

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

**“FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS IMPLICADOS EN LA
DISTRIBUCIÓN DE POBLACIONES SILVESTRES Y CONTENIDO
DE AZÚCARES DE *Agave angustifolia* Haw.”**

POR:

TANIA FRAGOSO GADEA

TESIS APROBADA POR LA
COORDINACIÓN DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS

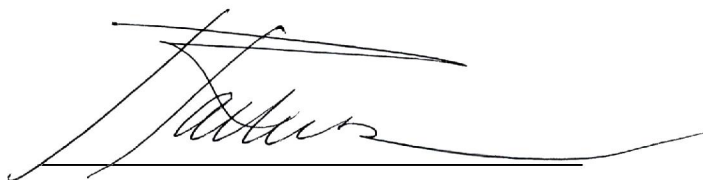
Hermosillo, Sonora

Enero 2011

DECLARATORIA INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial y total de la tesis con fines académicos. Se deberá contar con la autorización escrita del Director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD, A. C.).

La publicación en comunicación científica o de divulgación popular de datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, A. C., previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del Director de tesis.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ramón Pacheco Aguilar', written over a horizontal line.

Dr. Ramón Pacheco Aguilar

Director General

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de tesis de Tania Fragoso Gadea, la han encontrado satisfactoria y recomiendan sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de maestro en ciencias.



Dr. Martín C. Esqueda Valle
Director de tesis



Dra. Luz Vázquez Moreno



Dr. Agustín Rascón Chu



Dr. Manuel L. Robert Díaz

DEDICATORIA

A Dios, por darme tantas bendiciones

A mis pequeñas Carolina y Andrea, por su paciencia y amor, por ser mi motivo de lucha y por ser las bendiciones más grandes que Dios me ha dado, las amo...

Al pequeño ser que crece en mi vientre, una bendición más! Llegas como un regalo que hace más grande mi felicidad y muy a tiempo para estar presente en estos textos!! Aun no te conozco, pero ya te amo y ansío tenerte en mis brazos...

A tí mi amado tormento!! Por compartir la vida conmigo, por darme tanto amor y una familia hermosa, por sostener mi mano en los tropiezos, te amo Aldo...

A mi madre, por darme la vida y enseñarme a vivirla, a los luceros que me cuidan desde el cielo: Sandra y Eva, que de nuevo están juntas, gracias por todo su amor...

A un pequeño muy especial, porque cuando tuve deseos de darme por vencida, su espíritu de lucha por vivir me enseñó a seguir en pie, a tí Luisito...

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el apoyo económico otorgado para la realización de este proyecto.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., por abrirme de nuevo sus puertas y permitirme llevar a cabo mis estudios de maestría.

A los propietarios de los ranchos en donde se llevó a cabo el estudio, Sres. Roberto Contreras, Edmundo Cervantes, Edmundo Cervantes Jr. y Rafael Amavizca, gracias por las facilidades brindadas, gracias por todas sus atenciones y cariño, eternamente agradecida con ustedes y sus familias.

A todo el personal del CIAD que me brindó su apoyo y ayuda directa o indirectamente en la realización de este posgrado.

A mi director de tesis, Dr. Martín Esqueda por su confianza, paciencia y amistad, le agradezco de todo corazón.

Al M.C. Aldo H. Gutierrez Saldaña, por su apoyo técnico en la planeación y ejecución del proyecto, por su indispensable e invaluable ayuda durante los muestreos en campo, análisis cartográficos, procesamiento de las muestras, formato y edición de tesis y un sinnúmero de actividades que hicieron posible este proyecto. Gracias por TODO!

A la Biól. Georgina Vargas y al M.C. Antonio Orozco por su valioso apoyo técnico.

Al M.C. Javier Ojeda, M.C. Alfonso Sánchez, M.C. Alberto Sánchez y al personal del laboratorio de fisiología vegetal, por el préstamo de material y equipo, por todos sus consejos técnicos mil gracias!!

A todos los profesores que compartieron parte de su sabiduría conmigo y ayudaron a formarme.

A mis “adorados” compañeros de laboratorio y agregados, Aldo, Georgina, Antonio, Eduardo, Carolina, gracias por su ayuda en las distintas etapas del proyecto. Alfonso, Citlalli, Alberto, Deladier, Marina, Erika, gracias por esas convivencias tan agradables y divertidas que le dieron el sazón a este platillo, a todos muchas gracias!

A la Dra. Luz Vázquez y su equipo de colaboración, por todas las facilidades otorgadas para las determinaciones de azúcares. A la Dra. Gabriela Ramos y M.C. María del Refugio Robles (Cuquis) por su valiosa asesoría y apoyo. A la M.C. Ana María Domínguez, a los estudiantes Daniel Miramon y Mireya Ugues por compartir sus conocimientos y ayudarme durante los experimentales, muchas gracias!

Al Sr. Germán Cumplido, M.C. Jesús Manuel Robles y M.C. Luis Enrique González por las facilidades brindadas para el uso de los equipos de laboratorio.

A los miembros de mi comité de tesis, Dr. Martín Esqueda, Dr. Agustín Rascón, Dra. Luz Vázquez y Dr. Manuel Robert, por su guía y consejos durante el desarrollo del proyecto. Gracias por sus observaciones en los borradores de la tesis.

Al Dr. Abisai García, por su asesoría y consejos en la selección de las poblaciones objeto de estudio.

Al M.C. Óscar Gutiérrez Ruacho por la facilitación de los datos climáticos y por sus consejos en la planeación de las mediciones.

A mi familia por echarme porras y creer en mí, a mi mamá por cuidar de mis hijas en mis ausencias, a mis hermanos por estar siempre conmigo.

A mis compañeros de generación que compartieron conmigo esta aventura. A mis nuevos amigos, gracias por su cariño, especialmente a Blanca y Vanesa, las quiero mucho chicas!

A mis viejos amigos, por sus porras y confianza, por subirme los ánimos y por quererme tanto, especialmente a mis hermanas adoptivas Janeth y Laura.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Biología de <i>Agave angustifolia</i>	3
2.2. Aprovechamiento de <i>Agave angustifolia</i>	4
2.3. Factores Ambientales Asociados al Hábitat de <i>Agave angustifolia</i>	7
2.3.1. Características de la Vegetación	8
2.3.2. Características de Suelo.....	11
2.3.3. Aspectos Climáticos	13
2.4. Factores Ambientales Relacionados con Productividad.....	14
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. HIPÓTESIS	18
5. OBJETIVOS.....	18

5.1. Objetivo General	18
5.2. Objetivos Particulares	18
6. METODOLOGÍA	19
6.1. Zonas de Estudio	19
6.2. Caracterización Abiótica.....	19
6.3. Caracterización Biótica.....	20
6.4. Cuantificación de Azúcares.....	21
6.5. Análisis Estadístico	22
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
7.1. Zonas de Estudio	23
7.2. Caracterización Abiótica.....	24
7.3. Caracterización Biótica.....	34
7.4. Cuantificación de Azúcares.....	53
7.5. Análisis multivariado.....	58
8. CONCLUSIONES	65
9. BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regiones agaveras con denominación de origen para la elaboración de bacanora.....	5
Figura 2. Asociación mediante facilitación y competencia entre plantas.....	11
Figura 3. Ubicación de las poblaciones de <i>A. angustifolia</i> bajo estudio..	23
Figura 4. Mapa geológico de los sitios de estudio.....	26
Figura 5. Mapa climático de los sitios de estudio.	27
Figura 6. Mapas hidrológicos de los sitios de estudio..	29
Figura 7. Mapa edafológico de los sitios de estudio.....	30
Figura 8. Mapa de tipos de vegetación en los sitios de estudio..	35
Figura 9. Índice de diversidad de Shannon para las comunidades vegetales de los sitios de estudio.....	39
Figura 10. Dendrograma de índices ecológicos entre sitios.....	40
Figura 11. Densidad de las poblaciones de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios El Básura en Moctezuma, La Vinorama en Huásabas y El Tepúa en Aconchi, Sonora.....	41
Figura 12. Proporción de hijuelos y agaves de crecimiento independiente.....	43
Figura 13. Proporción de agaves independientes que son plantas madre en los sitios de estudio.....	43
Figura 14. Talla promedio de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.	44

Figura 15. Diámetro promedio de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.....	45
Figura 16. Distribución de los individuos de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.....	47
Figura 17. Agrupamiento de individuos de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio en relación a sus características morfológicas principales..	51
Figura 18. Contenido de azúcares reductores (AR) en piñas de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.	54
Figura 19. Contenido de fructanos en piñas de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.....	54
Figura 20. Diferencias en el contenido de fructanos y azúcares reductores (AR) en piñas de <i>Agave angustifolia</i> de acuerdo a características de inflorescencia (I).	56
Figura 21. Correlación entre °Brix y el contenido de fructanos en piñas de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.	57
Figura 22. Correlación entre °Brix y el contenido de azúcares reductores totales (ART) en piñas de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio.	57
Figura 23. Relaciones entre el contenido de azúcares reductores (AR) y fructanos (F) con variables significativas.	63
Figura 24. Relaciones entre el contenido de fructanos (F) con variables significativas..	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales especies vegetales asociadas con <i>Agave angustifolia</i> en Sonora	9
Tabla 2. Principales mecanismos de acción de las plantas nodriza	10
Tabla 3. Características generales predominantes en los sitios de estudio	24
Tabla 4. Características físicas y químicas del suelo en los sitios de estudio	33
Tabla 5. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con <i>Agave angustifolia</i> en el sitio El Tepúa, Aconchi, Sonora.....	36
Tabla 6. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con <i>Agave angustifolia</i> en el sitio El Básura, Moctezuma, Sonora	37
Tabla 7. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con <i>Agave angustifolia</i> en el sitio La Vinorama, Huásabas, Sonora.....	38
Tabla 8. Tamaño de las poblaciones de <i>A. angustifolia</i> en los sitios de estudio	42
Tabla 9. Indicadores de las poblaciones de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio	46
Tabla 10. Principales características morfológicas de los grupos de <i>Agave angustifolia</i> en los sitios de estudio	52
Tabla 11. Componentes principales de las variables evaluadas en <i>Agave angustifolia</i>	58
Tabla 12. Coeficiente de correlación entre factores principales y variables evaluadas en <i>Agave angustifolia</i>	59

RESUMEN

Las poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* presentan variabilidad en sus patrones de distribución y contenido de azúcares, probablemente por las condiciones ambientales. Este maguey se utiliza tradicionalmente en la elaboración de bacanora, a partir de la fermentación de sus azúcares reductores y fructanos hidrolizados. Sin embargo el uso de sus fructanos podría diversificarse en la industria alimentaria. En esta investigación se analizaron parámetros bióticos y abióticos relacionados con tres poblaciones silvestres de *A. angustifolia* en la sierra sonorensis. Se encontraron evidencias de que la asociación con plantas nodriza juega un papel importante en la distribución de *A. angustifolia* en Sonora. El contenido de azúcares reductores y fructanos de los tallos, presentó un promedio de 7.4 y 21.6 g/100 g (base seca) respectivamente. Estos contenidos variaron significativamente entre las poblaciones silvestres. De las más de 80 variables evaluadas, el análisis de componentes principales indicó que con 6 factores se explica el 72 % de la varianza de los datos. En total 35 variables mostraron mayor correlación con los 6 factores principales, de las cuales destacaron 20 variables edáficas, 6 ecológicas, 6 morfológicas, 2 climáticas y 1 topográfica. Los porcentajes de fructanos más altos se asociaron con variables edáficas como suelos de tipo litosol, nivel medio-alto de calcio y conductividad eléctrica. Así mismo se relacionaron con parámetros ecológicos como tipo de nodriza y diversidad vegetal.

1. INTRODUCCIÓN

El agave es una planta perenne conocida comúnmente como maguey, posee hojas alargadas y suculentas dispuestas en espiral sobre un tallo corto, formando una roseta. México es el centro de origen y diversidad natural del género *Agave* y cuenta con 150 de las más de 200 especies que existen, distribuidas principalmente en ecosistemas áridos. Su importancia ecológica radica en el número de especies animales y vegetales con las cuales establece asociaciones y en su capacidad de retención de suelos. Desde épocas prehispánicas se han utilizado para cubrir diversas necesidades de tipo alimenticio, habitacional, espirituales y de recreación. De éstas, uno de sus usos más conocidos y tradicionales es la obtención de bebidas alcohólicas y recientemente ha destacado su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales que contengan inulina y sus derivados, por su alta concentración de este tipo de azúcares (Gentry, 1982; López *et al.*, 2003; Moreno-Salazar *et al.*, 2007; Saldívar-Esparza, 2007; Berumen-Barbosa, 2009; Ravenscroft *et al.*, 2009).

En Sonora se han descrito más de 26 taxones entre los que destaca *Agave angustifolia*, que crece de manera silvestre en la mayor parte de la porción occidental de la Sierra Madre, distribuyéndose al azar o de manera aislada. Esta especie se ha utilizado durante siglos para la elaboración tradicional del bacanora, cuyo nombre proviene de la localidad donde se produce principalmente, Bacanora, Sonora. Para obtener esta bebida alcohólica se requiere la cocción del tallo, la fermentación y la destilación de sus jugos, conocidos como mostos (Núñez-Noriega, 2003; Barraza-Morales *et al.*, 2006; Moreno-Salazar, 2006; Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007; Cházaro-Basáñez *et al.*, 2007).

La materia prima para la elaboración de bacanora, proviene básicamente de las poblaciones silvestres, por lo que se encuentran mermadas debido al

sobreaprovechamiento de los últimos años. Por otro lado, las condiciones climáticas extremas de la región y las características biológicas de la especie han dificultado su recuperación natural y los intentos por establecer cultivos en general han tenido poco éxito en campo (Núñez-Noriega, 2001, 2003; Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007).

Por lo anterior, se requiere la realización de estudios sobre la ecología de la especie para evaluar los factores ambientales determinantes en su distribución y productividad. Esto con la finalidad de coadyuvar tanto en su recuperación como en el abastecimiento de materia prima de calidad, en cualquier proceso productivo que se siga. Es por ello, que el presente trabajo tiene como objetivo analizar los factores bióticos y abióticos que determinan la distribución de las poblaciones silvestres y el contenido de azúcares en *A. angustifolia* silvestre en la sierra sonoreense.

2. ANTECEDENTES

2.1. Biología de *Agave angustifolia*

Al igual que el resto de los agaves, *A. angustifolia* posee como característica biológica un ciclo de vida largo, pues en general tarda alrededor de 6 a 8 años para que se produzcan frutos con semilla, aunque no siempre los forma. Además se trata de una especie semélpara, es decir, presenta un solo evento reproductivo sexual, al término del cual, la planta muere. Por otro lado, tiene porcentajes inciertos de fertilidad, así como una tasa germinativa y de supervivencia baja, debido a que en la mayoría de los casos las semillas caen en un medio adverso y están sujetas a ser consumidas por herbívoros. En respuesta a ello y como una adaptación al medio, los agaves han desarrollado de manera alternativa la reproducción asexual mediante rizomas y bulbilos (Moreno-Salazar, 2006; Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007).

Morfológicamente *A. angustifolia* consiste de rosetas cespitosas ampliamente abiertas de 1.0 a 1.5 m de alto por 1.5 a 2.0 m de diámetro, con tallos desde 20 a 60 cm de largo. Sus hojas maduras tienen formas que varían de lineales a lanceoladas de 60 a 120 por 3.5 a 10 cm, son ascendentes a horizontales, de color verde claro a verde grisáceo. Además son planas o cóncavas hacia el ápice, convexas hacia la base, estrechas, angostándose hacia la base y terminando en una espina apical de 1.5 a 3.5 cm de longitud. Ésta es cónica o subulada, de color marrón oscuro o gris y su forma puede ser plana o acanalada hacia arriba. El margen es de recto a ondulado, color marrón rojizo a oscuro, con bases estrechas y puntas curvas, algunas veces es cartilaginoso y posee dientes de 2 a 5 mm de longitud (Gentry, 1982; Núñez-Noriega, 2003; Vázquez-García *et al.*, 2007a).

La inflorescencia de la especie mide de 3 a 5 m de largo y está constituida de una panícula abierta y angosta que llega a medir hasta 1 m de largo con 10 a 20

ramas, algunas veces con bulbilos; el pedúnculo o quiole posee brácteas triangulares estrechas. Tiene flores verde amarillentas de 50 a 65 mm. Sus frutos son cápsulas ovoides de 3 a 5 cm de largo, de color marrón oscuro, leñosas y dehiscentes, con tres lóculos y estípites cortos. Las semillas son desde negras hasta marrón opacas, de 9 a 12 por 7 a 8 mm, con hilio claramente hendido y forma triangular (Gentry, 1982; Núñez-Noriega, 2003; Moreno-Salazar, 2006; Vázquez-García *et al.*, 2007a).

Como puede apreciarse, la forma de *A. angustifolia* es variable y se considera que depende de las características ambientales del sitio donde se desarrolla. En Sonora, Gentry (1982) observó que en áreas cercanas a la costa, las hojas son cortas y anchas en la parte central; en cambio en zonas arboladas de la sierra, son más angostas, largas y laxas; mientras que en el desierto, las pencas son más cortas, angostas y con mayor número de dientes. Por su parte Moreno-Salazar (2006), encontró en tres localidades de Nácori Chico, Sonora, ocho morfotipos de *A. angustifolia* silvestre, de acuerdo a variables relacionadas con la geometría de la planta, forma de hojas, tamaño de espina apical, distribución y conformación de dientes, principalmente.

Barraza-Morales *et al.* (2006) realizaron estudios poblacionales de *A. angustifolia* en las localidades de Bacanora, Bacadéhuachi y Nácori Chico, Sonora. En la localidad de Nácori Chico encontraron los mayores índices de variabilidad genética y sugirieron que se debe a la adaptación ante los factores bióticos y abióticos presentes en la sierra sonoreense.

2.2. Aprovechamiento de *Agave angustifolia*

En Sonora la producción de bebidas alcohólicas a partir de agave estuvo prohibida por más de 70 años. Así, el desarrollo de la industria del bacanora se truncó en comparación con el del tequila. A partir de la derogación de la “ley seca” en 1992, se incrementó poco a poco la elaboración de este destilado. En el año 2000 el bacanora

adquirió la denominación de origen para 35 municipios del estado (Figura 1), con la finalidad de proteger a las localidades productoras y asegurar la calidad con respecto a la región (Núñez-Noriega, 2003; Moreno-Salazar, 2006).

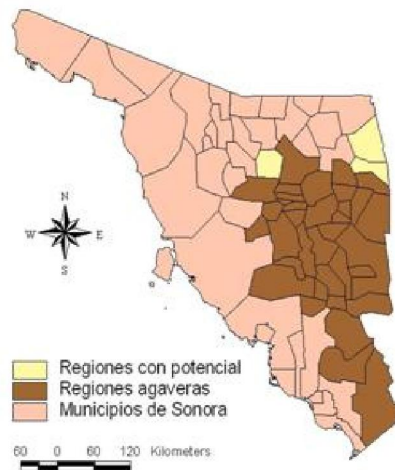


Figura 1. Regiones agaveras con denominación de origen para la elaboración de bacanora (Núñez-Noriega, 2003)

A partir del incremento en la elaboración del bacanora, se han hecho grandes esfuerzos con poco éxito por establecer cultivos de *A. angustifolia*. Por lo que la materia prima sigue proviniendo básicamente de los agaves silvestres, provocando su disminución de manera considerable. Bajo la perspectiva de algunos productores, existe suficiente disponibilidad de materia prima para su elaboración. Otras fuentes indican que deben caminar mucho para encontrar las plantas, por lo que se evidencia el deterioro ecológico del recurso. Para disminuir la presión sobre el agave silvestre y contar con materia prima suficiente, ya sea para bacanora u otros productos, se necesita establecer plantaciones de *A. angustifolia* (Núñez-Noriega, 2003; Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007).

Existen diversas maneras de obtener plantas para establecer un cultivo de agave. Éstas pueden provenir de la germinación de semillas, del desarrollo y establecimiento de sus bulbilos, o a través de la extracción de los hijuelos de plantas

madre. Recientemente ha adquirido auge el proveerse también de plantas micropropagadas de diversas fuentes.

La propagación de *A. angustifolia* mediante la germinación de semillas, es uno de los métodos más usados por los productores en Sonora. Sus limitantes son las que derivan de las características biológicas mencionadas con anterioridad y que los periodos de cosecha se prologan, además de que la práctica común de cortar el quiote, evita la formación de semillas. La ventaja principal de utilizar este método es que se obtienen poblaciones con mayor variabilidad genética (Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007; Santacruz-Ruvalcaba, 2007; Valenzuela-Zapata *et al.*, 2007).

Cuando la inflorescencia no produce semillas puede generar asexualmente los bulbilos, los cuales son magueyes pequeños formados a partir de yemas vegetativas del pedúnculo y ramas floríferas laterales. La desventaja principal de este método es que son poco comunes en *A. angustifolia* y también la práctica del corte del quiote evita su formación. Sin embargo, algunos agaves con características vigorosas son inducidos a producirlos, dejando crecer la inflorescencia y evitando la autopolinización de las flores (Moreno-Salazar, 2006; Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007).

Otra vía de obtención de agaves es mediante la extracción de hijuelos, generados por la planta a través de reproducción asexual. *A. angustifolia* los origina a partir del tercer o cuarto año de edad. La utilización de estos vástagos es una de las alternativas más fáciles para iniciar cultivos. La problemática en Sonora es que son escasas las poblaciones silvestres que puedan soportar esta práctica debido a su estado de deterioro (Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007).

En cuanto a la micropropagación, de ella se obtiene un número ilimitado de plantas uniformes provenientes de genotipos seleccionados. Sin embargo, esta tecnología es costosa y al igual que el resto de las vías asexuales, se relaciona con

la reducción en la variabilidad genética y la consecuente vulnerabilidad del cultivo ante plagas y enfermedades. Por ello es importante considerar el evitar monocultivos con homogeneidad genética de clones, con el fin de mantener una diversidad génica que confiera resistencia al cultivo. Para contrarrestar lo anterior se recomiendan mosaicos de líneas clonales (López-López, 2007; Santacruz-Ruvalcaba, 2007).

Como puede apreciarse, existe una gama de posibilidades para obtener agaves y establecer cultivos, con la consecuente recuperación de las áreas donde se distribuye naturalmente. Además, conforme se avance en el conocimiento sobre la dinámica natural de *A. angustifolia*, en relación con los factores ambientales determinantes en su distribución y desarrollo, será más factible la domesticación de la especie y las estrategias utilizadas tendrán más éxito.

2.3. Factores Ambientales Asociados al Hábitat de *Agave angustifolia*

Los factores bióticos y abióticos juegan un papel importante en la distribución y desarrollo de las plantas en general. Entre los componentes bióticos se encuentran las características de la vegetación, así como las interacciones interespecíficas entre los seres vivos como plantas, hongos y animales. Existen interacciones vegetales que determinan la presencia o ausencia de algunas especies en una comunidad vegetal, así como su estructura y dinámica (Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006).

En relación a los componentes abióticos, éstos tienen una relación estrecha con las plantas, pues algunos de ellos limitan su desarrollo o distribución espacial (Nobel *et al.*, 1998). Éstos incluyen las características del suelo entre las que se encuentran las fisiográficas como altitud, pendiente y exposición; estructurales y de composición como textura y pedregosidad; y aspectos climáticos como temperatura y precipitación, entre otros. En las investigaciones de Martre *et al.* (2002) se observó que la textura del suelo y la pedregosidad, pueden determinar las relaciones hídricas,

el crecimiento y la distribución de las plantas en ecosistemas áridos. Los factores abióticos adversos como la desecación del suelo, niveles de radiación y temperatura inadecuados, limitan la supervivencia de las plántulas recién germinadas (Padilla-Ruiz, 2008).

2.3.1. Características de la Vegetación

Tipo de vegetación y diversidad

Aunque el agave tiene una gran capacidad de adaptarse a diferentes ecosistemas, tiende a distribuirse en hábitats abiertos, que permiten la penetración de luz solar la mayor parte del año. En estudios del género en Jalisco, encontraron que *A. angustifolia* prospera en diferentes tipos de vegetación, desde matorral xerófilo hasta bosque tropical caducifolio y de pino-encino. También crece en dunas costeras, bosque tropical subcaducifolio, espinoso y de encino. A partir de estas observaciones se puede explicar su adaptación a las diversas condiciones de vegetación en Sonora (Hernández-Vera *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007a, b). La estructura de la vegetación para la zona donde crece la especie en Sonora, según la clasificación del INEGI (1980b), coincide con la observada en los estudios mencionados para Jalisco. Se presenta principalmente en matorral subtropical, desértico micrófilo, mezquital, selva baja espinosa y caducifolia.

Dentro de todos estos tipos de vegetación, existen especies vegetales que proveen de abrigo y nutrientes al agave, además de evitar pérdidas de suelo por erosión. En la Tabla 1 se enlistan aquellas especies que predominan en los terrenos de agostadero apropiados para la siembra de *A. angustifolia* en Sonora (Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007). En otros estudios realizados en la sierra alta de Sonora, esta especie se observó fuertemente asociada con plantas arbustivas y arbóreas, variando según el tipo de vegetación, de aquí la importancia que tiene conocer los

tipos de asociación que presenta y que determinan su distribución (Armenta-Calderón, 2002; Barraza-Morales *et al.*, 2006).

Tabla 1. Principales especies vegetales asociadas con *Agave angustifolia* en Sonora

Nombre científico	Nombre común
<i>Bursera laxiflora</i>	Torote prieto
<i>Cercidium floridum</i>	Palo verde
<i>Cercidium sonora</i>	Palo de brea
<i>Fouquieria macdougalli</i>	Ocotillo
<i>Haematoxylon brasiletto</i>	Palo brasil
<i>Ipomoea arborescens</i>	Palo blanco
<i>Jatropha cardiophylla</i>	Sangrengado
<i>Lysiloma divaricatum</i>	Mauto
<i>Lysiloma microphylla</i>	Tepeguaje
<i>Mimosa laxiflora</i>	Uña de gato
<i>Pachycereus pecten-aboriginum</i>	Echo
<i>Sapium biloculare</i>	Hierba de la flecha
<i>Stenocereus thurberi</i>	Pithaya

(Cervantes-Mendivil *et al.*, 2007).

Papel de las plantas nodriza

Las interacciones interespecíficas entre las plantas pueden presentarse a nivel de competencia o de facilitación. El primero tiene un efecto negativo y es como consecuencia de compartir recursos limitados o por alelopatía. Por el contrario, en la facilitación se ejerce una influencia positiva, en la que al menos una planta se beneficia de la interacción con otra. Este proceso es determinante en la diversidad de una comunidad vegetal e influye fuertemente en la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo óptimo de algunas plantas (Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006).

El “síndrome de planta nodriza” es un tipo de facilitación que se observa sobre todo en ambientes extremos y limitantes, caracterizado por aumentar el establecimiento de semillas y plántulas bajo su sombra de dosel. Barraza-Morales *et al.* (2006), observaron condiciones climáticas poco adecuadas para la germinación de *A. angustifolia* en algunas localidades de Sonora, por lo que las plantas al parecer tienden a crecer en asociación con diversos árboles que favorecen el desarrollo de las semillas. Esto se debe principalmente a que mejoran las condiciones microclimáticas, de protección y disponibilidad de recursos. Los mecanismos de acción de las plantas nodrizas se resumen en la Tabla 2 (Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006).

Tabla 2. Principales mecanismos de acción de las plantas nodriza

Efecto de planta nodriza	Ventajas
* Sombra de dosel	* Reduce la evaporación de agua del suelo
	* Reduce la temperatura de aire y suelo
	* Disminuye la incidencia de radiación solar
	* Evita la salinización en suelos costeros y humedales
	* Reduce los daños por frío
* Ascenso hidráulico	* Mejora la disponibilidad de agua
* Acumulación de materia orgánica y sedimentos	
* Incremento en tasas de mineralización	* Provee nutrientes
* Población de microorganismos	
* Interacción positiva entre raíces	* Aumenta el intercambio de nutrientes
* Barreras físicas o químicas	* Protege contra herbívoros
* Plantas atractivas	* Aumenta las visitas de polinizadores a las plantas de interés

(Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006)

La facilitación y la competencia pueden darse simultáneamente y su balance neto es lo que determina el efecto final y su magnitud (Figura 2). Los factores fisiológicos y de desarrollo intervienen en este equilibrio; sin embargo, las condiciones abióticas parecen influir en gran medida (Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006).

En algunas investigaciones se ha comprobado la influencia directa de las condiciones abióticas como suelo y disponibilidad de luz (Blignaut y Milton, 2005; Huber-Sannwald y Pyke, 2005). Al evaluar el efecto del nodricismo en algunas plantas, éste no tuvo éxito porque se suscitaba competencia por suelo entre raíces y había falta de luz debido a la sombra del dosel. Por otro lado, se ha observado que el tipo de exposición también influye junto al nodricismo. Padilla-Ruiz *et al.* (2004), encontraron un incremento en la supervivencia de plántulas silvestres asociadas a un arbusto nodriza, con una exposición sur en las laderas. Estos resultados muestran que son muchos los factores a considerar cuidadosamente, para determinar la efectividad del nodricismo de una especie vegetal. El estudio de las interacciones positivas de las plantas nodrizas es importante, principalmente por las grandes ventajas que representan en los ambientes extremos como las zonas áridas y semiáridas del territorio sonorense.

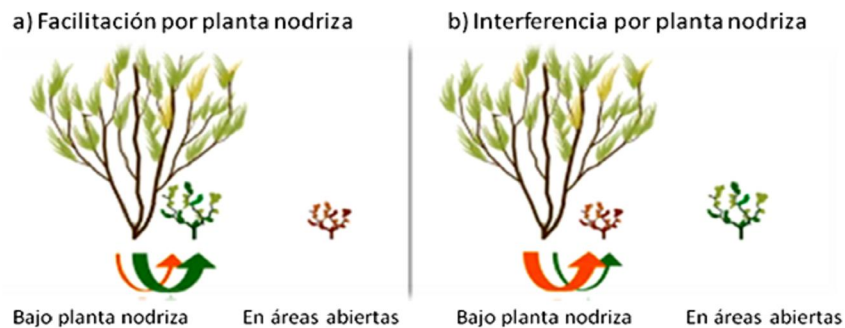


Figura 2. Asociación mediante facilitación y competencia entre plantas.

a) Cuando los efectos positivos son mayores que los negativos, se mejora la supervivencia o crecimiento de las plántulas, en comparación con las de espacios abiertos; b) el resultado contrario se da cuando los efectos negativos superan a los positivos (Padilla-Ruiz y Pugnaire, 2006).

2.3.2. Características de Suelo

Agave angustifolia tiene algunos aspectos edáficos determinantes en su distribución. En general, la especie tiene una amplia capacidad para adaptarse a características ambientales variadas. Se localiza desde las regiones de las laderas de la “Sierra

Madre Sonorense” hasta las áreas más áridas del “Desierto Sonorense”. En base a información del INEGI (2000b), la zona productora de bacanora se distribuye en la “Llanura Sonorense”, “Sierra Madre Occidental”, “Sierras y Llanuras del Norte” y “Llanura Costera del Pacífico”. Este contraste fisiográfico genera una amplia diversidad de microecosistemas con condiciones de elevación, temperatura y precipitación diferentes y confieren características específicas a *A. angustifolia* (Gentry, 1982; Núñez-Noriega, 2003).

Según Gentry (1982), *A. angustifolia* se desarrolla en altitudes que van desde los 0 hasta los 1500 msnm. En Jalisco la especie se desarrolla de manera óptima en planicies y en altitudes entre los 1,001 y 2,000 msnm (Hernández-Vera *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007b). En el análisis de poblaciones silvestres de *A. angustifolia* realizado por Barraza-Morales *et al.* (2006), no se encontró correlación entre la variabilidad genética y la altitud ($r=0.326$, $P>0.05$). A pesar de ello indican que en estudios con otras especies suculentas, se ha observado que la elevación y el hábitat favorecen la diversidad genética y el crecimiento. Núñez-Noriega (2001) indica que en altitudes de 800 a 1200 msnm de regiones cercanas a Hermosillo, se encontraron plantas de *A. angustifolia* grandes y vigorosas.

En la región productora de bacanora se registran suelos arenosos, gravosos y rocosos, que van desde xerosoles, vertisoles, feozem y cambisoles hasta rendzina y castañozem, entre otros (INEGI, 2000b). Sin embargo, se ha visto que los tipos de suelo no se relacionan directamente con la distribución de *A. angustifolia* y lo que influye en el establecimiento de sus semillas son la estructura y otras características físicas del suelo. Los terrenos conformados por rocas ígneas son favorables para su crecimiento y deben ser poco profundos por la morfología fibrosa y corta de su raíz. Entre los más apropiados para el establecimiento de este maguey se encuentran los de textura migajón arcilloso, en base a su capacidad equilibrada de retener agua y permitir el drenaje necesario. Así mismo, el pH ligeramente ácido (6.3-6.5) y una capacidad de intercambio catiónico mayor de 15 meq/100 g, favorecen el flujo de

nutrimentos (Armenta-Calderón, 2002; Martre *et al.*, 2002; Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007; Hernández-Vera *et al.*, 2007).

Además de la pedregosidad, el contenido de macroelementos, salinidad y materia orgánica también son importantes en la consideración de sitios aptos para el cultivo de *A. angustifolia* en Sonora. Cervantes-Mendívil *et al.* (2007), tuvieron altas tasas de sobrevivencia (92%) en suelos pobres con 0.59 a 0.95% de materia orgánica y con contenidos medios de nitrógeno de 31 a 35 mg kg⁻¹ de N-NO₃. Así mismo, el contenido de fósforo fue bajo, desde 2.62 a 3.00 mg kg⁻¹ de P-PO₄, pedregosidad menor al 60% y baja salinidad, con una conductividad eléctrica de 0.23 a 0.36 dS m⁻¹. En algunas localidades de la sierra sonorenses con desarrollo de *A. angustifolia* silvestre, Armenta-Calderón (2002) previamente encontró porcentajes de pedregosidad, salinidad y contenido de fósforo similares al estudio de Cervantes-Mendívil *et al.* (2007).

Cervantes-Mendívil *et al.* (2007), recomiendan las mesetas y los lomeríos suaves, así como los bajíos temporales y áreas de riego, como terrenos aptos para el establecimiento de plantaciones comerciales de *A. angustifolia*. Las razones adicionales a la disponibilidad de agua son que en estas regiones es menor la afectación de las plantas por bajas temperaturas. Los límites entre los diferentes factores ambientales se traslapan y están estrechamente relacionados, actuando en conjunto para dar las características específicas de cada ecosistema.

2.3.3. Aspectos Climáticos

Agave angustifolia es la especie de *Agave* más ampliamente distribuida en México; incluso crece en el desierto sonorenses, con un promedio pluvial de 250 mm y se desarrolla también en bosques de pino-encino en Michoacán hasta con 1680 mm de precipitación. La especie se ha adaptado bien en la sierra sonorenses, cuyos climas van desde muy secos hasta subhúmedos y con lluvias desde 450 a 550 mm al año

en promedio (INEGI, 1980a; Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007a).

Agave angustifolia se desarrolla mejor con la presencia de lluvias de invierno o equipatas que con las lluvias en el verano. Las características del suelo donde crece son las causas principales, ya que en verano existe muy baja retención de humedad, pérdida de nutrientes y altos niveles de escurrimiento con las lluvias intensas (Armenta-Calderón, 2002). Las equipatas también influyen directamente en la cantidad de semillas promedio que produce una planta. Considerando que en la mayoría de la sierra sonorenses con *A. angustifolia* llueve de 200 a 250 mm durante la temporada invernal, Cervantes-Mendívil *et al.* (2007) estiman que pueden cosecharse de 1,000 a 35,000 semillas por qurote, en función principalmente de la precipitación derivada de los meses fríos.

La distribución de todas las plantas es atribuida a su tolerancia a las altas y bajas temperaturas. Esta capacidad se relaciona con los valores extremos de sus hábitats de origen y varía de acuerdo a la especie vegetal. Está documentado que por lo general a los 50°C se afectan los procesos fisiológicos de la mayoría de las plantas. En Sonora, *A. angustifolia* se desarrolla bien en zonas áridas con temperaturas extremas, utilizando sus ventajas adaptativas, pero las formas tropicales de la especie son más sensibles. Las bajas temperaturas son un aspecto limitante importante en la germinación de sus semillas donde sea que se desarrolle. A 8°C la tasa germinativa baja considerablemente y puede incrementarse en temperaturas en el rango de 18 a 22°C (Nobel y Stanley, 1983; Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007a).

2.4. Factores Ambientales Relacionados con Productividad

Los procesos fisiológicos como fotosíntesis y respiración vegetal son parámetros cuyo balance puede indicar la productividad en las plantas, medida tradicionalmente

como biomasa. Por ello son importantes al estudiar la repercusión de algunos factores ambientales. Ahora bien, una manera de estimar en los agaves dicha productividad, es determinando la cantidad de los azúcares de reserva que provienen de este balance. Los agaves utilizan el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC) para la fijación de CO₂ y el principal producto de la fotosíntesis son los fructanos, los cuales son carbohidratos poliméricos de cadenas de fructosa, enlazados con frecuencia a una glucosa (Coombs *et al.*, 1988; Nobel, 1990; Bautista-Justo *et al.*, 2001).

La inulina es el principal fructano de los agaves; su cantidad indicará la calidad para un uso productivo determinado. La inulina y sus derivados pueden ser utilizados como ingredientes en alimentos funcionales, por las grandes propiedades medicinales que se le atribuyen, o una vez degradada en azúcares más simples, se pueden reducir mediante fermentación, para la producción de bebidas alcohólicas (Bautista-Justo *et al.*, 2001; López *et al.*, 2003).

En algunas especies como *A. tequilana* y *A. americana*, utilizadas en la producción de bebidas alcohólicas, se ha considerado el gran potencial como recursos de prebióticos por la inulina que contienen (López *et al.*, 2003; Ravenscroft *et al.*, 2009). A la par, diversas investigaciones se enfocan en el contenido promedio de azúcares reductores totales (ART) presentes en el agave como productos de la despolimerización de la inulina. Bautista-Justo *et al.* (2001), citan que los ART de los agaves varían entre el 20 y 30%, dependiendo de la calidad del tallo, conocido como piña o cabeza, pues un 20% es considerado de baja calidad y alrededor de 25 a 30% es un buen parámetro para producir alcohol. Moreno-Salazar (2006), encontró en *A. angustifolia* de la sierra sonorensis un promedio de 42% de ART en base seca, dejando claro el potencial que tiene la especie. En este estudio sobre la morfología y el contenido de azúcares, el autor indica la dificultad para basar sus resultados exclusivamente en relación a la variabilidad genética, por lo que sugiere también

considerar el estado de desarrollo y madurez de la planta, así como los efectos del ambiente.

Los factores ambientales como temperatura y precipitación influyen en el contenido de azúcares. Por ejemplo Pimienta-Barrios *et al.* (2005) describen que en algunas plantas MAC, las altas temperaturas reducen la producción y acumulación de azúcares, ya que incrementan la respiración y reducen la fotosíntesis. Por otro lado Bautista-Justo *et al.* (2001) encontraron una menor concentración de ART en plantas cosechadas en temporada de lluvias que en las de época seca y lo atribuyen a que el agave tiene más agua.

En diversos trabajos se ha evaluado el efecto de variables abióticas como temperatura, irradiación, humedad del suelo y aire en la fisiología de algunas plantas. Pero los factores bióticos también se han abordado, incluso pueden establecerse los efectos de las relaciones interespecíficas en términos fisiológicos (Monroy-Reyes *et al.*, 2005; Pimienta-Barrios *et al.*, 2005, 2006). Bajo las premisas de estos estudios resulta importante conocer la dinámica que sigue *A. angustifolia* en relación a las condiciones ambientales de Sonora.

3. JUSTIFICACIÓN

La materia prima utilizada en la elaboración del bacanora proviene básicamente de las poblaciones silvestres de *Agave angustifolia*, las cuales se encuentran mermadas debido a su sobreaprovechamiento a partir de la derogación de la “ley seca” y la denominación de origen. Igualmente las condiciones climáticas extremas en la sierra sonoreense, incluido el prolongado periodo de sequía, han disminuido o retrasado su recuperación natural. Así mismo el prendimiento en campo de un 5 a 10% en los trasplantes, conlleva a la realización de estudios sobre la ecología y productividad de la especie para coadyuvar en su recuperación mediante un protocolo más eficiente de trasplante.

4. HIPÓTESIS

Factores como la asociación con plantas nodriza y las condiciones ambientales determinan la distribución de las poblaciones silvestres y el contenido de azúcares en *Agave angustifolia*, presente en la sierra sonoreense

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Analizar los factores bióticos y abióticos que determinan la distribución de las poblaciones silvestres y el contenido de azúcares en *Agave angustifolia* silvestre en la sierra sonoreense.

5.2. Objetivos Particulares

1. Caracterizar *ex situ* los factores bióticos y abióticos de áreas conservadas con *Agave angustifolia* silvestre en Sonora, mediante análisis cartográficos.
2. Caracterizar *in situ* la vegetación y el suelo de áreas conservadas con *A. angustifolia* silvestre en Sonora, mediante análisis de vegetación y análisis físico-químico de suelos.
3. Realizar un análisis poblacional y morfológico de *A. angustifolia* silvestre en áreas conservadas de Sonora, a través de caracterización morfométrica y de distribución.
4. Determinar el contenido de azúcares reductores y fructanos en tallos de *A. angustifolia* silvestre de diferentes áreas conservadas de Sonora, mediante métodos enzimáticos y colorimétricos.

6. METODOLOGÍA

6.1. Zonas de Estudio

Se estudiaron poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* con un alto grado de conservación, en los predios denominados El Tepúa, El Básura y La Vinorama, pertenecientes a los municipios de Aconchi, Moctezuma y Huásabas, Sonora, respectivamente. En cada uno de ellos se ubicaron, geo-referenciaron y caracterizaron tres cuadrantes en los que se delimitaron áreas de 2500 m², considerando el arreglo de la vegetación y los límites de las poblaciones de *A. angustifolia*.

6.2. Caracterización Abiótica

Como parámetros generales se evaluó la altitud y orientación cardinal mediante un geoposicionador geográfico (GPS Garmin eTrex vista HCx). Así mismo se observó la fisiografía característica y se estimó con brújula la pendiente predominante. Por otro lado se realizó una caracterización cartográfica con la información de fisiografía, geología, clima, hidrología y edafología emitida por el INEGI. Para el caso del clima también se consultaron las bases de datos registradas por la CONAGUA. Por otro lado, se tomaron muestras *in situ* para realizar un análisis físico y químico de suelos (Castellanos *et al.*, 2000). Las muestras de suelo compuestas se tomaron en cada cuadrante a 50 cm de plantas de *A. angustifolia*. Los parámetros analizados fueron: reacción del suelo (pH), materia orgánica, conductividad eléctrica, relación de adsorción de sodio, contenido y disponibilidad de nutrimentos.

6.3. Caracterización Biótica

En todas las áreas donde se distribuyen las poblaciones de estudio, se realizó también una caracterización biótica mediante análisis de vegetación, poblacional y morfológico de *A. angustifolia*.

6.3.1. Análisis de vegetación

Para cada cuadrante se determinó el tipo de vegetación utilizando la clasificación del INEGI. Así mismo se obtuvo la composición florística y el valor de importancia de las especies del estrato arbóreo y arbustivo, de acuerdo a su densidad, frecuencia y dominancia relativas, para establecer la estructura de la vegetación. La comparación de comunidades vegetales se realizó de acuerdo a la riqueza de especies y a los índices ecológicos de diversidad (Shannon-Weiner), dominancia (Simpson) y uniformidad (Pielou) mediante el programa IIBsoft (1991). Para el muestreo se empleó el método de puntos en cuadrante, con nueve puntos ubicados sistemáticamente, para evitar el traslape de individuos muestreados. Este consiste en dividir los puntos en cuatro cuadrantes y en cada uno de ellos medir las dimensiones y distancia del árbol y arbusto más cercano al punto. Las medidas de cada cuadrante fueron de 50 x 50 m trazados en dirección Norte y Oeste.

6.3.2. Análisis poblacional

Por otro lado se registró el número de plantas de *A. angustifolia* para estimar su población y densidad por cuadrante, además de describir sus características generales. Para éstas se consideró el tipo de desarrollo (hijuelo o independiente) y sus dimensiones (altura y diámetros). Así mismo se evaluó su ubicación geográfica, distancia entre individuos, nodricismo (especies, distancia y orientación con respecto a la principal), tipo de crecimiento (individual o en colonias) y orientación cardinal. Su distribución espacial se estimó mediante la razón varianza/media (Franco-López *et al.*, 1985). Por último se tomaron en cuenta indicadores de madurez y estado general

de las plantas adultas para los análisis posteriores, tales como presencia de quiote, hojas laterales amarillas y/o acortamiento de hojas centrales.

6.3.3. Análisis morfológico

La evaluación de los patrones morfológicos de *A. angustifolia* (Moreno-Salazar, 2006) se realizó en una muestra del 10% de los individuos adultos (>1 m altura) por cuadrante. La selección se basó en los indicadores de madurez y las dimensiones derivados del análisis poblacional. A cada planta se le cortaron desde la base tres hojas centrales y se determinó su relación peso seco/peso fresco, longitud total/ancho de la base foliar y longitud total/ancho de la porción media foliar. Así mismo se obtuvo el número de dientes/longitud de la hoja, distancia entre dientes, longitud y ancho basal de los dientes, distancia de espina apical al primer diente, así como longitud y ancho basal de espina apical. Además se midió el color con los parámetros de luminosidad (L^*), ángulo de matiz ($^{\circ}\text{Hue}$) y pureza (Croma) del sistema CIE $L^*a^*b^*$, utilizando un colorímetro portátil (Minolta CR300); las fórmulas para su estimación fueron: $^{\circ}\text{Hue}=[\text{arcTan}(b^*/a^*)]$ y $\text{Croma}=(a^{*2}+b^{*2})^{-1/2}$.

6.4. Cuantificación de Azúcares

Para la determinación de azúcares se cortaron o jimaron los tallos de las plantas de *A. angustifolia* donde se realizó el análisis morfológico y que alcanzaron su madurez fisiológica. Las variables de inclusión fueron el inicio del crecimiento del escapo floral, un cambio de coloración de las hojas laterales hacia el amarillo y/o la disminución del crecimiento de las hojas centrales. Los tallos se midieron y pesaron en fresco, posteriormente se tomó una porción longitudinal representativa de toda la piña (15 a 25% dependiendo de su tamaño) determinándose el porcentaje de sólidos solubles totales promedio ($^{\circ}\text{Brix}$) con un refractómetro portátil (ATAGO PR-101). Las muestras se cortaron finamente y se secaron en estufa Enviro-Pak (Mod. Micro-Pack, MP500) a 50°C durante 72 h, se registró su peso para calcular la humedad perdida y estimar

su peso seco total. Posteriormente se pulverizaron en un molino eléctrico (Thomas Scientific, Wiley Mod. 4) con mallas desde 9.5 a 0.2 mm de diámetro y se determinó el contenido de fructanos y azúcares reductores (AR). Para la medición de fructanos se utilizó un método enzimático/colorimétrico (AOAC 999.03 y AACC 32.32) mediante el kit “Megazime Fructan Assay Procedure”, realizando las determinaciones con un espectrofotómetro UV-Visible (Cary 1 varian, Australia Pty. 1990, 1991) a una longitud de onda 410 nm. El contenido de AR se realizó por triplicado con el método del ácido dinitrosalicílico (DNS), en el mismo espectrofotómetro, a una longitud de onda de 540 nm.

6.5. Análisis Estadístico

Se realizaron estadísticas descriptivas para todos los parámetros, así como análisis de varianza en las variables edáficas, climáticas, poblacionales y contenido de azúcares. Así mismo se efectuaron análisis multivariados de los factores bióticos y abióticos, utilizando análisis fenéticos y de componentes principales. Las variables ecológicas se evaluaron mediante análisis fenéticos, así como las morfológicas, donde también se realizó un análisis de componentes principales. Todas las variables abióticas y bióticas se analizaron mediante componentes principales y en los factores más importantes se llevó a cabo un análisis de correspondencia (AC) para establecer relaciones con el contenido de azúcares. Los programas utilizados fueron Microsoft Excel ver. 2007, NCSS ver. 2007, PC-Ord ver. 4.41 y SPSS ver. 11.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Zonas de Estudio

En la Figura 3 se indica la ubicación geográfica de los sitios con poblaciones silvestres de *A. angustifolia* determinados para realizar el estudio, los cuales pertenecen a los predios El Tepúa, El Básura y La Vinorama, en los municipios de Aconchi, Moctezuma y Huásabas, Sonora, respectivamente .

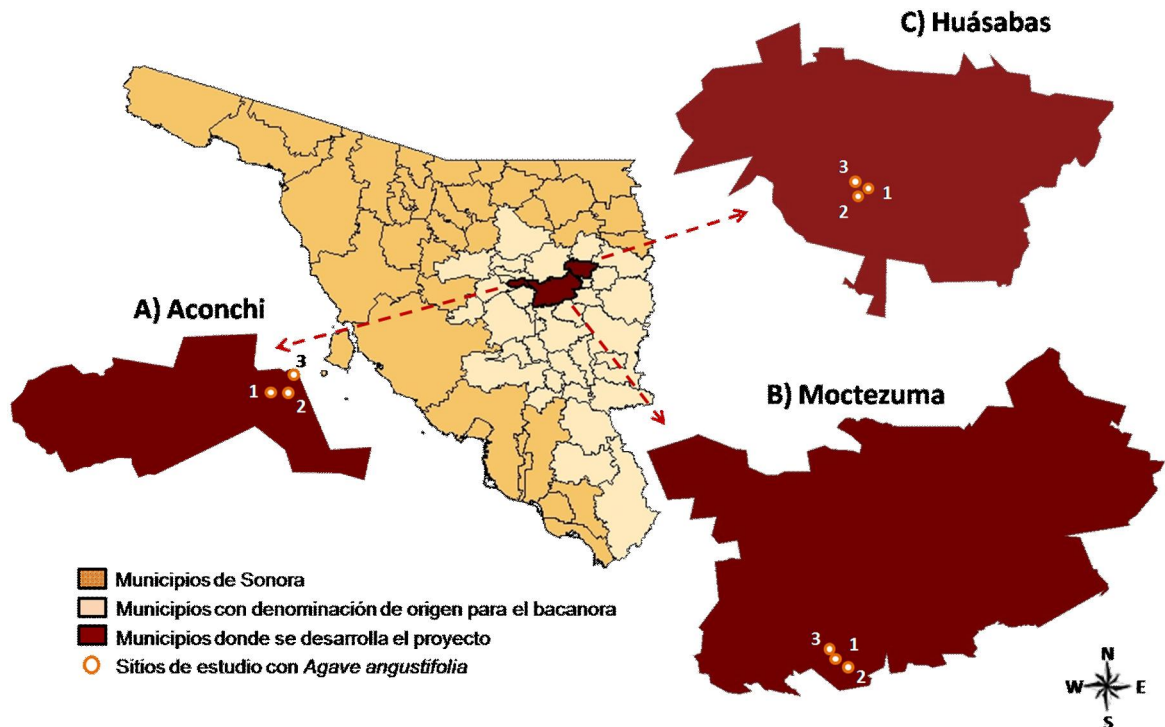


Figura 3. Ubicación de las poblaciones de *A. angustifolia* bajo estudio. A) Predio El Tepúa: 1) 29°49'21"N, 110°5'42"O; 2) 29°49'22"N, 110°4'55"O; y 3) 29°50'25"N, 110°4'24"O. B) Predio El Básura: 1) 29°33'37"N, 109°49'32"O; 2) 29°33'3"N, 109°48'49"O; y 3) 29°34'20"N, 109°49'49"O. C) Predio La Vinorama: 1) 29°57'45"N, 109°26'21"O; 2) 29°57'30"N, 109°26'47"O; y 3) 29°57'57"N, 109°26'51"O.

Algunos de los rasgos generales que se encontraron directamente en los sitios se indican en la Tabla 3. La altitud varió de 704 a 1051 msnm, teniendo en promedio

mayor elevación los sitios de Aconchi y menor los de Moctezuma. La topoforma predominante en Aconchi y Huásabas fue de lomeríos y en Moctezuma las laderas escarpadas, la mayoría orientados hacia el sur. Estas características coinciden con la descripción que hace Gentry (1972, 1982) para la distribución del género *Agave* en Sonora, donde se indica que crecen principalmente en laderas rocosas de cerros y montañas, con altitudes menores a los 1500 msnm.

Tabla 3. Características generales predominantes en los sitios de estudio

Sitio	Cuadrante	Altitud (msnm)	Topoforma	Pendiente	Orientación
El Básura, Moctezuma	1	704	Ladera	20° a 26°	Sur
	2	862	Ladera	10°	Oeste
	3	704	Ladera	11°	Sur
El Tepúa, Aconchi	1	963	Lomerío	10° a 16°	Sureste
	2	947	Meseta	8°	Norte
	3	1051	Lomerío	15°	Noreste
La Vinorama, Huásabas	1	798	Lomerío	10° a 16°	Sur
	2	808	Ladera	24°	Sur
	3	799	Lomerío	6°	Sur

7.2. Caracterización Abiótica

7.2.1. Fisiografía

A partir del análisis cartográfico se encontró que los sitios con poblaciones de *A. angustifolia* bajo estudio, fisiográficamente pertenecen a los sistemas montañosos de las Sierras y Valles del Norte, situadas en la Sierra Madre Occidental. Las topoformas descritas son sierras altas con laderas pronunciadas, sin embargo como

ya se mencionó en la Tabla 3, el sitio El Tepúa 2 está comprendido en una meseta y algunos otros en lomeríos, debido al descenso gradual en su transición hacia otra forma topográfica (INEGI, 1999; 2000b).

7.2.2. Geología

Los estudios geológicos son una de las bases para la investigación de los recursos naturales, por lo que es imprescindible en el estudio de los mismos. Esta ciencia nos proporciona información del origen, clasificación y estructura de las rocas, así como la forma del relieve que desarrollan, y se puede relacionar con la vegetación y el clima.

En la Figura 4 se muestran las características geológicas de los sitios de estudio, todos poseen rocas que pertenecen a la Era Cenozoica del Periodo Terciario (T), con una edad geológica de 1.8 a 65 millones de años (Ma). En los sitios del predio El Básura en Moctezuma, así como en El Tepúa 3 en Aconchi, se especifica la antigüedad de su origen, ya que sus rocas son de la Época Oligoceno-Mioceno (om), que abarca de 23.8 a 55.5 Ma, caracterizada por la evolución hacia angiospermas modernas. “Durante el Oligoceno y Mioceno se realiza también el principal evento de vulcanismo en Sonora, que corresponde a las emisiones de material ignimbrítico con amplia distribución en la región de la Sierra Madre Occidental”, formada hace 27 a 33 Ma (INEGI, 2000b; González-León, 2010). Estos sitios están formados por rocas ígneas extrusivas, originadas a partir de magma que llega a la superficie a través de fisuras o volcanes, forma cristales observables con lupa, principalmente del tipo riolita (R) y/o toba ácida (Ta) ricas en sílice. Cabe mencionar que estos elementos geológicos deben estar relacionados con las laderas pronunciadas y suelos rocosos observados en los sitios El Básura y El Tepúa 3 (INEGI, 2001d).

En cuanto a los sitios La Vinorama en Huásabas y El Tepúa 1 y 2 en Aconchi, están descritos conglomerados de origen sedimentario (cg), constituidos por granos

gruesos de 2 a 250 mm, formados a partir de la acumulación y compactación de sedimentos intemperizados de rocas preexistentes (INEGI, 2001d; 2009a, b). Los tipos de rocas reportados para las áreas de estudio, ya habían sido mencionadas por Gentry (1972) como aquellas donde prosperan los agaves en Sonora.

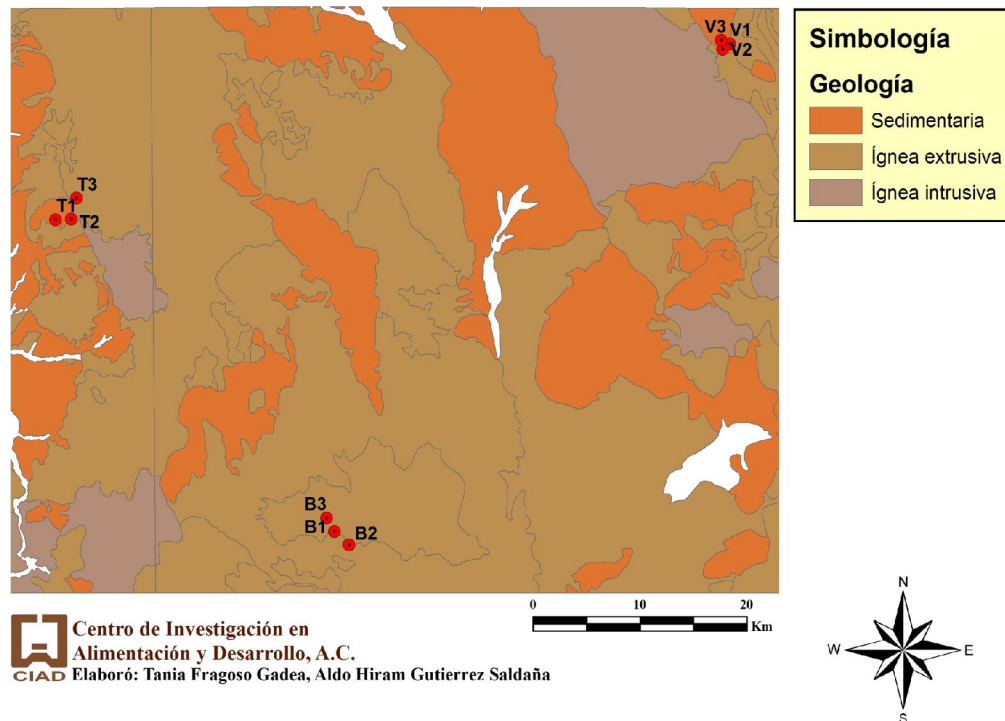


Figura 4. Mapa geológico de los sitios de estudio. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

7.2.3. Clima

Otro de los rasgos que definen un ecosistema es su clima, en las localidades de estudio es del tipo $BS_1hw(x')$ (Figura 5) descrito como estepario semiseco con lluvias en verano, donde la temperatura es semicálida con invierno fresco y su promedio anual es de 18 a 22 °C. Los meses con mayor temperatura corresponden a junio y julio, con una máxima promedio de 40 °C, mientras que en enero y diciembre se presenta la temperatura mínima promedio más baja, que oscila en 3 °C. Reportes de *A. angustifolia* en Sonora indican que la temperatura óptima de germinación de

semillas es entre 18 y 22 °C, mientras que a 8 °C se limita (Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007). La precipitación anual es de alrededor de 500 mm, donde los meses más lluviosos son julio y agosto, mientras que el porcentaje de lluvia invernal es mayor de 10.2 (CONAGUA, 2008; INEGI, 2000a). Algunos autores han encontrado poblaciones de la especie con amplios rangos de precipitación anual, de 250 a 1,680 mm (Cervantes-Mendívil *et al.*, 2007; Vázquez-García *et al.*, 2007).

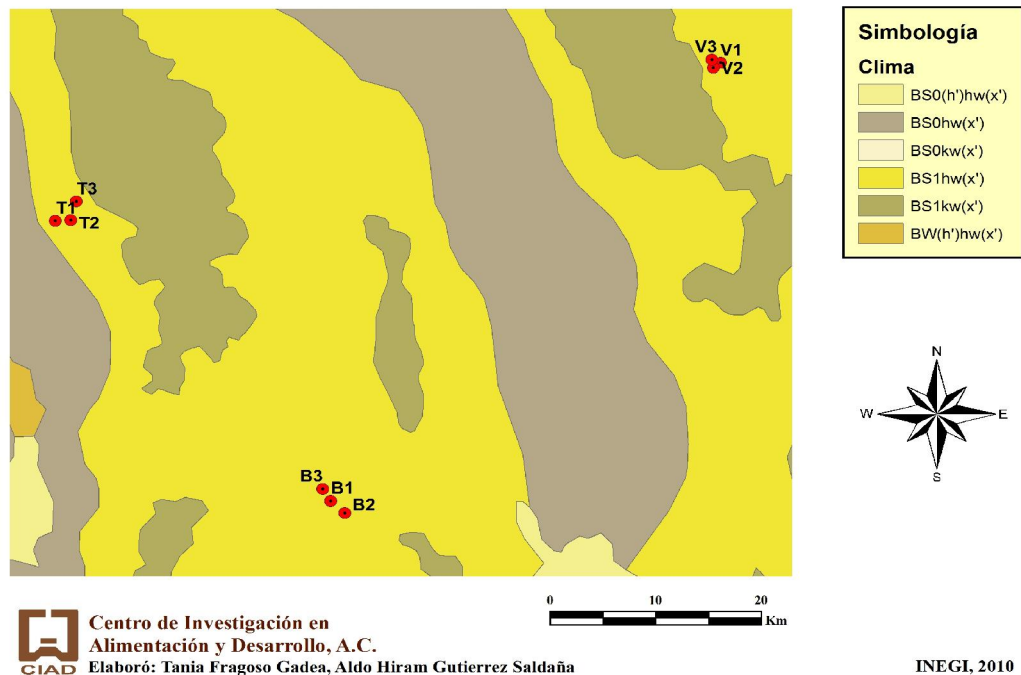


Figura 5. Mapa climático de los sitios de estudio. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

7.2.4. Hidrología

El conocimiento acerca de los aspectos hidrológicos tanto superficiales como subterráneos, adquiere importancia al evaluar la distribución de las especies vegetales y animales, incluso es necesario en la búsqueda de fuentes de abastecimiento de agua para actividades productivas. En la Figura 6 se indican las características hidrológicas de los sitios de interés. Todos quedan dentro de la región hidrológica Sonora Sur, cuyas corrientes nacen en su mayoría en la Sierra Madre

Occidental, los del predio El Tepúa pertenecen a la subcuenca del Río Banámichi, que está dentro de la cuenca del Río Sonora.

En el caso de los sitios de El Básura y La Vinorama, pertenecen a las subcuencas del Arroyo Coronado y Río Bavispe, respectivamente, ambos dentro de la cuenca del Río Yaqui. Desde el punto de vista hidrológico el escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras. En las áreas de muestreo siete de los cuadrantes presentan coeficientes de escurrimiento de 10-20%, correspondientes a los predios El Tepúa, El Básura y La Vinorama 1; en los sitios La Vinorama 2 y 3 restantes, el coeficiente de escurrimiento es del 5 al 10%.

Con respecto a las características hidrológicas subterráneas, los materiales consolidados son aquellos cuyos constituyentes están firmemente unidos y los no consolidados se originaron de procesos como intemperismo y erosión, por lo que pueden tener diferente tamaño, composición y disposición de partículas. Otra característica evaluada es su posibilidad o capacidad para almacenar agua y facilidad para transmitirla (porosidad y permeabilidad). La mayoría de los sitios presentó material consolidado con posibilidades bajas, excepto La Vinorama 2 y 3, cuya posibilidad fue media y El Tepúa 1 y 2 con material no consolidado (INEGI, 2009a, c).

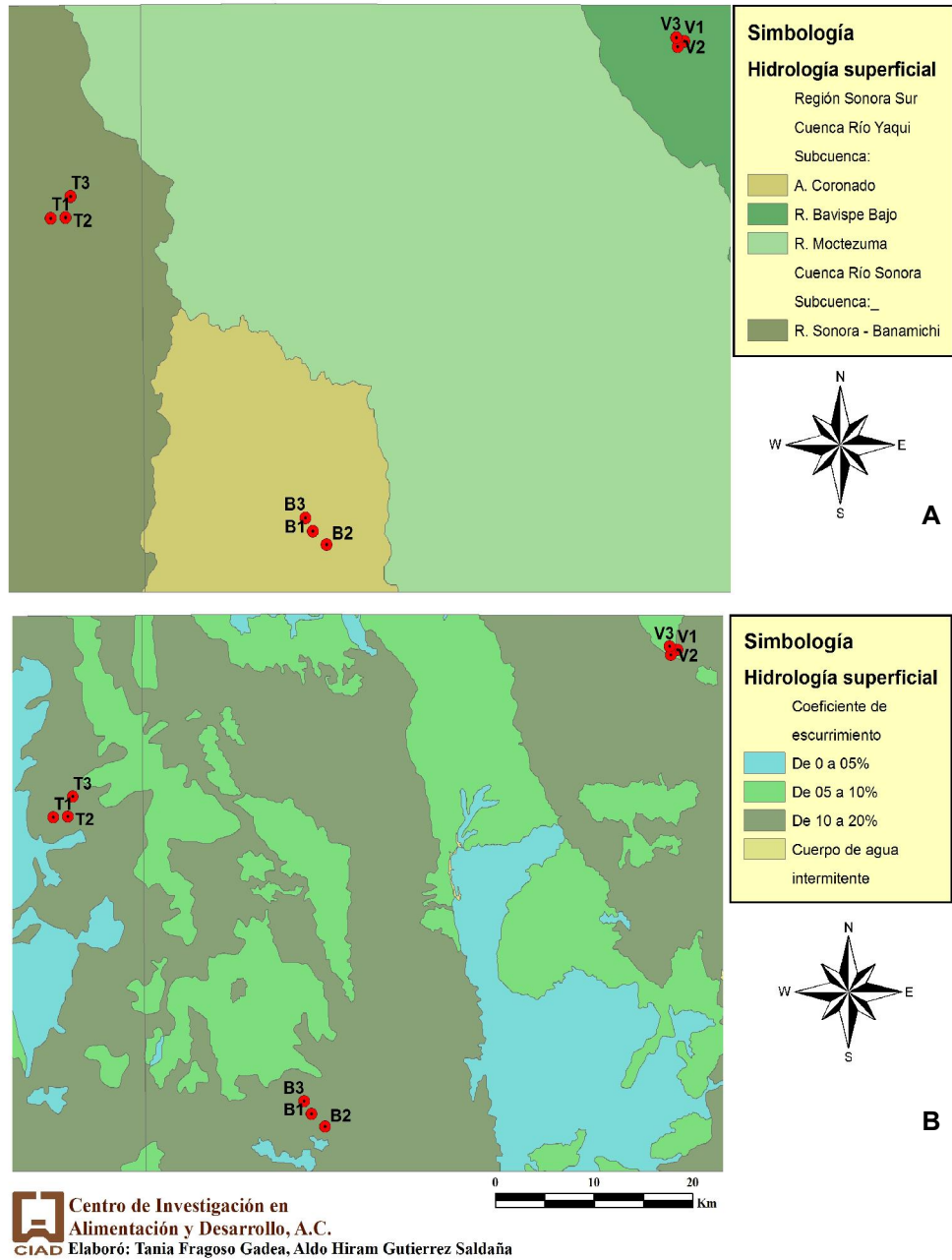


Figura 6. Mapas hidrológicos de los sitios de estudio. A) Regiones hidrológicas; B) Escurrimiento superficial. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

7.2.5. Edafología

En relación a las características edafológicas, en la Figura 7 se indican los tipos de suelo para cada uno de los sitios de distribución de *A. angustifolia* evaluados. Los litosoles son los predominantes en El Básura, El Tepúa 3 y La Vinorama 2; le siguen en proporción los regosoles en los sitios El Tepúa 1 y La Vinorama 1 y 3; y por último El Tepúa 2 principalmente con vertisol. Los litosoles se caracterizan por ser muy delgados, con menos de 10 cm de profundidad que se distribuyen en lomeríos y sierras, descansan sobre un estrato duro y continuo; en la parte oriental de Sonora predominan los suelos de textura media y según el clima soportan selvas bajas o matorrales altos. Los regosoles son suelos muy parecidos al material parental, poco desarrollados y constituidos por material suelto, muy semejante a la roca de la cual se originó. Dependiendo del tipo de clima sustentan cualquier tipo de vegetación, sus texturas van de medias a gruesas y son característicos de lugares montañosos. En cuanto a los vertisoles son suelos ricos en arcillas expandibles, con grietas anchas y profundas cuando están secos; si están húmedos, son pegajosos, su drenaje es deficiente y en seco son muy duros (INEGI, 2000b).

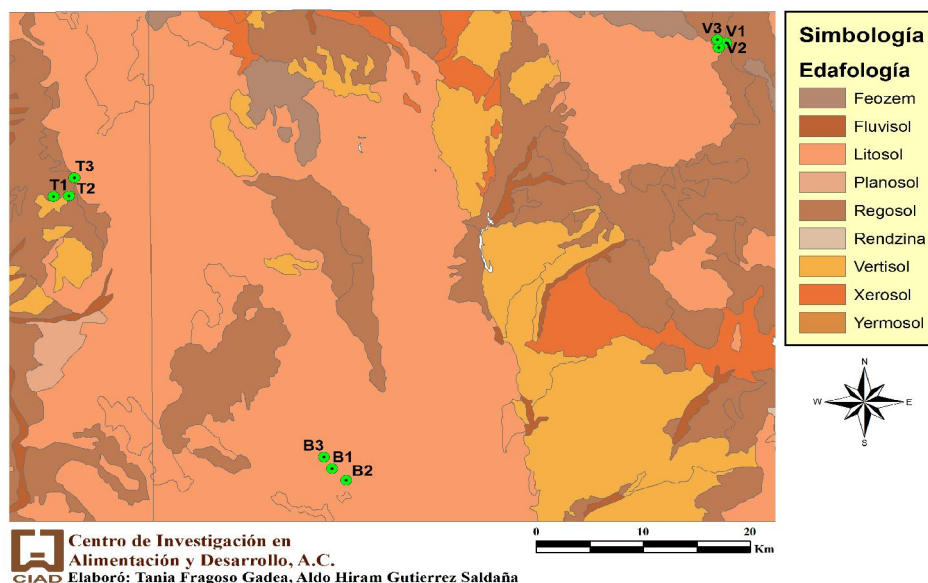


Figura 7. Mapa edafológico de los sitios de estudio. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

7.2.6. Análisis de suelos

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis físico y químico de suelos, evaluando parámetros referentes a fertilidad y salinidad de las localidades estudiadas. De acuerdo a los niveles de referencia para suelos cultivados, éstos presentan una adecuada cantidad de materia orgánica y al parecer se relaciona con los niveles de nitrógeno, fósforo, hierro, cobre y zinc. En este sentido Castellanos *et al.* (2000) indican que la materia orgánica suele favorecer el ciclo del nitrógeno y fósforo, así como la disponibilidad de los micronutrientes. Su papel en el contenido de nitrógeno nítrico se refleja sobre todo en los sitios de La Vinorama, donde se encontró un promedio de 32 mg kg^{-1} de este macronutriente, destacando el primer cuadrante. Los sitios de El Tepúa y El Básura tuvieron menos nitrógeno nítrico ($p < 0.05$), con un promedio de 21 mg kg^{-1} . Un factor que pudiera incidir en las diferencias en el contenido de nitrógeno es el tipo de cubierta vegetal en los sitios. Castellanos *et al.* (2000), indican que residuos provenientes de leguminosas como en La Vinorama, presentan mayor velocidad de mineralización del nitrógeno, es decir contienen más nitrógeno nítrico. Al igual que en la mayoría de las plantas, el nitrógeno es de los nutrientes más importantes en agaves y cactus, ya que interviene en la captación de CO_2 y en el crecimiento (Nobel, 1990).

En cuanto al contenido de calcio y magnesio, los suelos presentaron niveles muy altos, sobre todo en El Básura y La Vinorama, aunque sin diferencias estadísticas entre localidades ($p > 0.05$). El fósforo tuvo rangos medios (25 mg kg^{-1} en promedio), mientras que los valores de potasio fueron bajos, probablemente por la naturaleza arenosa del suelo, y los de azufre muy bajos para todos los predios. En otros agaves y cactus se ha observado que el crecimiento tiende a incrementarse conforme aumentan los niveles de fósforo y potasio, a partir de 60 mg kg^{-1} y 250 mg kg^{-1} respectivamente (Nobel, 1990). Para el caso de los micronutrientes, los suelos fueron ricos en hierro, zinc y cobre, sobre todo los de El Tepúa, para los primeros dos minerales (Tabla 4); mientras que el manganeso tuvo contenidos bajos. En

cuanto al contenido de sodio se rebasa ligeramente el límite de 100 mg kg^{-1} considerado para muchos cultivos, sin embargo en agaves y cactus el límite puede alcanzar 150 mg kg^{-1} (Nobel, 1990). Nobel y Berry (1985) reportan los niveles de algunos nutrientes en suelos con varias especies silvestres de *Agave*, en donde se observan igualmente amplios rangos de calcio desde 167 hasta $6,860 \text{ mg kg}^{-1}$, fósforo entre 11 y 37 mg kg^{-1} y magnesio de 31 a 474 mg kg^{-1} . En general reportan mayores niveles de potasio de 117 a 291 mg kg^{-1} , excepto para *A. lechuguilla* (32 mg kg^{-1}), así como contenidos más bajos de sodio (de 44 a 80 mg kg^{-1}).

Así mismo en la Tabla 4 se observan los parámetros relacionados a la salinidad de los suelos y sus niveles en las localidades, éstos intervienen directa o indirectamente en la disponibilidad de nutrimentos. El pH en promedio fue cercano a la neutralidad, sin embargo se encontraron diferencias estadísticas entre los predios ($p < 0.05$), desde moderadamente ácidos en El Tepúa, neutros en El Básura y moderadamente alcalinos en La Vinorama; aunque para el caso de El Básura, los cuadrantes (C) fueron contrastantes, el C1 y C2 con pH promedio de 6.2 y el C3 de 7.8. En términos de pH, los primeros dos cuadrantes de El Básura son los que tienen mejor disponibilidad de nutrimentos, aunque ninguno de los demás rebasa los límites como para reducirla en gran medida. El pH en aquellos sitios entre 7.2 y 8.3 probablemente se relaciona más con la presencia de carbonatos de calcio, ya que el porcentaje de sodio intercambiable fue muy bajo (Castellanos *et al.*, 2000). La conductividad eléctrica fue menor de 1.0 dS m^{-1} y el porcentaje de sodio intercambiable menor de 15, por lo que son suelos sin problemas de salinidad y sodicidad respectivamente. Todos los iones considerados estuvieron en el límite o por debajo del mismo. Las únicas diferencias entre las localidades ($p < 0.05$) fueron en términos de nitratos y cationes de calcio, siendo un poco más altos en La Vinorama y El Tepúa 3.

Tabla 4. Características físicas y químicas del suelo en los sitios de estudio

Variable/Sitio	El Básura	El Tepúa	La Vinorama	Nivel de referencia
Materia orgánica (%)	1.8	2.1	1.5	2.0
N-NO ₃ ⁺ (mg kg ⁻¹) *	20.6 _a	21.5 _a	31.9 _b	35.0
P-PO ₄ ⁺³ (mg kg ⁻¹)	29.6	18.9	25.3	30.0
Potasio (ppm)	99.8	89.5	81.5	150.0
Calcio (ppm)	3,252.5	1,815.0	3,945.3	1,600.0
Magnesio (ppm)	415.0	320.0	467.5	250.0
S (mg kg ⁻¹)	17.8	18.0	17.3	70
Fe (mg kg ⁻¹) *	5.2 _a	13.9 _b	7.1 _a	6.0
Cu (mg kg ⁻¹)	1.0	5.8	0.6	2.0
Zn (mg kg ⁻¹) *	1.9 _a	3.6 _b	2.0 _a	1.8
Mn (mg kg ⁻¹)	2.5	3.3	1.8	7.0
Na (mg kg ⁻¹)	137.5	107.5	110.0	<100.0
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0.5	0.6	0.6	1.0
pH *	7.0 _{ab}	6.0 _a	7.8 _b	7.0
Sodio intercambiable (%) ⁽⁺⁺⁺⁾	0.1	0.1	0.0	-
Relación/adsorción de sodio ⁽⁺⁺⁾	0.8	0.8	0.6	<5.0
Sodio ⁺ (meq/lit)	1.1	0.9	0.9	<5.0
Nitratos (meq/lit) *	0.8 _a	1.1 _a	2.1 _b	3.0
Fosfatos (meq/lit)	0.1	0.1	0.1	0.1
Sulfatos (meq/lit)	0.6	0.8	1.1	2.0
Carbonatos (meq/lit)	0.0	0.0	0.0	<1.0
Bicarbonatos (meq/lit)	1.3	1.7	1.2	<3.0
Cloruros (meq/lit)	1.8	2.0	1.6	<5.0
K ⁺ (meq/lit)	0.1	0.2	0.1	0.5
Ca ²⁺ (meq/lit) *	2.5 _a	2.8 _a	4.2 _b	5.0
Mg ²⁺ (meq/lit)	0.8	1.4	0.9	2.0
Pedregosidad (%)	51.7	49.1	49.6	-
Arcilla (%)	12.0	12.5	9.0	-
Limo (%)	23.5	19.5	18.0	-
Arena (%)	64.5	68.0	73.0	-

*Literal distinta entre columnas indica diferencias significativas $p < 0.05$

En relación a las propiedades físicas encontradas, todas las localidades tuvieron una proporción alta de pedregosidad, siendo en promedio del 50% (Tabla 4). Excluyendo rocas y gravas, la porción de suelo restante presentó en su mayoría una textura gruesa, pues el porcentaje de sus partículas fundamentales como arcilla, limo y arena, estuvo representado por la última. Específicamente los sitios y su clase textural englobados en este grupo fueron: El Básura 1 y 3, El Tepúa 2 y La Vinorama 1, 2 y 3, cuya clase textural fue “Franco-Arenoso”, así como El Tepúa 3 con clase “Arena-Franco”. Estos suelos son sueltos y se desbaratan fácilmente cuando están húmedos; su principal característica es su baja capacidad para retener agua y nutrimentos como el nitrógeno nítrico, debido al número y tamaño alto de sus poros y a su bajo contenido de arcillas. Los suelos de los sitios restantes (El Básura 2 y Tepúa 1) son “Franco-Arcillo-Arenosos”, con texturas medias. Estos se caracterizan por su porosidad equilibrada, buena aireación y drenaje, que les permite una buena capacidad de retener agua y nutrimentos (Castellanos *et al.*, 2000). Gentry (1972) describe que los agaves prosperan en suelos con buenas condiciones de drenaje y sin problemas de alcalinidad, similar a las condiciones encontradas en los sitios de estudio.

7.3. Caracterización Biótica

7.3.1. Análisis de vegetación

En la Tabla 5 se presenta el listado de especies de árboles y arbustos encontradas en los diferentes cuadrantes del sitio El Tepúa. Éstas pertenecen al tipo de vegetación denominado matorral subtropical (Figura 8) y están representadas en su mayoría por el estrato arbóreo, siendo *Acacia cochliacantha* (chiráhui), la más importante para los cuadrantes 1 y 2. En cuanto al estrato arbustivo, las especies de mayor importancia son *Sebastiania bilocularis* (hierba de la flecha), *Cylindropuntia versicolor* (tasajo) e *Hyptis emoryi* (salvia), en los cuadrantes 1, 2 y 3, respectivamente. En datos publicados por Cervantes-Mendivil *et al.* (2007) respecto

a las plantas arbóreas y arbustivas predominantes en agostaderos apropiados para la siembra de *A. angustifolia*, no se incluye *A. cochliacantha*, pero sí la mayoría de las otras. Al parecer la dominancia de esta especie está relacionada con áreas de pastoreo bovino, la cual en ciertas circunstancias se considera invasiva y puede provocar el desplazamiento de otras poblaciones vegetales (Yetman, 1996; Armenta-Calderón, 2002). En cuanto a la relación de *A. cochliacantha* con *A. angustifolia* en base a sus valores de importancia, en el cuadrante 3 no se registró el chírahui durante el muestreo y el valor de importancia del agave prácticamente se duplica, aunque no se conoce con certeza si existe o no competencia entre ellas.

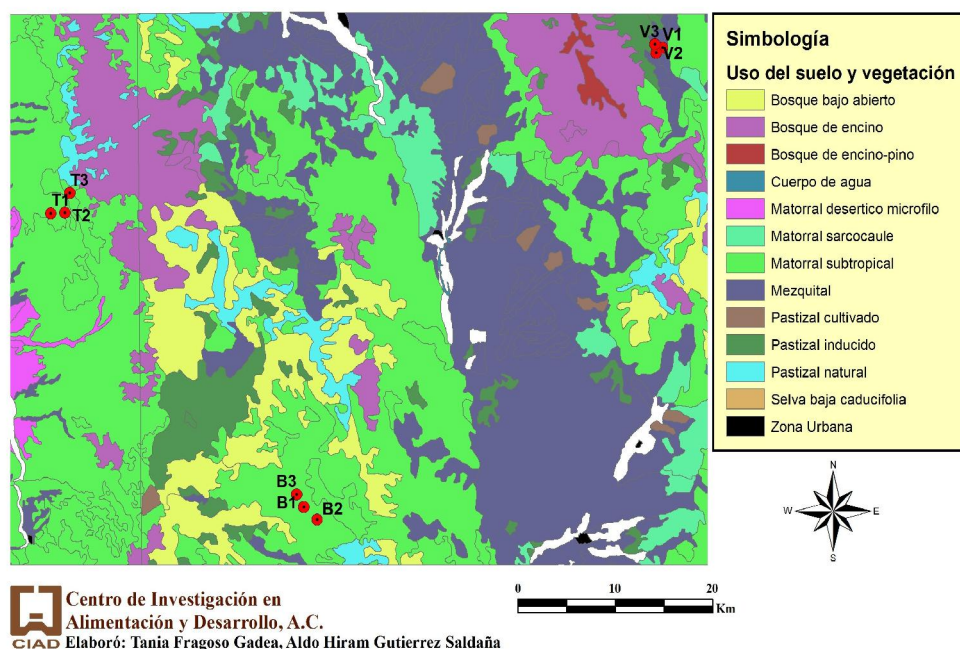


Figura 8. Mapa de tipos de vegetación en los sitios de estudio. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

Con respecto al sitio El Básura en Moctezuma (Figura 8; Tabla 6), el tipo de vegetación también se cataloga como matorral subtropical y está representado por el estrato arbóreo, siendo *Bursera laxiflora* (torote prieto), el más importante para los cuadrantes 1 y 3, y *Lysiloma divaricatum* (mauto) para el 2. En el estrato arbustivo, las especies de mayor importancia para los cuadrantes 1, 2 y 3, respectivamente son

Hyptis emoryi (salvia), *Croton flavescens* y *Caesalpinia pulcherrima* (tabachín de la sierra).

Tabla 5. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con *Agave angustifolia* en el sitio El Tepúa, Aconchi, Sonora

Estrato	Especie	Nombre común	Valor de importancia (Escala 1-300)		
			Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Árboreo	<i>Acacia cochliacantha</i>	Chírahui	78	84	-
	<i>Bursera laxiflora</i>	Torote prieto	5	7	55
	<i>Bursera lancifolia</i>	Torote blanco	NM	13	-
	<i>Erythrina flabelliformis</i>	Chilicote	-	14	-
	<i>Eysenhardtia orthocarpa</i>	Palo dulce	4	NM	-
	<i>Fouquieria macdougalli</i>	Ocotillo macho	10	14	-
	<i>Ipomoea arborescens</i>	Palo blanco	45	12	61
	<i>Jatropha cordata</i>	Papelío	23	21	28
	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Mauto	20	-	-
	<i>Lysiloma watsonii</i>	Tepeguaje	NM	23	30
	<i>Parkinsonia praecox</i>	Brea	NM	-	-
	<i>Prosopis</i> sp.	Mezquite	4	-	-
	<i>Stenocereus thurberi</i>	Pitaya	-	3	-
Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Vinorama	-	NM	12
	<i>Agave angustifolia</i>	Magüey	3	4	8
	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Tabachín de la sierra	-	15	20
	<i>Celtis pallida</i>	Garambullo	8	3	-
	<i>Croton ciliato-glanduliferus</i>	-	8	-	-
	<i>Cylindropuntia versicolor</i>	Tasajo	28	37	11
	<i>Encelia farinosa</i>	Rama blanca	5	-	NM
	<i>Hyptis emoryi</i>	Salvia	NM	-	72
	<i>Jatropha cardiophylla</i>	Sangrengado	24	10	-
	<i>Mimosa distachya</i>	-	4	14	-
	<i>Opuntia</i> spp.	Nopal	NM	-	3
	<i>Sebastiania bilocularis</i>	Hierba de la flecha	31	17	-
	<i>Senna</i> spp.	-	-	4	-
Herbáceo	<i>Lagascea decipiens</i>	Confiturilla amarilla	NM	-	-
	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Chicura	NM	-	-
	<i>Ambrosia cordifolia</i>	Chicurilla	NM	NM	-
	<i>Solanum eleagnifolium</i>	Mala mujer	NM	NM	NM

NM: No muestreada

Tabla 6. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con *Agave angustifolia* en el sitio El Básura, Moctezuma, Sonora

Estrato	Especie	Nombre común	Valor de importancia (Escala 1-300)		
			Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Arbóreo	<i>Bursera laxiflora</i>	Torote prieto	78	24	72
	<i>Bursera lancifolia</i>	Torote blanco	9	15	15
	<i>Ceiba acuminata</i>	Pochote	NM	-	-
	<i>Erythrina flabelliformis</i>	Chilicote	-	-	NM
	<i>Eysenhardtia orthocarpa</i>	Palo dulce	-	NM	-
	<i>Fouquieria macdougalli</i>	Ocotillo macho	27	-	12
	<i>Haematoxylon brasileto</i>	Palo brasil	-	4	-
	<i>Ipomoea arborescens</i>	Palo blanco	NM	-	-
	<i>Jatropha cordata</i>	Papelío	57	46	44
	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Mauto	-	70	-
	<i>Lysiloma watsonii</i>	Tepeguaje	-	-	12
	<i>Prosopis</i> sp.	Mezquite	-	36	16
	<i>Stenocereus thurberi</i>	Pitayo dulce	-	-	NM
	Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Vinorama	-	13
<i>Agave angustifolia</i>		Maguey	21	4	14
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>		Tabachín de la sierra	15	-	24
<i>Coursetia glandulosa</i>		Sámota	4	-	NM
<i>Croton flavescens</i>		-	-	48	-
<i>Cylindropuntia versicolor</i>		Tasajo	4	7	19
<i>Dodonaea viscosa</i>		Tarachique	-	15	-
<i>Hyptis emoryi</i>		Salvia	36	-	18
<i>Jatropha cardiophylla</i>		Sangrengado	4	13	11
<i>Krameria grayi</i>		Cósahui	4	-	16
<i>Mimosa distachya</i>		Gatuño	23	4	13
<i>Sebastiania bilocularis</i>		Hierba de la flecha	6	-	11
<i>Tecoma stans</i>		Lluvia de oro	5	-	-
Herbáceo		<i>Lagascea decipiens</i>	Confiturilla amarilla	NM	NM
	<i>Turnera difusa</i>	Damiana	NM	-	NM
	<i>Solanum eleagnifolium</i>	Mala mujer	NM	NM	NM

NM: No muestreada

Por último se tiene que el sitio La Vinorama (Figura 8; Tabla 7) está representado por el estrato arbóreo, siendo *Prosopis* spp. (mezquite), el más importante para los cuadrantes 1 y 3, y *Jatropha cordata* (papelío) para el número 2.

En el estrato arbustivo la especie de mayor importancia en los tres cuadrantes fue *Encelia farinosa* (rama blanca).

Tabla 7. Composición florística y estructura de la vegetación de poblaciones con *Agave angustifolia* en el sitio La Vinorama, Huásabas, Sonora

Estrato	Especie	Nombre común	Valor de importancia (Escala 1-300)		
			Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Arbóreo	<i>Acacia greggi</i>	Tésota	-	NM	-
	<i>Bursera laxiflora</i>	Torote prieto	4	29	74
	<i>Bursera lancifolia</i>	Torote blanco	-	NM	9
	<i>Jatropha cordata</i>	Papelío	-	73	-
	<i>Parkinsonia praecox</i>	Brea	52	-	-
	<i>Prosopis</i> sp.	Mezquite	103	68	86
	<i>Stenocereus thurberi</i>	Pitayo dulce	21	-	9
Arbustivo	<i>Acacia farnesiana</i>	Vinorama	-	NM	-
	<i>Agave angustifolia</i>	Magüey	9	13	4
	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Tabachín de la sierra	-	4	4
	<i>Celtis pallida</i>	Garambullo	13	18	NM
	<i>Coursetia glandulosa</i>	Sámota	-	17	5
	<i>Cylindropuntia leptocaulis</i>	Tasajillo	4	4	-
	<i>Cylindropuntia versicolor</i>	Tasajo	27	8	15
	<i>Dodonaea viscosa</i>	Tarachique	4	-	-
	<i>Encelia farinosa</i>	Rama blanca	30	45	40
	<i>Hyptis emoryi</i>	Salvia	-	-	NM
	<i>Jatropha cardiophylla</i>	Sangrengado	6	7	22
	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Tullidora	NM	-	-
	<i>Lycium</i> spp.1	Salicieso	17	NM	-
	<i>Lycium</i> spp.2	Salicieso	NM	10	-
	<i>Mimosa distachya</i>	Gatuño	11	5	12
	<i>Opuntia</i> spp.	Nopal	-	-	4
	<i>Sebastiania bilocularis</i>	Hierba de la flecha	-	-	12
Herbáceo	<i>Lagascea decipiens</i>	Confiturilla amarilla	NM	NM	-
	<i>Solanum eleagnifolium</i>	Mala mujer	NM	NM	-

NM: No muestreada

Una característica que distingue a las comunidades vegetales es su diversidad, es decir, el grado de complejidad en cuanto a número y dominancia de especies; y será mayor conforme aumente el número de especies y disminuya la dominancia de una o pocas con respecto a las demás. Entre los índices ecológicos que existen para medir la diversidad, uno de los más ampliamente utilizados es el de Shannon-Weiner, que toma en cuenta tanto la riqueza como la uniformidad de las especies (Franco-López *et al.*, 1985). La diversidad vegetal encontrada en los sitios de estudio fue similar entre ellos, con valores globales de 2.8, 2.7 y 2.5 para los predios El Tepúa, El Básura y la Vinorama respectivamente. Específicamente el cuadrante con más diversidad fue El Tepúa 2 con un valor de 2.6 y la menor, en El Tepúa 3 y La Vinorama 2 (Figura 9).

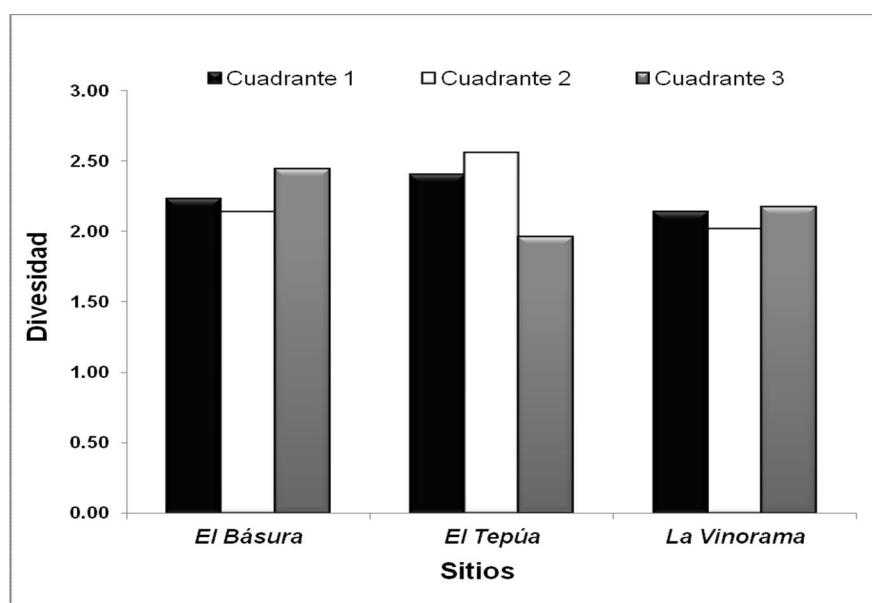


Figura 9. Índice de diversidad de Shannon para las comunidades vegetales de los sitios de estudio.

Otros índices que se evalúan al estudiar comunidades vegetales son el de dominancia de Simpson y equidad de Pielou. El primero manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie, su escala es de 0 a 1 y es inverso a la diversidad (Magurran, 1988; Lande, 1996). El

índice de equidad de Pielou mide la proporción de la diversidad observada, con relación a la máxima diversidad esperada y su rango va de 0 a 1 (Franco-López *et al.*, 1985). La Figura 10 muestra el análisis fenético de los sitios en base a las características evaluadas en los índices ecológicos y la riqueza de especies. Los sitios se agrupan en dos clados con un índice de disimilitud de 1.75 entre ellos. En el primero se observa la similitud de comunidades entre los sitios Básura 3, Tepúa 1 y 2; y el resto de los sitios ubicados en el segundo clado. Esta separación obedece a que el primer grupo presenta los valores de riqueza, diversidad y uniformidad más elevados, así como una dominancia baja, características que sugieren comunidades ricas en especies vegetales con una buena dinámica entre sus componentes.

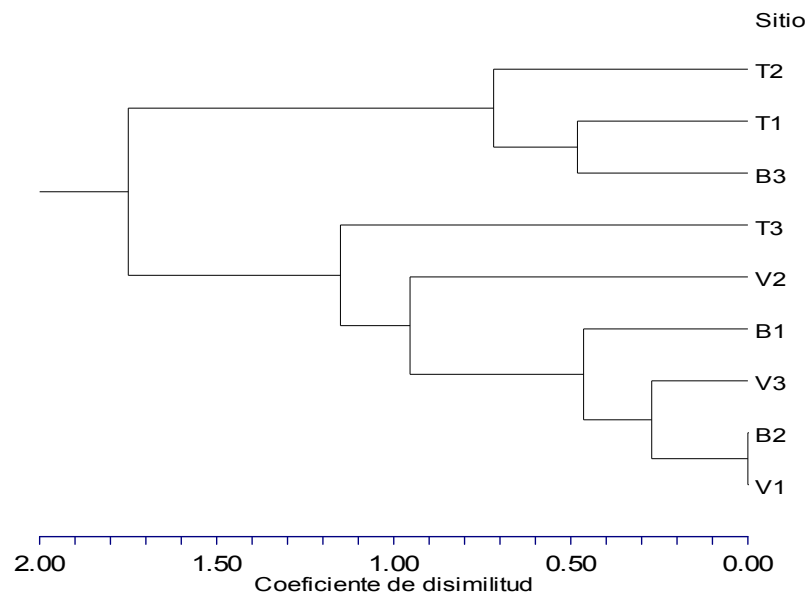


Figura 10. Dendrograma de índices ecológicos entre sitios. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; y V: La Vinorama. Cuadrantes: 1, 2 y 3.

7.3.2. Análisis poblacional

En la Figura 11 se observan las diferencias en la densidad de plantas de *A. angustifolia* en cada uno de los sitios. La caracterización de las poblaciones indicó que la mayor densidad de agaves está en El Básura y La Vinorama, con 756 y 723 individuos ha^{-1} respectivamente; El Tepúa mostró la menor densidad con 489 individuos ha^{-1} .

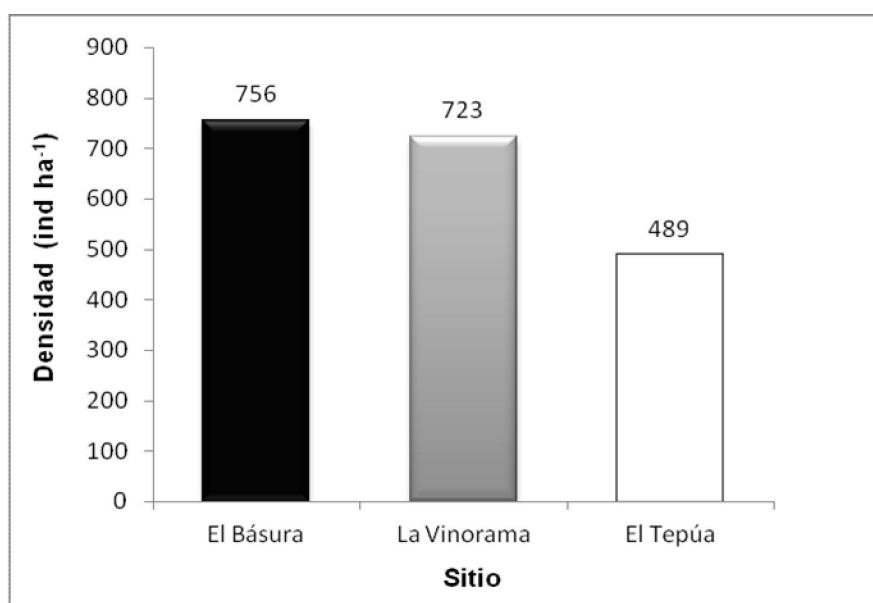


Figura 11. Densidad de las poblaciones de *Agave angustifolia* en los sitios El Básura en Moctezuma, La Vinorama en Huásabas y El Tepúa en Aconchi, Sonora.

Las densidades encontradas en El Básura y La Vinorama son mayores a las reportadas por Moreno-Salazar (2006) para tres poblaciones en el municipio de Nácori Chico, que corresponden al límite este de la distribución de *A. angustifolia* en Sonora, donde se observó un fuerte grado de perturbación poblacional. Sin embargo, el sitio El Tepúa fue similar en densidad que dos de ellas con 500 individuos ha^{-1} . Cabe mencionar que los cuadrantes 1 y 2 de este sitio influyeron fuertemente en la densidad total por su baja proporción de agaves (Tabla 8). Las causas probables que pudieran atribuirse a esta diferencia son quizá el tipo de suelo de estos sitios, ya que

El Tepúa 2 presenta vertisoles, cuyas características de menor drenaje pudiera limitar su establecimiento. O bien que la cobertura vegetal en ambos cuadrantes es cercana al 100% lo que provoca menos entrada de luz solar a los estratos menores. En este sentido Gentry (1972), indica que los agaves requieren suelos con buen drenaje así como una amplia exposición a la luz solar para poder desarrollarse, una vez que lograron establecerse, es decir, son heliofíticos.

Tabla 8. Tamaño de las poblaciones de *A. angustifolia* en los sitios de estudio

Cuadrante	El Básura	El Tepúa	La Vinorama
1	317	72	157
2	88	74	169
3	162	221	216

Área de cuadrante: 2500m²

En relación a la proporción de hijuelos unidos a una planta madre vs. con crecimiento independiente, la Figura 12 indica que se mantiene relativamente similar para los tres sitios, el porcentaje de individuos independientes oscila entre 33 y 45%. Del total de agaves con crecimiento independiente, aquellos que son plantas madre constituyen el 75% en el sitio El Tepúa, 74% en La Vinorama y 56% en El Básura (Figura 13), con rangos en el número de hijuelos de 1-9, 1-12 y 1-10 respectivamente. El número más frecuente en los tres sitios fue 1 hijelo por planta madre.

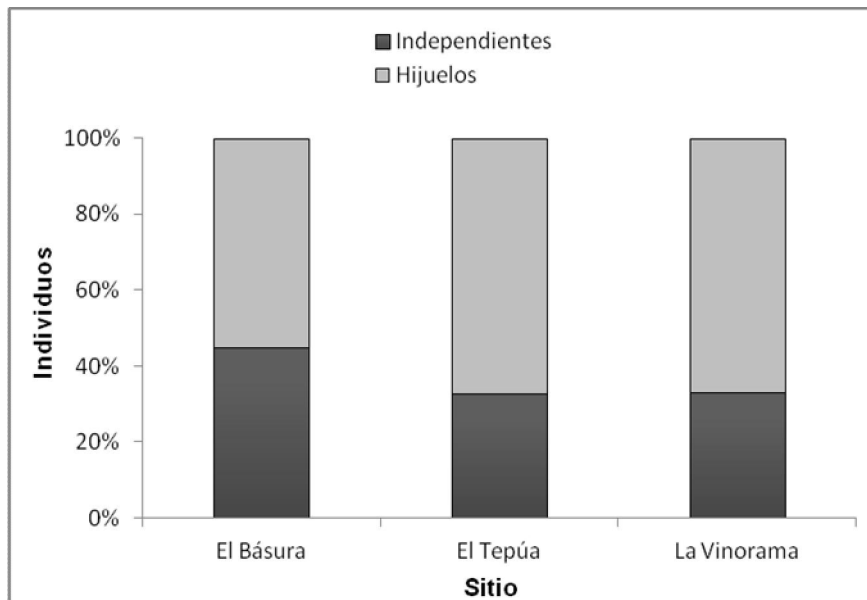


Figura 12. Proporción de hijuelos y agaves de crecimiento independiente.

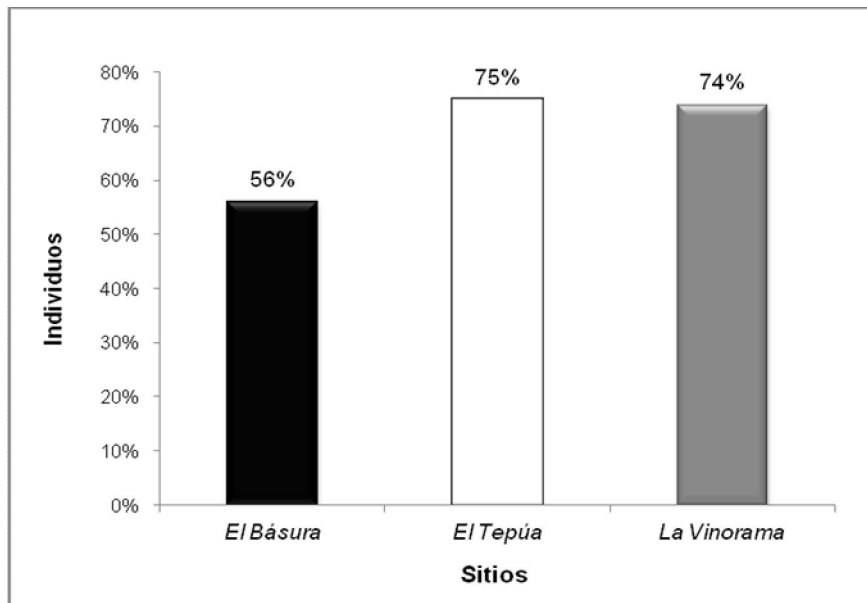
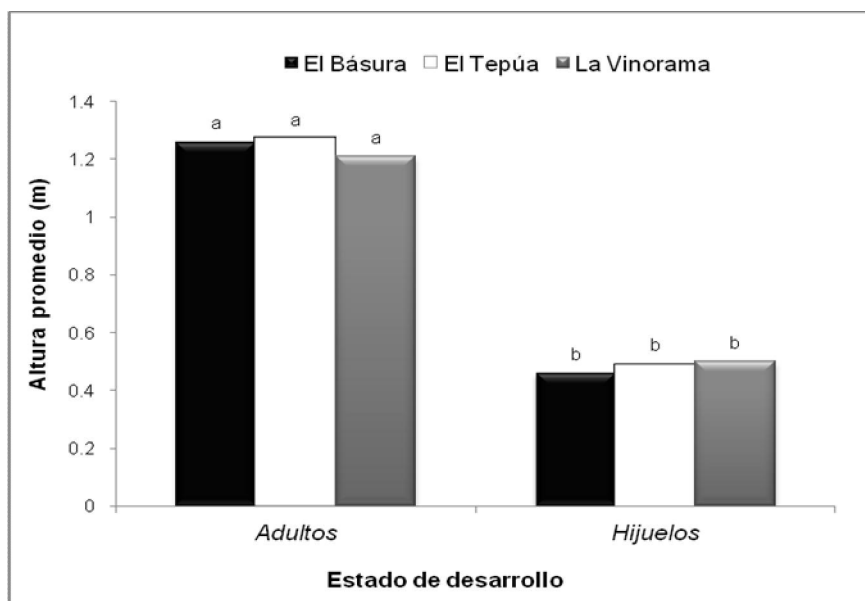


Figura 13. Proporción de agaves independientes que son plantas madre en los sitios de estudio.

En cuanto a la talla del agave, la Figura 14 indica el promedio de altura de los individuos adultos e hijuelos. No se encontraron diferencias significativas entre los sitios ($p > 0.05$), los adultos tuvieron una talla media de 1.3 m, mientras que los

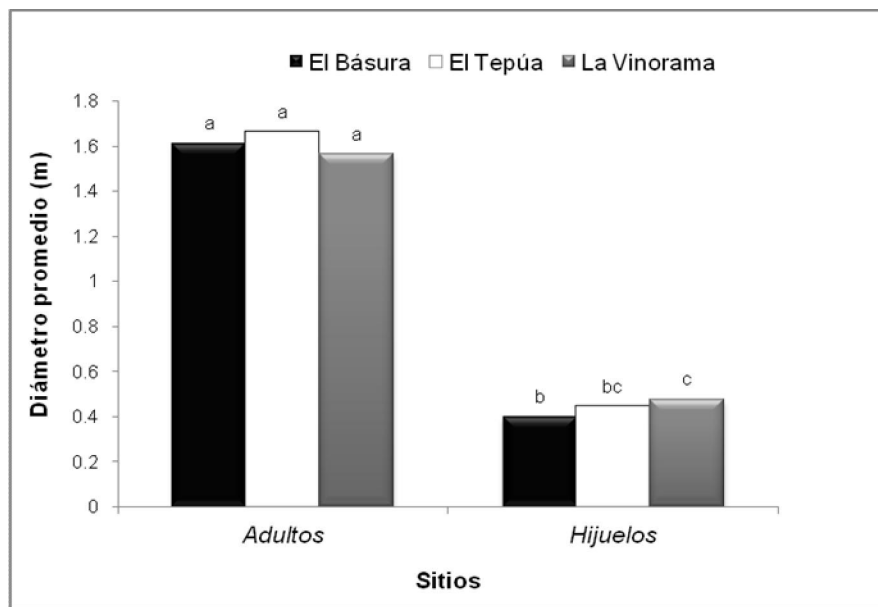
hijuelos alcanzaron un promedio de 0.5 m de altura. Estas tallas están dentro del rango de 0.9 a 1.8 m que tuvieron las poblaciones estudiadas por Moreno-Salazar (2006) y se ajusta al intervalo que maneja Gentry (1982) en la descripción de la especie.



*Literal distinta indica diferencias significativas $p < 0.05$

Figura 14. Talla promedio de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

Con respecto al diámetro promedio de los agaves (Figura 15) se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Los adultos presentaron un diámetro promedio de 1.6 a 1.7 m en los tres sitios, mientras que los hijuelos tuvieron ligeramente mayor diámetro en El Tepúa y La Vinorama, con 0.44 y 0.48 m respectivamente, y 0.40 m en el Básura. Los diámetros encontrados coinciden con las poblaciones estudiadas tanto por Moreno-Salazar (2006), con intervalos de 0.9 a 2.9 m, como por Gentry (1982) de 1.5 a 2.0 m.



*Literal distinta indica diferencias significativas $p < 0.05$

Figura 15. Diámetro promedio de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

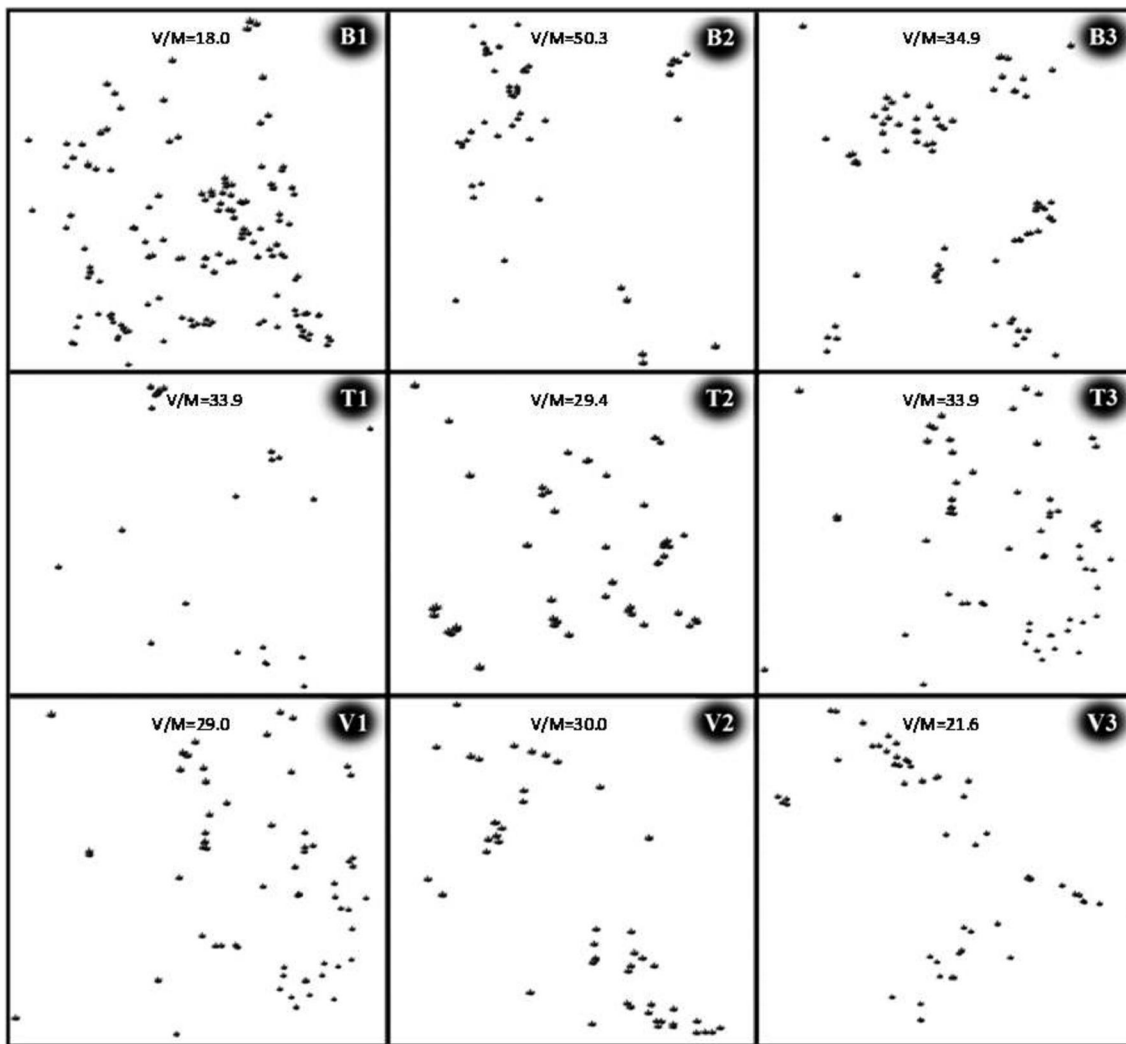
En la Tabla 9 se resumen los indicadores más importantes que presentaron los individuos adultos de la especie. Durante el muestreo inicial se encontró un porcentaje del 3 al 7% con presencia de escapo floral, mismo que se elevó en el siguiente año hasta un 13% en los predios El Básura y El Tepúa respectivamente. En la Vinorama no hubo visita posterior debido a que ya habían sido tomadas las muestras.

En cuanto al modo de crecimiento, hasta un 88% formaban colonias y la mínima proporción presentó un crecimiento individual. La distribución de los individuos de una población vegetal puede seguir tres comportamientos, encontrarse con una disposición espacial al azar, uniforme o amontonada. Al estimar el tipo de distribución a través de la Razón Varianza/Media se encontraron coeficientes mayores a 1, desde 18.0 en el Básura 1, hasta 50.3 en el Básura 2 (Figura 16). Estos valores indican que la población en todos los sitios tiene un tipo de distribución agrupada y entre más alto es el coeficiente, es mayor su grado de amontonamiento. En la naturaleza es el arreglo espacial más frecuente en las poblaciones vegetales,

donde sugiere una interacción positiva entre sus elementos, de manera que se forman agrupaciones o núcleos más densos (Franco-López *et al.*, 1985). Con respecto a la distribución de los agaves en Sonora, Gentry (1972) describe que es escasa y dispersa, creciendo principalmente en laderas rocosas de cerros y montañas, donde muchas de sus poblaciones consisten en pequeñas colonias. Una de las especies del género con estas características es *Agave pacífica*, la cual crece dispersa en laderas rocosas entre la vegetación, conformando generalmente grupos muy espaciados (Gentry, 1972).

Tabla 9. Indicadores de las poblaciones de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio

Característica/Sitio	El Básura	El Tepúa	La Vinorama
Con inflorescencia	7% (13% año II)	3% (13% año II)	3%
Crecimiento en colonias	84%	71%	88%
Con planta nodriza	89%	91%	89%
Planta nodriza principal	<i>Bursera laxiflora</i>	<i>Acacia cochliacantha</i>	<i>Prosopis</i> spp.
Posición respecto a nodriza	Oeste	Norte y este	Oeste



*B: El Básura, T: El Tepúa, V: La Vinorama: Cuadrantes 1, 2 y 3; V/M: Razón Varianza/Media.

Figura 16. Distribución de los individuos de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

Así mismo se encontró una fuerte tendencia de alrededor del 90% de los agaves a establecerse bajo la protección del dosel de distintas plantas que pudieran actuar como nodriza (Tabla 9). Esta característica se observó en los estudios de Gentry (1982), Núñez-Noriega (2001), Armenta-Calderón (2002) y Barraza-Morales *et al.* (2006), pero no se había cuantificado en poblaciones silvestres de *A. angustifolia* en Sonora, donde esta especie parece requerir de esta asociación. Existen muchas especies que necesitan la protección de un dosel amplio y compacto de la planta nodriza. En estas poblaciones se registraron árboles y arbustos de tipo

caducifolio, que si bien protegen con sombra en las horas de mayor radiación solar, permiten el paso de la luz necesaria para cubrir las necesidades heliofíticas del agave (Gentry, 1972). La distancia promedio entre el agave y la posible planta nodriza más cercana y/o importante fue de alrededor de 1 m en todos los sitios. En las áreas muestreadas, la especie asociada con mayor frecuencia fue *Bursera laxiflora* en El Básura, *Acacia cochliacantha* en El Tepúa y *Prosopis* spp. en La Vinorama, mismas que en el análisis de vegetación fueron las especies más importantes en relación a su densidad, dominancia y frecuencia relativas en cada sitio.

En relación a la posición de los agaves con respecto a la posible planta nodriza más cercana o importante, la orientación fue variable. Sin embargo la mayor frecuencia fue hacia el oeste, lo cual es importante considerando la protección que ejerce durante las horas de mayor radiación solar.

7.3.3. Análisis morfológico

El análisis de componentes principales de 19 variables morfológicas evaluadas en las plantas de *A. angustifolia*, mostró que seis factores explican el 71.6% de la variabilidad de los datos. Seleccionando aquellas variables de correlaciones mayores a ± 0.4 con los seis factores, se tiene que el primer factor correlaciona positivamente con la variable “tono del color” ($r=+0.4$) y negativamente con la “relación peso seco/peso fresco de la piña” ($r=-0.4$). El segundo factor con la “relación número de dientes/longitud de la hoja” ($r=+0.4$), “circunferencia de piña”, “peso fresco de piña” y “distancia entre dientes del centro” ($r=-0.4$ respectivamente). El tercero con el “ancho de la espina” ($r=+0.5$), “longitud de la espina” ($r=+0.4$) y “saturación del color” ($r=-0.4$). Para el factor 4 las variables mejor correlacionadas fueron la “relación longitud/ancho medio de la hoja” ($r=+0.5$), “longitud de dientes”, “relación longitud/ancho base de la hoja” y “quiote cortado o sin cortar” ($r=+0.4$ respectivamente). El factor 5 correlacionó más con el “ancho de dientes” ($r=-0.6$) y por último el número 6

con la “luminosidad del color” ($r=+0.5$) y la “relación peso seco/peso fresco de hojas” ($r=-0.4$).

Por otro lado, al contrastar los seis factores para ver grupos de plantas con similitudes en su forma, se encontraron 4 morfotipos generales y un último grupo muy heterogéneo (Figura 17), sus características promedio para las variables más importantes se muestran en la Tabla 10. Las plantas del primer grupo, en orden ascendente, lo conforman principalmente individuos de El Básura y El Tepúa; en el segundo grupo destacan plantas de El Básura 1; en el tercero se agrupan las de La Vinorama; en el cuarto sólo hay cuatro agaves de El Básura en su mayoría y por último hay una mezcla de plantas de varios sitios con características muy disímiles. El primer grupo presenta un color más verdoso y opaco, el resto tuvo una coloración amarilla y ligeramente más clara. Las hojas de los grupos 1, 2 y 3 mantuvieron la misma relación entre los pesos seco/fresco (0.2 g) a pesar de sus diferencias en dimensiones. En cambio en el 4 la relación fue de 0.3 g, lo que sugiere plantas con mayor biomasa en sus hojas.

En términos de las dimensiones de sus hojas, en los agaves del primer y segundo grupo son más largas y delgadas que en las del tercero y cuarto. La proporción de dientes es muy similar en todos, ligeramente mayor en el primero, y en los agaves más cortos se reduce la distancia entre ellos. El tercer grupo se distingue por su mayor tamaño de dientes y espina apical, así como en la proporción diámetro/altura; el peso fresco de sus piñas es menor, pero se iguala a los demás en términos de biomasa. La circunferencia de las piñas se mantuvo similar excepto en el primer grupo, donde fueron más delgadas. Al comparar estos resultados con los de Moreno-Salazar (2006), para poblaciones de *A. angustifolia* en Nácori Chico, Sonora, se tienen algunas diferencias. Primeramente, en el presente estudio se encontraron dos grupos de agaves (4° y 5°) con una mayor relación diámetro/altura, es decir individuos con un diámetro más de 1.7 veces mayor que su altura. Así mismo el 4° grupo presenta mayor biomasa foliar y piñas con un promedio más alto de peso

fresco. En general el resto de los parámetros está dentro de los rangos reportados por Moreno-Salazar (2006). En cuanto a la descripción de Gentry (1982) para la especie, la mayoría queda dentro de las dimensiones citadas, aunque también se encontraron hojas más largas y más delgadas, desde 72 a 164 por 2.5 a 10 cm, mientras que Gentry reporta hojas de 60 a 120 por 3.5 a 10 cm. Estas diferencias se pueden atribuir probablemente a la hibridación de *A. angustifolia* con *A. rhodacantha*, una especie con mayores dimensiones, sin embargo taxonómicamente aún está en discusión la separación o unificación de ambas especies (García-Mendoza, com. pers.).

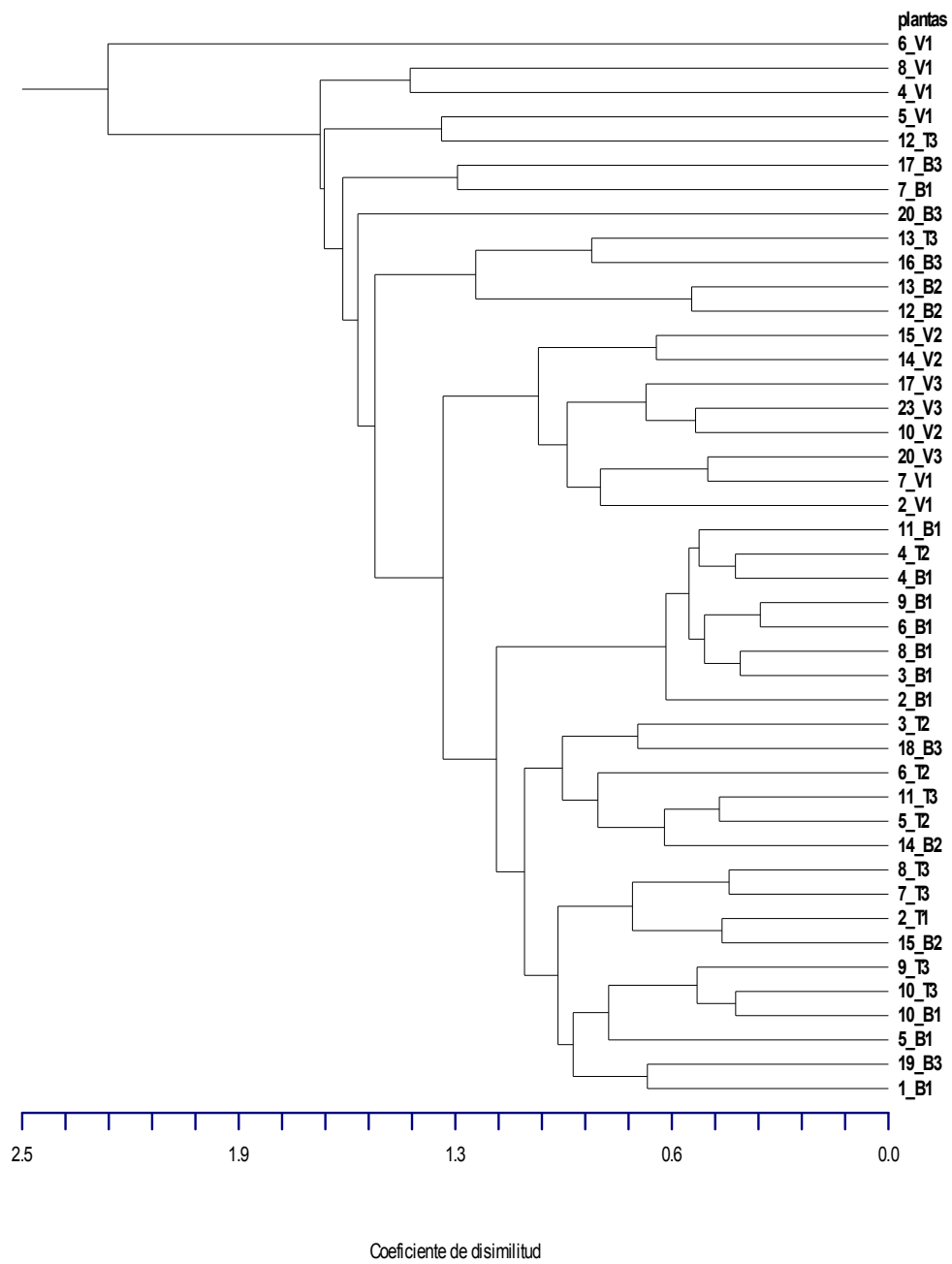


Figura 17. Agrupamiento de individuos de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio en relación a sus características morfológicas principales. Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

Tabla 10. Principales características morfológicas de los grupos de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio

Grupos de individuos de <i>A. angustifolia</i>	1,5,10 B1 ; 14,15 B2 ; 18,19 B3 ; 2 T1 ; 3,5,6 T2 ; 7-11 T3	2-4,6,8,9,11 B1 ; 4 T2	2,7 V1 ; 10,14,15 V2 ; 17,20,23 V3	12,13 B2 ; 16 B3 ; 13 T3	7 B1 ; 17,20 B3 ; 12 T3 ; 4-6,8 V1
Luminosidad (L*)	44.3	51.0	53.9	45.8	49.8
Tono (°Hue)	128.6	125.3	123.3	124.6	123.7
Saturación (Croma)	26.6	36.9	26.2	32.1	25.2
Adjetivo de Color	Verde-Amarillo grisáceo	Amarillo-Verde grisáceo	Amarillo-Verde grisáceo	Amarillo-Verde grisáceo	Amarillo-Verde grisáceo
Pesos seco/fresco hoja (g)	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2
Long/Ancho base hoja (cm)	19.8	20.1	16.9	14.9	21.4
Long/Ancho medio hoja (cm)	21.1	23.7	16.7	18.1	24.1
No.dientes/ Long. hoja (cm)	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9
Ditancia dientes centrales (cm)	2.0	2.5	1.7	1.6	2.3
Ancho dientes (cm)	0.7	0.9	0.8	1.4	0.9
Long. dientes (cm)	0.5	0.4	0.5	0.6	0.6
Long. espina (cm)	2.1	2.2	2.5	2.8	2.5
Ancho espina (cm)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
Diámetro/Altura (m)	1.3	1.5	1.4	1.8	1.7
Peso fresco piña (kg)	10.8	12.7	15.0	9.7	13.8
Pesos seco/fresco piña (kg)	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4
Circunf. piña (cm)	76.1	85.0	85.7	84.0	84.3

Predios B: El Básura; T: El Tepúa; V: La Vinorama. Cuadrantes 1, 2 y 3.

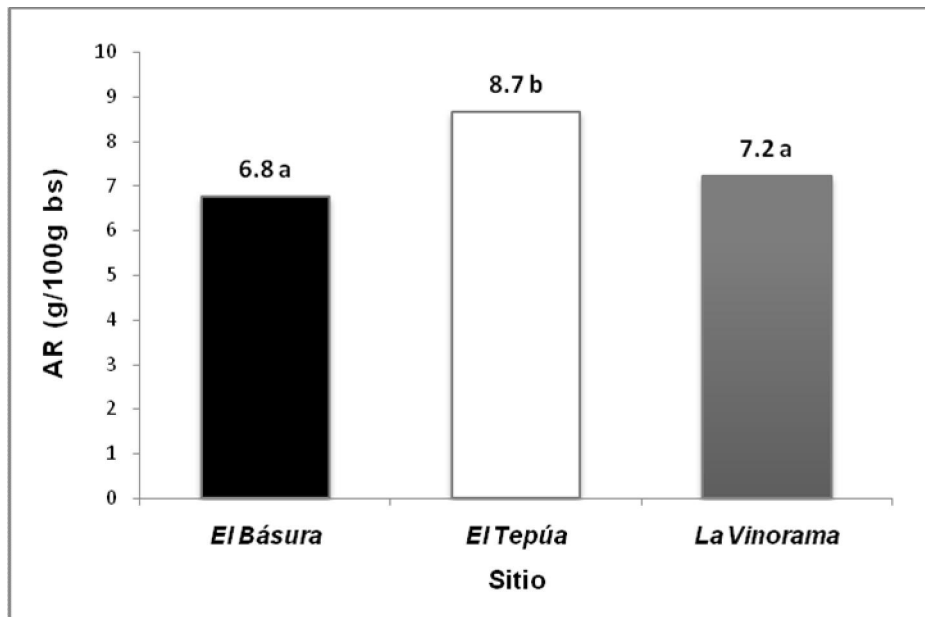
7.4. Cuantificación de Azúcares

7.4.1. Azúcares reductores (AR)

En la Figura 18 se muestra el contenido de AR encontrado en las piñas de *A. angustifolia* seleccionadas de los sitios de estudio. Los valores fueron variables y oscilaron desde 2.7 hasta 15.6 g/100 g (base seca), con un promedio de 7.4 g/100 g. Al comparar las localidades de estudio, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), las plantas del predio El Tepúa presentaron el promedio más elevado con un valor de 8.7%, seguidas por las de La Vinorama y El Básura con 7.2 y 6.8% respectivamente. Específicamente el sitio con menor proporción de AR fue El Básura 3 (4.5%). Bautista-Justo *et al.* (2001), reportan un contenido entre 24 y 27% de AR totales en *Agave tequilana*. Moreno-Salazar (2006), encontró en *A. angustifolia* de la sierra sonoreNSE un promedio de 42% de AR totales en base seca, dejando claro el potencial que tiene la especie. Esta diferencia tan grande con respecto a sus resultados pudiera atribuirse a que al parecer se realizó una hidrólisis previa, por lo que se incluyen los azúcares reductores contenidos en los fructanos. Así mismo Moreno-Salazar (2006) analizó una porción central de la piña, para la cual se ha observado un gradiente de concentración de azúcares, mientras que en las piñas del presente análisis, las muestras se homogenizaron.

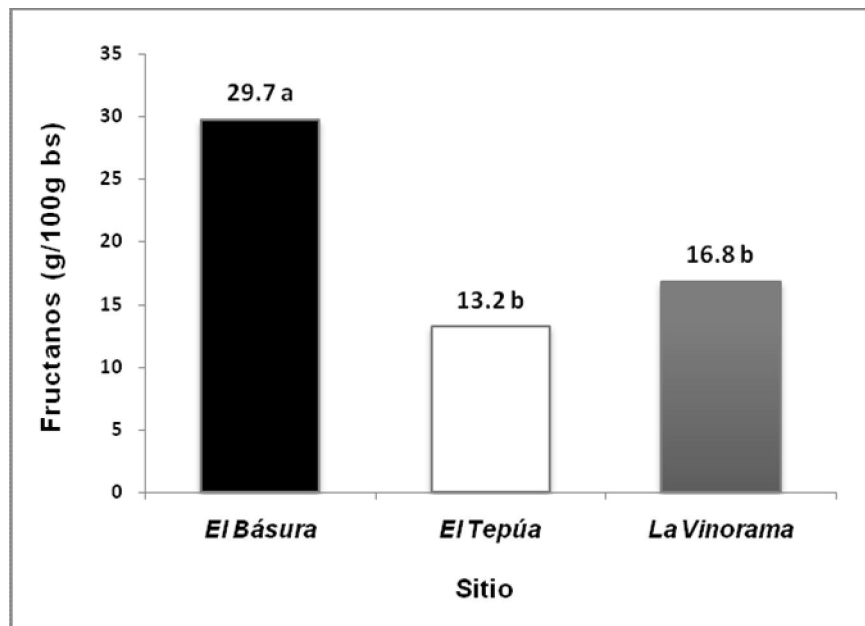
7.4.2. Fructanos

El contenido de fructanos de las piñas de agave evaluadas, se encontró en un rango de 5.1 a 61.1 g/100 g (base seca), con un promedio de 21.6. En relación a las localidades, El Básura obtuvo el promedio más elevado, con 29.7% (Figura 19), diferente estadísticamente ($p < 0.05$) con las dos restantes y destacándose el cuadrante 3 por sus altos porcentajes (45.7%).



*Literal distinta indica diferencias significativas $p < 0.05$

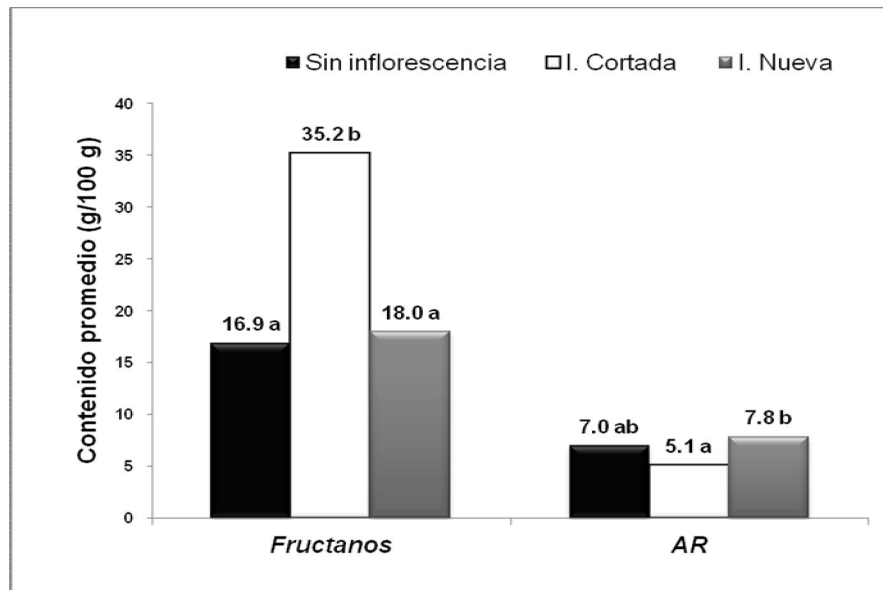
Figura 18. Contenido de azúcares reductores (AR) en piñas de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.



*Literal distinta indica diferencias significativas $p < 0.05$

Figura 19. Contenido de fructanos en piñas de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

Las plantas de *A. angustifolia* fueron cosechadas en diferentes estados de madurez, algunas tenían cortada la inflorescencia desde 1-2 años atrás, otras se cortaron cuando recién emergía y un tercer grupo no tenían inflorescencia, pero presentaban signos de madurez vegetativa. Al comparar su contenido promedio de azúcares se encontraron diferencias significativas al 95% de confianza (Figura 20). El grupo que tuvo el promedio más elevado de fructanos (35.2%) fue el que tenía cortada la inflorescencia previamente; las plantas sin qurote y las de nueva floración no presentaron diferencias entre sí ($p>0.05$), su promedio fue de 16.9 y 18.0% respectivamente. En cuanto al contenido de azúcares reductores, contrario a la tendencia de fructanos, las plantas con inflorescencia nueva y aquellas sólo maduras vegetativamente presentaron el porcentaje mayor (7.8 y 7.0% respectivamente, $p>0.05$). La inulina es el componente mayoritario de los fructanos de agaves, se ha visto que durante la germinación de semillas, es degradada completamente a fructosa para producir la energía requerida en los ápices en crecimiento (Wesche, 2000). En base a esta observación podría suponerse que durante la floración suceda el mismo desdoblamiento de fructanos, incrementándose la proporción de azúcares reductores. Por otro lado Bautista-Justo *et al.* (2001), mencionan que las piñas que han alcanzado su madurez reproductiva tienden a presentar mayor contenido de azúcares reductores totales, incluyendo los provenientes de la hidrólisis de fructanos. Sin embargo en los resultados obtenidos la diferencia se basó en el tiempo entre el corte de la inflorescencia y la cosecha de la planta, y no en su etapa de madurez. Sin embargo son muchas las variables involucradas en la síntesis de azúcares, por lo que esta tendencia no debe tomarse como definitiva.



*Literal distinta indica diferencias significativas $p < 0.05$

Figura 20. Diferencias en el contenido de fructanos y azúcares reductores (AR) en piñas de *Agave angustifolia* de acuerdo a características de inflorescencia (I.).

7.4.3. Sólidos solubles

La medición de °Brix es una escala arbitraria para determinar el porcentaje de sólidos solubles en una muestra; cuando esta contiene azúcares principalmente, es una medida indirecta de su proporción, ya que se han encontrado correlaciones altas entre los mismos (Bautista-Justo *et al.*, 2001). En las piñas evaluadas el rango de °Brix osciló entre 7.2 y 42.4%, con un promedio de 21.7%, similar a los valores encontrados por Bautista-Justo *et al.* (2001) en piñas de *Agave tequilana* (25-31%). Al evaluar su relación con el contenido de fructanos, se encontró una correlación de 0.65, mientras que con el contenido de azúcares reductores totales (ART), incluyendo los provenientes de la hidrólisis de fructanos, ésta fue de 0.62 (Figura 21 y 22). Estos resultados sugieren que la medición de °Brix podría utilizarse en cierta medida para tener una aproximación del contenido de fructanos y/o ART para *Agave angustifolia* en Sonora. En *Agave tequilana* cultivado se han encontrado correlaciones de 0.96 entre °Brix y ART (Bautista-Justo *et al.*, 2001).

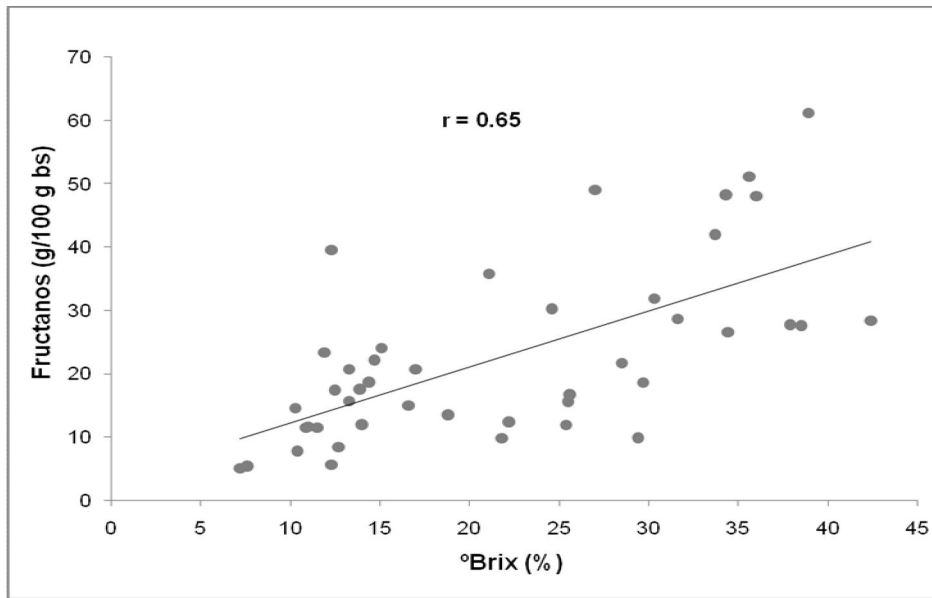


Figura 21. Correlación entre °Brix y el contenido de fructanos en piñas de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

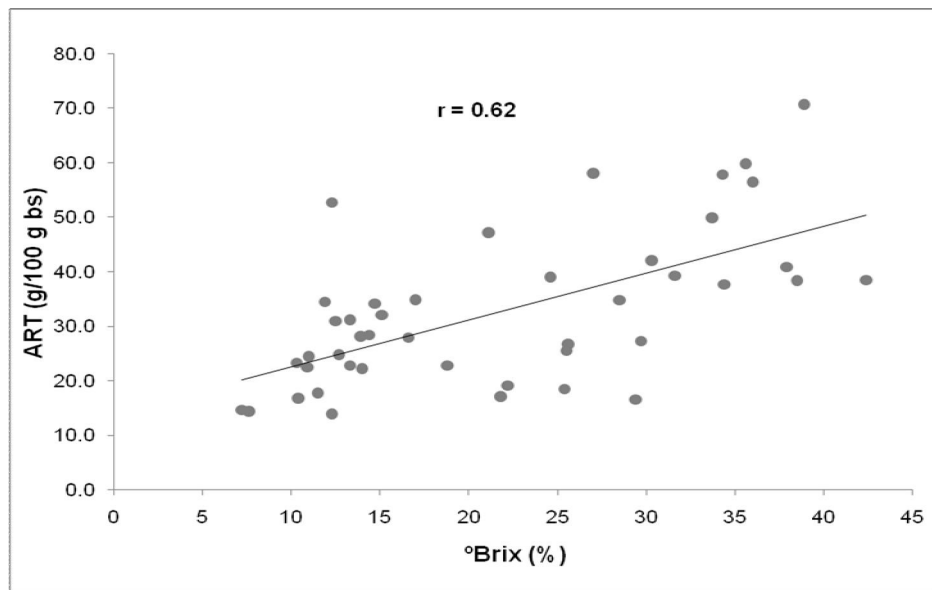


Figura 22. Correlación entre °Brix y el contenido de azúcares reductores totales (ART) en piñas de *Agave angustifolia* en los sitios de estudio.

7.5. Análisis multivariado

Al realizar un análisis de componentes principales con 79 de las variables evaluadas, se logró encontrar las relaciones de mayor nivel entre ellas. Los resultados indican que con seis factores se explica más del 70% de la variabilidad de los datos (Tabla 11). De las correlaciones (r) encontradas entre dichos factores con cada variable, se seleccionaron las superiores al 20%, destacando 35 variables (Tabla 12). El primer factor presenta correlaciones, positivas y negativas, con variables climáticas y edáficas; las más altas fueron para el parámetro “temperatura máxima promedio durante los meses de Octubre a Marzo” y “niveles de pH” (-0.22). Las correlaciones más representativas del factor número 2 también son referentes a clima y componentes del suelo, tienen una r de 0.25 con “temperatura mínima promedio” (negativa) y con “conductividad eléctrica” (positiva). El tercer factor correlacionó con variables topográficas, edáficas y ecológicas, siendo las de “pendiente” (0.20), “materia orgánica” (-0.30) y “cobertura vegetal” (-0.29), respectivamente las de coeficientes más altos. El resto de los factores se relacionó más con variables edáficas, ecológicas y morfológicas, con valores de hasta 0.27 para “contenido de potasio” y “diversidad vegetal”, y 0.25 con “peso fresco de la piña” respectivamente.

Tabla 11. Componentes principales de las variables evaluadas en *Agave angustifolia*

No. Factores	Valor propio	Varianza Explicada (%)	Varianza explicada acumulada (%)
1	18.08	22.88	22.88
2	12.90	16.33	39.21
3	8.05	10.19	49.40
4	7.47	9.46	58.86
5	6.04	7.65	66.51
6	4.31	5.46	71.97
7	4.06	5.14	77.11
8	2.38	3.01	80.12
9	2.18	2.76	82.88
10	1.70	2.15	85.03

Tabla 12. Coeficiente de correlación entre factores principales y variables evaluadas en *Agave angustifolia*

Tipo de Variable	Variable/Factor	1	2	3	4	5	6
Climática	Temperatura mín. prom. anual (°C)		-0.25				
	Temperatura máx. prom. Oct-Mzo (°C)	-0.22					
Topográfica	° Pend			0.20			
Edáfica	Cloruros (meq/lit)	0.21					
	Calcio (ppm)	-0.20					
	pH	-0.22					
	Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹) ⁽⁺⁾		0.25				
	Nitratos (meq/lit)		0.23				
	Ca ²⁺ (meq/lit)		0.20				
	Na (mg kg ⁻¹)		-0.24				
	Arena (%)			0.28			
	Arcilla (%)			-0.22			-0.21
	K ⁺ (meq/lit)			-0.24			
	Sodio intercambiable (%) ⁽⁺⁺⁺⁾			-0.29			
	Materia orgánica (%)			-0.30			
	Fase física				-0.23		
	Tipo de suelo				-0.26		
	Azufre (mg kg ⁻¹)					0.24	-0.21
	Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)					-0.20	
	Potasio (ppm)						0.27
	Magnesio ⁺⁺ (meq/lit)						0.23
	Limo (%)						0.22
Magnesio (ppm)						0.21	
Ecológica	Arbusto más importante			-0.23		0.23	
	Coeficiente de agrupación			-0.24			
	Cobertura vegetal (%)			-0.29			
	Árbol más importante				0.22		
	Índice de diversidad				-0.20	0.27	
	Exposición cardinal del maguey					-0.24	
Morfológica	Altura del maguey (m)				-0.21		
	Peso fresco de piña (g)					0.25	
	Peso seco de piña (g)					0.24	
	Circunferencia de piña (cm)					0.24	0.21
	Longitud de dientes hojas						0.26
	Diámetro prom. de maguey (m)						0.22

Ahora bien, al evaluar mediante un análisis de correspondencia, la dependencia de las variables más importantes con el contenido de AR y fructanos, se encontraron relaciones significativas ($p < 0.05$). El contenido de AR sólo tuvo dependencia con el tipo de suelo reportado para los sitios, en la Figura 23-A se observa una mayor tendencia del rango de 11 a 15% de AR hacia los suelos de tipo litosol.

Por otro lado, los fructanos mostraron dependencia para variables edáficas, ecológicas y morfológicas. En las edáficas, se observó significancia para el tipo de suelo, donde los porcentajes mayores al 20% de fructanos se asocian más a los litosoles, mientras que los menores a 10% con vertisoles (Figura 23-B). Así mismo los contenidos de calcio de nivel medio a alto ($> 1,500 \text{ mg kg}^{-1}$) tienen relación con porcentajes mayores al 10% de fructanos y la conductividad eléctrica de 0.5 dS m^{-1} se asocia a los grupos con más de 30 g/100 g (Figura 23-C y D).

Autores como Nobel y Berry (1985) y Hernández-Vera *et al.* (2007) coinciden en que los tipos de suelo no se relacionan directamente con la distribución de los agaves. Sin embargo los resultados muestran que sí tienen alguna relación con mayores niveles de fotoasimilados, tanto AR como fructanos, donde la asociación con los litosoles probablemente se deba al buen drenaje que los caracteriza (Gentry, 1972), contrario a lo que sucede en los vertisoles (INEGI, 2000b). En cuanto a los resultados para calcio, Nobel y Berry (1985) encontraron una correlación de 0.46 entre la actividad metabólica de 6 especies de agaves y la acumulación de calcio en sus tejidos, dejando en evidencia la importancia de la disponibilidad de calcio de estas plantas en su productividad.

En cuanto a factores ecológicos, existió dependencia con el nodricismo y tipo de nodriza, que si bien no resultaron entre los componentes principales, fueron variables de interés para el estudio. En la Figura 23-E se aprecia que los rangos más elevados de fructanos tienden a presentarse cuando no hay planta nodriza asociada

o cuando se trata de arbustos pequeños, en cambio los contenidos menores se agrupan con arbustos de talla grande o árboles. Esta situación puede deberse a que las plantas más expuestas probablemente incrementan sus tasas fotosintéticas y la producción de fotoasimilados. Otras de las variables ecológicas con significancia en fructanos fueron el árbol y arbusto más importantes por cuadrantes (Figura 24-A y B). Para el estrato arbóreo existió mayor relación entre los sitios dominados por *Prosopis* sp. y niveles medios de fructanos (20 a 29%), así como por *Acacia cochliacantha* y la menor proporción de fructanos (1 a 9%). En este sentido probablemente están involucradas relaciones de competencia entre *A. cochliacantha* y *A. angustifolia* a nivel radicular, pues ambas especies presentan raíces superficiales que pudieran traslaparse. En el estrato arbustivo, los cuadrantes dominados por *Encelia farinosa* e *Hyptis emoryi* tuvieron rangos moderadamente bajos de fructanos (10 a 19%) y donde *Opuntia versicolor* dominaba, éstos fueron muy bajos (1 a 9%). En cuanto a la diversidad vegetal, los sitios más diversos tendieron a agruparse con los niveles más bajos de fructanos, mientras que aquellos donde la diversidad ocupaba un tercer y cuarto lugar, los rangos de fructanos oscilaron entre 10 y 29% (Figura 24-C). Desde otro punto de vista, tales relaciones ecológicas con el menor contenido de fructanos, podrían explicarse en términos del conjunto de condiciones que presentan los cuadrantes con menores contenidos de fructanos y no necesariamente de relaciones aisladas.

Las variables morfológicas asociadas al contenido de fructanos fueron la relación diámetro/altura del maguey y los pesos fresco y seco de la piña (Figura 24-D, E y F). En la relación diámetro/altura la tendencia no fue clara, ya que el rango de 0 a 1, es decir agaves con menor o igual diámetro que altura, se asoció tanto a niveles muy altos (50 a 59%) como moderadamente bajos de fructanos (10 a 19%); la categoría B (1 a 1.5) se agrupó con el rango más bajo (1 a 9%). En cuanto al peso fresco de las piñas, las que pesaban entre 26 y 30 kg se relacionaron con las que tuvieron más de 60% de fructanos, el resto menor a 30 kg formó un denso grupo con

los demás rangos de fructanos. Así mismo para las piñas de 11 a 15 kg en peso seco se observa una relación alta con el contenido de fructanos mayor, las de 6 a 10 kg se agruparon con porcentajes de 20 a 39 de fructanos y para las menores de 5 kg la tendencia de agrupación fue con contenidos entre 10-19% y 40-49% de fructanos.

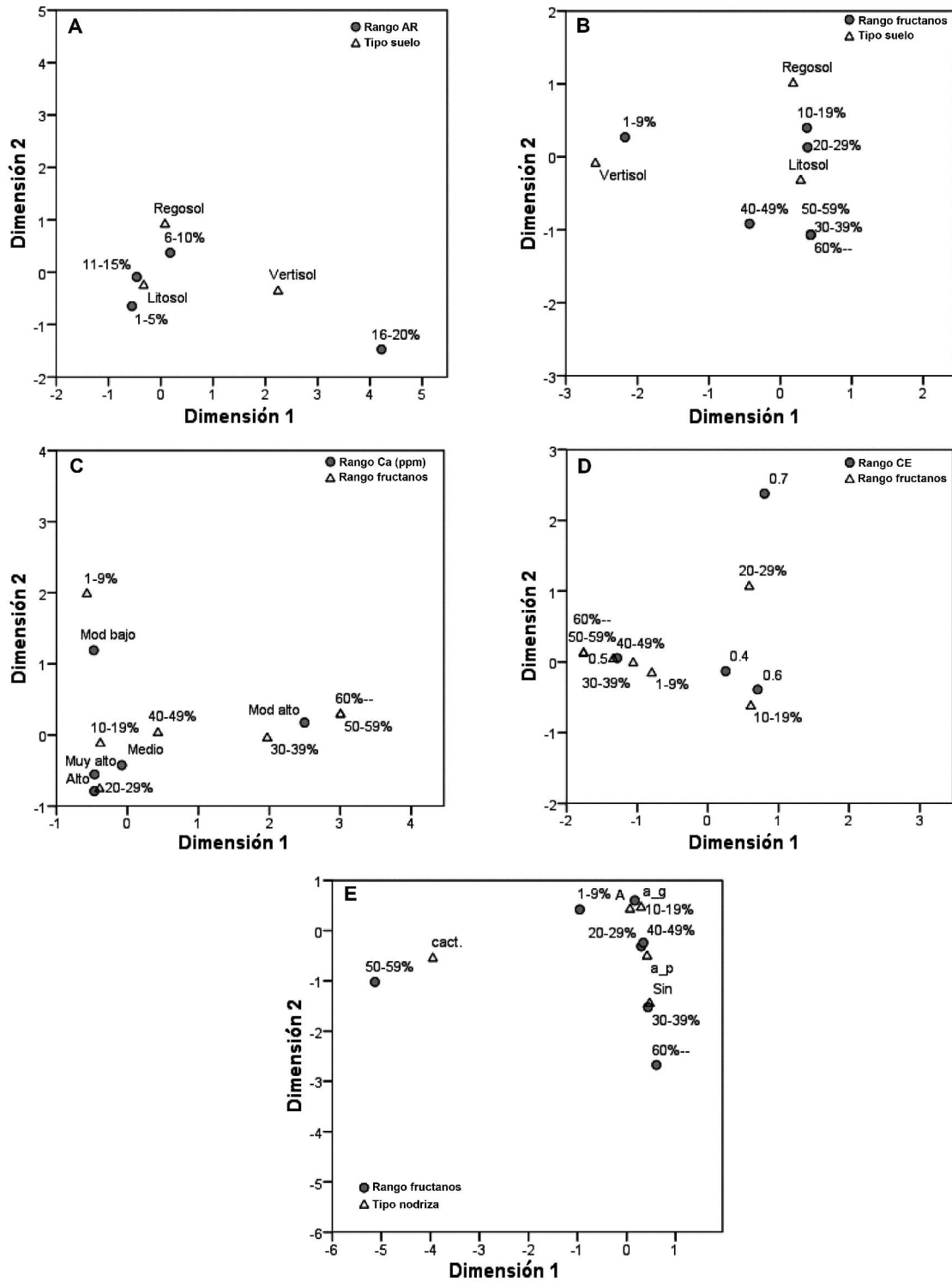


Figura 23. Relaciones entre el contenido de azúcares reductores (AR) y fructanos (F) con variables significativas. A) AR y tipos de suelo; B) F. y tipos de suelo; C) F. y contenido de calcio en el suelo; D) F. y conductividad eléctrica del suelo (C.E.); y E) F. y tipo de nodriza.

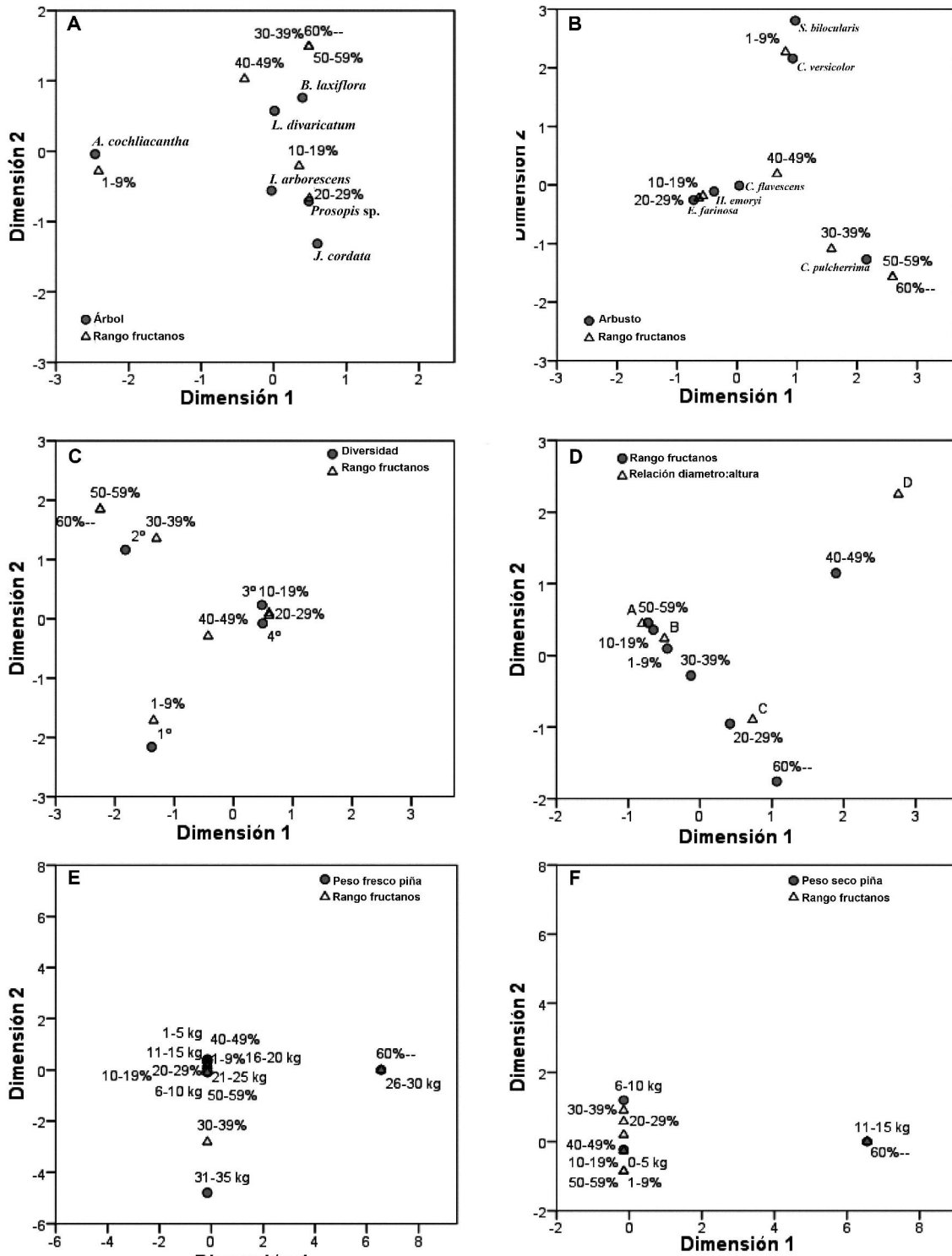


Figura 24. Relaciones entre el contenido de fructanos (F) con variables significativas. A) F. y árbol más importante; B) F. y arbusto más importante; C) F. y diversidad vegetal; D) F. y relación diámetro/altura, donde: A 0-1, B 1-1.5, C 1.5-2 y D 2-2.5; E) F. y peso fresco piña; y F) F. y peso seco piña.

8. CONCLUSIONES

Con base en los análisis de los factores bióticos y abióticos que pueden influir tanto en la distribución de las poblaciones silvestres, como en el contenido de azúcares en *Agave angustifolia* en la sierra sonorense, se concluye lo siguiente:

- Existe una asociación evidente entre las poblaciones de *Agave angustifolia* evaluadas y la presencia de plantas nodriza, lo que sugiere una dependencia en alguna etapa de desarrollo del agave.
- Las variables abióticas relacionadas con el contenido de azúcares, en las piñas de *A. angustifolia* evaluadas son: 1) tipo de suelos, 2) niveles de calcio en el suelo y 3) conductividad eléctrica del suelo.
- Existe relación del nodricismo, tipo de nodriza y la diversidad vegetal, con el contenido de fructanos.
- La dinámica poblacional se mantiene relativamente constante para los tres sitios, con indicadores que pudieran considerarse para desarrollar un plan de manejo sustentable para la especie en Sonora.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Armenta-Calderón, A.D., 2002. Hongos micorrízicos y filamentosos asociados con *Agave angustifolia* Haw. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo, Sonora, México, p. 84.
- Barraza-Morales, A., Sánchez-Teyer, F.L. , Robert-Díaz, M., Esqueda-Valle, M., Gardea, A., 2006. Variabilidad genética en *Agave angustifolia* Haw. de la sierra sonorensis, México, determinada con marcadores AFLP. Revista Fitotecnia Mexicana 29, 1-8.
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., Parra-Negrete, L.A., 2001. Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. Acta Universitaria.
- Berumen-Barbosa, M.E., 2009. Oaxaca. La Actividad Productiva Maguey-Mezcal. Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/libros/2009a/492/, Oaxaca, México.
- Blignaut, A., Milton, S.J., 2005. Effects of multispecies clumping on survival of three succulent plant species translocated onto mine spoil in the succulent Karoo Desert, South Africa. Restoration Ecology 13, 15-19.
- Castellanos, J.Z., Uvalle-Bueno, J.X., Aguilar-Santelises, A., 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Colección INCAPA. Guanajuato, México. 226 p.
- Cervantes-Mendívil, T., Armenta-Calderón, A.D., Sánchez-Arellano, J.G., 2007. El cultivo del maguey bacanora (*Agave angustifolia* Haw.) en la sierra de Sonora. Publicación Técnica No. 1. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Fundación Produce Sonora A.C. y Unisierra., Hermosillo, Sonora, México.
- CONAGUA, 2008. Base de datos de las estaciones climatológicas de Aconchi, Huásabas y Terapa. Comisión Nacional del Agua, México.
- Coombs, J., Hall, D.O., Long, S.P., Scurlock, J.M.O., 1988. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproduktividad. Colegio de Postgraduados Chapingo, Edo. de México, México.

- Cházaro-Basáñez, M.J., Valencia-Pelayo, O.M., Vázquez-García, J.A., 2007. Nuevas especies y nuevos registros de agave (Agavaceae) en Jalisco, México. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández, V.G., Flores, B.E. (Ed.), *Agaves del Occidente de México*. Universidad de Guadalajara, México, pp. 39-51.
- Franco-López, J., De la Cruz, G., Rocha, A., Navarrete, N., Flores, G., Catu, E., Sánchez, S., Abarca, L.G., Bedia, C.M., 1985. *Manual de Ecología*. México, D.F.
- Gentry, S.H., 1972. The Agave Family in Sonora. *Agriculture Handbook 399*. United States Department of Agriculture, Washington, D. C. 195 p.
- Gentry, S.H., 1982. *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press., Tucson, Arizona, U.S.A.
- González-León, C.M. 2010. Evolución geológica y disposición del paisaje actual. En: Molina, F.F.E. y Van Devender, T.R. eds. *Diversidad Biológica de Sonora*. UNAM, México, pp. 19-49.
- Hernández-Vera, G., Cházaro-Basáñez, M.J., Flores-Berrios, E., 2007. Inventario, distribución y hábitat del género *Agave* en Jalisco. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), *Agaves del Occidente de México*. Universidad de Guadalajara, México, pp. 28-38.
- Huber-Sannwald, E., Pyke, D.A., 2005. Establishing native grasses in a big sagebrush-dominated site: an intermediate restoration step. *Restoration Ecology* 13, 292-301.
- IIBsoft, 1991. *Índice de Integridad Biótica*. Free Software Foundation, Inc. Boston, USA.
- INEGI, 1980a. *Carta de Efectos Climáticos Regionales*. 1:1000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 1980b. *Carta Uso del Suelo y Vegetación*. 1:1000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 1997. *Carta de Uso del Suelo y Vegetación H12-8, H12-9*. 1:250,000 (Digital). Serie I y II. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 1999. *Carta Estatal Fisiográfica*. 1:1000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

- INEGI, 2000a. Diccionario de Datos Climáticos Escalas 1:250,000 y 1:1000,000 (Vectorial). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2000b. Síntesis de Información Geográfica y Cartas temáticas digitales (SIGE de Sonora). 1:1000,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2001a. Carta de Aguas Subterráneas H12-8, H12-9. 1:250,000 Digital. Serie I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2001b. Carta de Aguas Superficiales H12-8, H12-9. 1:250,000 Digital. Serie I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2001c. Carta Edafológica H12-8, H12-9. 1:250,000 (Digital). Serie I. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2001d. Carta Geológica H12-8, H12-9. 1:250,000 (Digital). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI, 2009a. Guía para la Interpretación de Cartografía. Fotografía Aérea. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México, p. 18.
- INEGI, 2009b. Guía para la Interpretación de Cartografía. Geológica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México, p. 26.
- INEGI, 2009c. Guía para la Interpretación de Cartografía. Hidrología. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México, p. 25.
- Lande, R. 1996. Statistics and partitioning of species diversity, and similarities among multiple communities. *Oikos* 76:5-13.
- López-López, P., 2007. Diagnóstico fitosanitario del maguey mezcalero, en Sola de Vega, Oaxaca. *AGROproduce* 16, 14-16.
- López, M.G., Mancilla-Magalli, N.A., Mendoza-Díaz, G., 2003. Molecular structures of fructans of *Agave tequilana* Weber var. azul. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 7835-7840.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press. New Jersey.
- Martre, P., North, G.B., Bobich, E.G., Nobel, P.S., 2002. Root deployment and shoot growth for two desert species in response to soil rockiness. *American Journal of Botany* 89, 1933-1939.

- Monroy-Reyes, B., Pimienta-Barrios, E., Hurtado, S.A., García-Galindo, J., 2005. Efecto competitivo de la maleza sobre el crecimiento y la respuesta fisiológica de agave (*Agave tequilana* Weber var. azul) en la región de Tequila, Jalisco, México. *Scientia-CUCBA* 7, 113-130.
- Moreno-Salazar, S., 2006. Variabilidad citogenética, molecular, morfológica y contenido de azúcares reductores totales en poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* Haw. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo, Sonora, México.
- Moreno-Salazar, S., Esqueda, M., Martínez, J., Palomino, G., 2007. Tamaño del genoma y cariotipo en *Agave angustifolia* y *A. rhodacantha* de Sonora, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30, 13-23.
- Nobel, P.S., 1990. Environmental influences on CO₂ uptake by agaves, CAM plants with high productivities. *Economic Botany* 44, 488-502.
- Nobel, P.S., Berry, W.L., 1985. Element responses of agaves. *American Journal of Botany* 72, 686-694.
- Nobel, P.S., Stanley, D.S., 1983. High and low temperature tolerances and their relationships to distribution of agaves. *Plant, Cell and Environment* 6, 711-719.
- Nobel, P.S., Castañeda, G., North, G., Pimienta-Barrios, E., Ruiz-Corral, J.A., 1998. Temperatures influences on leaf CO₂ exchanges, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *Journal of Arid Environments* 39, 1-19.
- Núñez-Noriega, L., 2001. La Producción de Mezcal Bacanora: una Oportunidad Económica para Sonora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C, Hermosillo, Sonora, México.
- Núñez-Noriega, L., 2003. Estrategias para el Desarrollo de la Industria del Bacanora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México.
- Padilla-Ruiz, F.M., 2008. Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. *Ecosistemas* 17, 155-159.
- Padilla-Ruiz, F.M., Pugnaire, F.I., 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4, 196-202.

- Padilla-Ruiz, F.M., Pugnaire, F.I., Marín, R., Hervás-Munoz, M., Ortega-Oller, R., 2004. El uso de especies arbustivas para la restauración de la cubierta vegetal en ambientes semiáridos. Cuadernos SECF 17, 103-107.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J., Nobel, P.S., García-Galindo, J., 2005. Respuesta fisiológica a factores ambientales del agave azul (*Agave tequilana* Weber). Scientia-CUCBA 7, 85-97.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J., García-Galindo, J., 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. Agrociencia 40, 699-709.
- Ravenscroft, N., Cescutti, P., Hearshaw, M.A., Ramsout, R., Rizzo, R., Timme, E.M., 2009. Structural analysis of fructans from *Agave americana* grown in South Africa for spirit production. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57, 3995-4003.
- Saldívar-Esparza, S.M., 2007. Usos prehispánicos del agave. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), Agaves del Occidente de México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 248-256.
- Santacruz-Ruvalcaba, R.F., 2007. Morfogénesis de embrioides de *Agave tequilana* Weber cultivar azul en un sistema de inmersión temporal. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), Agaves del Occidente de México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 264-.273.
- Valenzuela-Zapata, A.G., Marchenay, P., Berard, L., Foroughbakhch, R., 2007. Conservación de la diversidad de cultivos en las regiones con indicaciones geográficas: los ejemplos del tequila, mezcal y calvados. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), Agaves del Occidente de México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 317-345.
- Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Vargas-Rodríguez, Y.L., Zamora-Tavares, M.P., 2007a. Taxonomía del género *Agave* (Agavaceae) en el occidente de México: una panorámica preliminar. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), Agaves del Occidente de México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 145-191.
- Vázquez-García, J.A., Vargas-Rodríguez, Y.L., Cházaro-Basáñez, M.J., 2007b. Diversidad, endemismo, abundancia, rareza y conservación de especies de *Agave* (Agavaceae) en Jalisco, México. In: Vázquez-García, J.A., Cházaro-

Basáñez, M.J., Hernández-Vera, G., Flores-Berrios, E. (Ed.), Agaves del Occidente de México. Universidad de Guadalajara, México, pp. 59-66.

Yetman, D., 1996. Sonora: An Intimate Geography. University of New Mexico Press. U.S.A., 264 p.

Wesche, E.P., 2000. Química de Alimentos de Origen Vegetal. Universidad de las Américas. Puebla. México.