al trasladar la cantidad de varas comercializadas para las cuales existe registro (la suma de varas exportadas de 1994-2005) al equivalente en hectáreas en cada uno de los sitios estudiados de acuerdo a la información en los capítulos precedentes, emergen patrones insospechados. Por ejemplo, a pesar de que todas las poblaciones

muestreadas presentan densidades muy altas de individuos vivos, en algunas de estas poblaciones la densidad de sahuaros muertos de tallas comerciales es tan baja que resulta indetectable en el muestreo y por lo tanto no puede contribuir al comercio actual de varas. En el escenario en el que todas las poblaciones fueran como alguna de estas poblaciones, para cosechar la cantidad que se ha exportado a los EUA en el periodo de registro, se necesitan superficies del orden de cientos de miles de hectáreas; superficies quizá mayores que las que ocupa esta especie en México (Tabla 11.3). En otras poblaciones, localizadas en tierras privadas, ejidales, la superficie necesaria con alta densidad de sahuaros muertos es muy variable, desde 86 mil en Winkelman, Arizona hasta casi 300 mil en San Marcial. Finalmente, y tal como se espera, el área necesaria para lograr la cantidad de varas exportada entre 1994-2005 es mucho menor en zonas sujetas a protección. Tal es el caso de las poblaciones en la reserva de la biosfera de El Pinacate y Gran Desierto de Altar, especialmente, el cráter MacDougal donde se requiere casi diez veces menos área para cosechar el mismo número de varas (Tabla 11.3). Estas poblaciones, sin duda representan la condición natural sin el disturbio humano causado por la recolecta.

Tabla 11.3. Área total necesaria en cada una de las poblaciones estudiadas para cosechar el equivalente en varas exportado de México a los EUA de acuerdo a UNEP-WMCM entre 1994-2005 (con individuos muertos aprovechables) considerando la densidad de individuos muertos de más de 6 m con 17 varas de 1.83 m de longitud c/u.

	Hectáreas
No de varas 1994-2005	1,869,557
No de saguaros	109,974
Caborca	Cientos de miles de ha
Cucurpe	Cientos de miles de ha
Date Creek	107,818
El Dipo	Cientos de miles de ha
El Orégano	Cientos de miles de ha
Las Guásimas	123,566
Bahía Kino	161,726
La Joyita	71,878
La Primavera	105,744
Cráter MacDougal	29,884
Los Vidrios	35,706

Masiaca	154,893
Rancho Lobos	211,488
San Marcial	274935
Sáric	Cientos de miles de ha
Winkelman	85,917

CAPÍTULO 12

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La distribución potencial del sahuaro parece estar determinada por factores climáticos entre los que se cuentan temperaturas mínimas invernales, la precipitación veraniega y la irradiancia.
- 2.- Existe una gran variación en las características morfológicas de tamaño, forma, espinescencia y rasgos de costillas entre poblaciones. Estas diferencias, estadísticamente significativas, no sólo se presentan en las características de los adultos reproductivos sino que son evidentes en los patrones de desarrollo ontogenético.
- 3.- Con la excepción de las características de número y forma de las costillas, no se encontraron patrones geográficos o climáticos consistentes en los rasgos morfológicos. La variación en el número y forma de las costillas parece obedecer a la asociación entre las relaciones superficie-volumen y la economía de agua.
- 4.- Las poblaciones en los ambientes más húmedos parecen crecer más rápido que aquellas en ambientes más áridos.
- 5.- Aún cuando el criterio de selección de las poblaciones fue la elevada densidad aparente y la prominencia, existe una enorme variación en las densidades poblacionales en las 16 poblaciones estudiadas: desde 5 hasta más de 200 ind ha⁻¹.
- 6.- La distribución de clases de tamaño y/o edad, no sigue en ninguna población una estructura estable. El reclutamiento tiene una clara componente episódica con numerosos picos.
- 7.- La frecuencia de reclutamiento es sumamente variable: desde menos de 6, hasta más de 12 años en promedio entre los eventos de reclutamiento.
- 8.- No se encontró el agente causal que dispara el reclutamiento masivo, aunque es muy probable que sean periodos de lluvias altas y constantes durante el verano, o durante varios veranos sucesivos.

9.- Es posible predecir el área basal, así como la densidad de individuos adultos en un sitio utilizando un relascopeo de Bitterlich. Esta herramienta se sugiere como complemento a las mediciones de densidad (tanto de plantas vivas como muertas) para el manejo y utilización del sahuaro.

10.- Se encontró que el tamaño mínimo de las plantas que pueden producir varas comerciales es de aproximadamente 6 m: un tamaño ausente en algunas poblaciones y muy escaso en el resto de las poblaciones estudiadas.

11.- La densidad de plantas muertas es aún menor, y de estas sólo una pequeñísima fracción califica para la cosecha.

12.- En algunas regiones, principalmente en el noroeste de Sonora, se detectó un importante tráfico clandestino de madera de sahuaro, tanto para uso local, como de exportación. La evidencia es tripartita: derivada de las entrevistas, derivada de la evidencia de plantas “cinchadas”, y derivada de un abrupto cambio en la estructura poblacional.

13.- El valor de las varas, especialmente en el mercado internacional es de más de \$50 dólares norteamericanos por mazo de 50 varas de 1,83 m de longitud.

14.- En la mayoría de los sitios estudiados, sólo con excepción de aquellos sumamente apartados e inaccesibles, prácticamente no se encontraron individuos muertos. En algunas poblaciones, como en Rancho Lobos (donde se han otorgado permisos de colecta en el pasado), se encontró evidencia directa de cosecha de individuos vivos ya que se detectaron individuos cinchados. En otras poblaciones, como Cucurpe, Sáric, La Primavera y el mismo Rancho Lobos, se detectó un marcado déficit de individuos grandes que sugiere cosecha de individuos vivos.

15.- Basándose en las proyecciones de acumulación de varas de saguaro cada 10 años, hasta el año 2050, se detectó que en las poblaciones sin disturbio la tasa se mantiene más o menos constante. En poblaciones sujetas a extracción este resultado es variable, con algunas poblaciones incrementando en forma constante el número de varas disponibles, mientras que en otras se mantiene constante o disminuye

16.- Aunque en general existe una correlación entre el volumen autorizado y el registrado por las autoridades CITES, en todos los años, con la excepción de 1996, se ha excedido la cuota autorizada. Si las cifras de comercio “legal” indican un exceso es

razonable deducir que el comercio ilegal debe de ser al menos una vez mayor. Esto explica porque no se encontraron varas secas en casi ninguna población.

17.- La cantidad de varas comercializadas para las cuales existe registro (la suma de varas exportadas de 1994-2005) al equivalente en hectáreas en cada uno de los sitios estudiados representa la colecta de todas las varas en casi todas las poblaciones. El área total colectada estimada (1.9 millones de ha) probablemente excede la superficie total de los rodales de sahuaro de densidad mediana y alta en su distribución en México.

18.-Dada la presión que ejerce la cosecha clandestina, la lenta tasa de ingreso de individuos cosechables por mortalidad, la escasez de individuos grandes porque las poblaciones presentan curvas de sobrevivencia tipo III y la sugerente diferenciación en ecotipos locales, se recomienda mantener a esta especie protegida en el Apéndice II de CITES y considerar su inclusión en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 bajo la categoría de sujeta a protección especial.