



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

**EL APROVECHAMIENTO Y LA ESTRUCTURA
POBLACIONAL DE *Agave kerchovei* Lem., EN
TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO**

PAULINA BRENA BUSTAMANTE

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2012

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe PAULINA BRENA BUSTAMANTE, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor EDMUNDO GARCIA MOYA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis EL APROVECHAMIENTO Y LA ESTRUCTURA POBLACIONAL DE Agave kerchovaei Lém., EN TEHUACAN-CUICATLAN, MEXICO

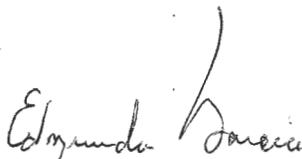
y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 2 de MAYO de 2012



BIÓL. PAULINA BRENA BUSTAMANTE

Firma



Dr. EDMUNDO GARCIA MOYA

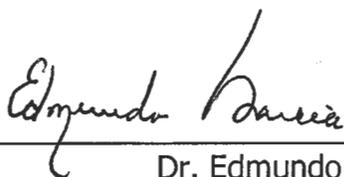
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **El aprovechamiento y la estructura Poblacional de *Agave kerchovei* Lem. en Tehuacán-Cuicatlán, México** realizada por el alumna: **Paulina Brena Bustamante** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Edmundo García Moya

ASESOR



Dra. Angélica Romero Manzanares

ASESOR



Dr. Rafael Lira Saade

Montecillo, Texcoco, Estado de México a 16 de Abril de 2012.

RESUMEN

EL APROVECHAMIENTO Y LA ESTRUCTURA POBLACIONAL de *Agave kerchovei* Lem., EN TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO

Brena Bustamante Paulina, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2012|

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) es una provincia de gran riqueza etnoflorística en la que resalta el género *Agave* por su riqueza específica y los múltiples recursos que ofrece. Los agaves se reproducen por la vía sexual solo una vez en su ciclo de vida (semélparos). La información sobre *Agave kerchovei* Lem., “cacayas” (botones florales) o “Rabo de León” (planta) documenta que es de interés particular por el aprovechamiento de los botones florales. El objetivo de este estudio fue conocer el estado de dos poblaciones de *A. kerchovei* mediante un análisis etnobotánico, espacial y ecológico en dos áreas de aprovechamiento del VTC.

En San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, se realizaron entrevistas a hombres y mujeres; se describieron las características físicas de los sitios; la composición vegetal; el patrón espacial de los agaves; la estructura poblacional basada en el número de parásitos; y el potencial de germinación *in situ* bajo tres tratamientos con base en la densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF). *A. kerchovei* es de importancia alimentaria para ambas localidades. Las comunidades vegetales pertenecen al Bosque Tropical Caducifolio. El patrón de distribución de *A. kerchovei* es agregado para ambas localidades (distribución de Poisson) y, uniforme (coeficiente de agregación) en San Gabriel C. B., Oaxaca. Las estructuras poblacionales fueron de siete y once parásitos en San Rafael, Puebla y San Gabriel C. B., Oaxaca, respectivamente.

Destaca el valor alimentario, lo cual, implica riesgos sobre el proceso reproductivo que conlleva la cosecha y el consumo de las “cacayas”. Las comunidades vegetales poseen características específicas, lo cual influye en su dinámica poblacional y distribución espacial. Las semillas procedentes de San Gabriel C. B., Oaxaca obtuvieron los mayores porcentajes de germinación inclusive cuando se probaron en el sitio de San Rafael, Puebla, con preferencia por los sitios protegidos de la radiación. La estructura poblacional, en Oaxaca la población refleja madurez y renovación de la población, mientras que, en Puebla es nula.

Palabras clave: Cacayas, Rabo de León, etnobotánica, reproducción, germinación, patrón de distribución, demografía.

SUMMARY

USE AND POPULATION STRUCTURE OF *Agave kerchovei* Lem., IN TEHUACÁN-CUICATLÁN, MÉXICO

Brena Bustamante Paulina, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2012

The Valley of Tehuacán-Cuicatlán (VTC) is a province rich ethnobotánica which highlights the genus *Agave* for its richness and the many resources it offers. The agaves reproduce through sex only once in its life cycle (semelparous). The information on *Agave kerchovei* Lem., "cacayas" (flower buds) or "Rabo de León" (plant) documents that are of particular interest for the use of flower buds. The aim of this study was to determine the status of two populations of *A. kerchovei* by analyzing ethnobotanical, spatial and ecological in two areas of use of the VTC.

In San Rafael, Puebla and San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, interviews were conducted with men and women; described the physical characteristics of the sites, the vegetation composition, the spatial pattern of the agaves, the population structure based on the number of parásitos; and the germination potential *in situ* under three treatments based on the photosynthetic photon flux density (PPFD). *A. kerchovei* food is important for both locations. Plant communities belong to the Tropical Deciduous Forest. The distribution pattern of *A. kerchovei* is added to both locations (Poisson distribution) and uniform (coefficient of aggregation) in San Gabriel C. B., Oaxaca. The population structures of seven and eleven were parásitos in San Rafael, Puebla and San Gabriel C. B., Oaxaca, respectively.

Emphasises the food value, which involves risks to the reproductive process that involves the harvest and consumption of "cacayas". Plant communities have specific characteristics, which influences their population dynamics and spatial distribution. Seeds from San Gabriel C. B., Oaxaca were the highest percentages of germination even when tested at the site of San Rafael, Puebla, with preference for sites protected from radiation. The population structure in Oaxaca population reflects maturity and renewal of the population, while in Puebla is zero.

Keywords: Cacayas, Rabo de León, ethnobotany, reproduction, germination, spatial distribution pattern, demography

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de ampliar mis horizontes profesionales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (235672) para la realización de este estudio.

Al proyecto: "Conservación de semillas de plantas útiles de San Rafael, Municipio de Coxcatlán, Puebla, MGU - Useful Plants Project México", el cual se desarrolló de 2007 a 2011 con el apoyo de los Jardines Botánicos Reales de Kew y bajo la dirección del Dr. Rafael Lira Saade en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, por facilitar los medios para llevar a cabo este estudio.

Agradezco profundamente a los miembros de mi comité, Dr. Edmundo García Moya, mi profesor consejero, por su confianza, paciencia y por reafirmar mi convicción; a la Dra. Angélica Romero Manzanares por entenderme, impulsarme y compartirme sus conocimientos, y al Dr. Rafael Lira Saade por permitirme estar en contacto con mi *Alma máter*, por sus aportes y motivación para realizar este trabajo.

De manera muy especial agradezco al Biól. Héctor Cervantes, Martín López, Salvador Chávez y sus respectivas familias, por su gran ayuda en el trabajo de campo, por esos momentos de largas caminatas y pláticas en donde aprendí a valorar innumerables cosas. Agradezco a las autoridades y pobladores de San Rafael, Coxcatlán, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca por su confianza y participación en este trabajo. En el trabajo de gabinete y refugio en el CP, a Dionisio Palafox, amigos y compañeros, Bardo, Héctor y Vladi. En laboratorio de Fisiología, a la M. en C. Petra Yáñez Jiménez y el M. en C. Antonio García Esteva por ayudarme en la realización de las pruebas de viabilidad

Al Dr. Jorge D. Etchevers, la M. en C. Juliana Padilla y a todos los integrantes del Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Posgrado de

Edafología: Guille, Dulce, Francisco, Leo y Mariana, quienes me orientaron, enseñaron y ayudaron durante la realización de los análisis de suelos.

A mis papás por todo su apoyo, su comprensión, su amor, su cuidado, su compañía, por alentarme a seguir a pesar de todo, por ayudarme a entender y a aprender a vivir con las ausencias, gracias por siempre estar y siempre sonreír. A mi hermana Tany por apoyarme, por tener unos hijos que me llenan la vida, y a mi hermana Kary, gracias por existir, por darnos ejemplos y lecciones de vida, por cuidarme, por regañarme, por acusarme, por defenderme, por enseñarme a luchar por lo justo, ser racional, ser consciente y a disfrutar esto que se llama vida.

A Carlos Torres por demasiadas cosas, por compartir el enorme gusto por la biología y todo lo que incluye, gracias por siempre escuchar, compartir, caminar, reír, gritar, correr, gracias por darme un lugar en tu familia, por siempre recordarme mirar al frente para seguir luchando, y por unirme a mis quejas y enojos de ser espectadores y a veces víctimas de tanta iniquidad.

Gracias a esas personitas que me hacen la vida más agradable y le dan sentido, mis amigos, quienes me han acompañado en diferentes etapas de mi vida: Bardo y Rafael, a quienes encontré en esta aventura del posgrado, a Frida, Pame, Almita, Ana (Chihiro) (las mejores del mundo), Alfredo, Abraham, Aldana, Leo, Mike, Paco, Mich, Sol, Naybi, Gabriel, Nakthaly, Daniel.

Y... a los que omití inconscientemente por la emoción de no haber podido hacer esto en la licenciatura, Gracias.



Para Karina Brena Bustamante, quien me llena de orgullo, quien me enseñó a vivir intensamente y en gran parte por quien soy esta mujer. En donde quiera que estés, todo es por ti y para ti.

Para mis papás Juan Manuel y Rosalba, quienes me han dado lo mejor de sus vidas.

Para mis abuelos, Alfonso y Rosalba, quienes estuvieron cuando más los necesité, Daniel y Guadalupe, el más grande ejemplo de humildad y perseverancia

Tanibeth, José Juan y sus hijos Pedro y Mateo, que me recuerdan día a día la importancia de sonreír.

Carlos quien me da razones de vivir llena de felicidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

El aprovechamiento y la estructura poblacional de *Agave kerchovei* Lem., en Tehuacán-Cuicatlán, México

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Los agaves dentro del Valle de Tehuacán- Cuicatlán | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 7 |
| 2.1. El <i>Agave kerchovei</i> Lem. | 7 |
| 2.1.1. Descripción morfológica | 7 |
| 2.1.2. Distribución geográfica y ecológica | 7 |
| 2.1.3. Aprovechamiento | 8 |
| 2.1.4. Problemática del aprovechamiento de <i>Agave kerchovei</i> | 8 |
| 2.2. Métodos de estudio en Agaves | 9 |
| 3. OBJETIVO E HIPOTESIS | 11 |
| 4. ÁREA DE ESTUDIO | 12 |
| 4.1 San Rafael, Coxcatlán, Puebla. | 12 |
| 4.2 San Gabriel Casa Blanca, San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca. | 13 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| 5.1. Etnobotánica de <i>A. kerchovei</i> | 15 |
| 5.2 Especies acompañantes de <i>A. kerchovei</i> | 15 |
| 5.3. Patrón de distribución espacial del <i>A. kerchovei</i> | 16 |
| 5.4. Viabilidad y germinación de semillas de <i>A. kerchovei</i> | 18 |
| 5.4.1. Colecta de semillas, prueba de viabilidad y germinación en laboratorio. . | 18 |
| 5.4.2. Ensayo de germinación en campo. | 19 |
| 5.4.3. Análisis edáfico y relación con la germinación. | 20 |
| 5.5. Estructura poblacional | 20 |

| | |
|---|----|
| 6. RESULTADOS | 23 |
| 6.1. Etnobotánica de <i>A. kerchovei</i> | 23 |
| 6.2. Especies acompañantes de <i>A. kerchovei</i> | 28 |
| 6.3. Patrón de distribución de <i>Agave kerchovei</i> | 30 |
| 6.4. Viabilidad y germinación de semillas de <i>A. kerchovei</i> | 32 |
| 6.4.1. Prueba de viabilidad y germinación en laboratorio..... | 32 |
| 6.4.2. Ensayo de germinación en campo. | 32 |
| 6.4.3. Análisis edáfico y relación con la germinación. | 37 |
| 6.5. Estructura poblacional | 38 |
| | |
| 7. DISCUSIÓN | 45 |
| | |
| 8. CONCLUSIONES | 53 |
| | |
| 9. LITERATURA CITADA | 55 |
| | |
| 10. ANEXOS | 62 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Restos de agaves encontrados en las excavaciones del Proyecto Prehistoria del Valle de Tehuacán. Modificado por Smith (1967)..... | 2 |
| Cuadro 2. Edades y tamaño de muestra de hombres y mujeres entrevistadas en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 23 |
| Cuadro 3. Frecuencia (F) y Nivel de Fidelidad (NF) de respuestas obtenidas de las entrevistas, para documentar el aprovechamiento de <i>A. kerchovei</i> en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca..... | 26 |
| Cuadro 4. Índice de Dispersión (σ^2 / x) e Índice de Hopkins y Skellam (1954) (coeficiente de agregación) para la determinación del Patrón espacial de las dos poblaciones de <i>A. kerchovei</i> | 30 |
| Cuadro 5. Atributos bio-físicos estimados en los sitios de estudio..... | 33 |
| Cuadro 6. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de semillas de <i>A. kerchovei</i> de ambas localidades con los tres tratamientos (S+, S- y Ld) de San Rafael, Puebla..... | 35 |
| Cuadro 7. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de semillas de <i>A. kerchovei</i> de ambas localidades con los tres tratamientos (S+, S- y Ld) en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 35 |
| Cuadro 8. Análisis químico de suelos de las dos localidades bajo estudio | 37 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 9. Prueba de Tukey para el análisis químico de macronutrientes en suelo de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, bajo las condiciones de evaluación del porcentaje de germinación..... | 37 |
| Cuadro 10. Estadísticos descriptivos de la distribución de individuos por clases de desarrollo-edad (parásitos)..... | 42 |
| Cuadro 11. Fecundidad de los escapos colectados en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca..... | 43 |
| Cuadro 12. Especies encontradas en San Rafael, Puebla y sus abreviaciones usadas en las curvas de rango-abundancia..... | 66 |
| Cuadro 13. Especies encontradas en San Rafael, Puebla y sus abreviaciones usadas en las curvas de rango-abundancia..... | 67 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Siembra de maguey en Códice Florentino (Gonçlaves de Lima, 1956). | 4 |
| Figura. 2 Una de las representaciones de Mayahuel | 5 |
| Figura. 3 Polígono de la Reserva de la Biósfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán, | 13 |
| Ubicación de las zonas de estudio en el estado de Puebla y Oaxaca (Google Earth, 2012)..... | 13 |
| Figura 4. Recuento de parásitos en <i>A. kerchovei</i> | 21 |
| Figura 5. Curva Rango-Abundancia de la comunidad vegetal presente en San Rafael, Puebla..... | 28 |
| Figura 6. Curvas rango-abundancia de la comunidad vegetal presente en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 29 |
| Figura 7. Distribución espacial del 50% de la población de <i>A. kerchovei</i> en a) San Rafael, Puebla y b) San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 31 |
| Figura 8. A) Porcentaje de germinación de San Rafael, Puebla (SR) y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (SG) dentro de San Rafael, Puebla, bajo los tratamientos (S+) Sombra alta (DFFF= $440.7 \pm 65.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (S-) Sombra baja (DFFF= $821.9 \pm 152.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y (Ld) Luz directa (DFFF= 1, $525.1 \pm 73.5 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$). B) Porcentaje de germinación de semillas de SR y SG dentro de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (SG), bajo los mismos tratamientos, S+ (DFFF= $152.1 \pm 24.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), S- (DFFF= $225.2 \pm 30.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y Ld (DFFF= 1, $472 \pm 63.8 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$)..... | 34 |
| Figura 9. Precipitación total en mm día^{-1} , desde el inicio del experimento, del 31 de julio de 2010 hasta el final de las observaciones (56 días), 24 de Septiembre del mismo año. Información tomada de la Estación Meteorológica de Huajuapán de León, Oaxaca (767730)..... | 36 |
| Figura10. <i>Agave kerchovei</i> Lem..... | 38 |
| Figura 11. Relaciones alométricas y clases parásitas en las poblaciones de <i>A. kerchovei</i> . a) Altura y b) Diámetro en San Rafael, Puebla; c) Altura y d) Diámetro en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca..... | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 12. Distribución por clases de tamaño de los individuos de <i>A. kerchovei</i> censados en San Rafael, Puebla (A) y en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (B). . | 41 |
| Figura 13. Vástagos de <i>Agave kerchovei</i> de origen rizomatoso y estado de desarrollo de la planta madre, categorizado pos clase parásica en San Rafael, Puebla..... | 43 |
| Figura 14. Vástagos de <i>Agave kerchovei</i> de origen rizomatoso y estado de desarrollo de la planta madre, categorizado por clase parásica en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca..... | 44 |
| Figura 15. Desarrollo del escapo floral de <i>Agave kerchovei</i> | 44 |
| Figura 16. Frutos de <i>A. kerchovei</i> | 62 |
| Figura 17. Semillas dentro de una cápsula de <i>A. kerchovei</i> | 62 |
| Figura 18. Semilla de <i>A. kerchovei</i> | 62 |
| Figura 19. Embrión de una semilla de <i>A. kerchovei</i> | 62 |
| Figura 20. Despunte de un quiole de <i>A. kerchovei</i> | 62 |
| Figura 21. Quiote cortado..... | 62 |
| Figura 22. Separación y selección de los..... | 63 |
| Figura 23. Preparación de las "cacayas"..... | 63 |
| Figura 24. "cacayas" preparadas | 63 |
| Figura 25. Cabra y "cacayas" | 63 |
| Figura 26. Ensayo de germinación en San Rafael, Puebla en el tratamiento de S+ | 64 |
| Figura 27. Ensayo de germinación en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca en el tratamiento de S-..... | 64 |
| Figura 28. Plántulas rojizas de <i>A. kerchovei</i> en San Rafael, Puebla..... | 64 |
| Figura 29. Plántulas verdes de <i>A. kerchovei</i> en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 64 |
| Figura 30. Plántulas de <i>A. kerchovei</i> depredadas por ortóptero. | 64 |

| | |
|--|----|
| Figura 31. Perforaciones en las hojas de <i>A. kerchovei</i> hechas por <i>Peltophorus polymitus</i> | 65 |
| Figura 32. Escapos dañados por | 65 |
| Figura 33. Cápsulas dañadas por <i>Peltophorus polymitus</i> | 65 |
| Figura 34. <i>Peltophorus polymitus</i> (coleóptero)..... | 65 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Los agaves dentro del Valle de Tehuacán- Cuicatlán

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) se ubica al sureste del Estado de Puebla y al noroeste del Estado de Oaxaca. Se encuentra delimitado al occidente por el Borde de la Mesa y Sierras Mixtecas, al oriente por la Sierra de Juárez, al norte con serranías cercanas al Pico de Orizaba formando un valle que es parte de la cuenca alta del Río Papaloapan, correspondiente a la Mixteca Oaxaqueña (INE, 1997).

El VTC, fue decretado como Reserva de la Biósfera por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 1998) en Septiembre de 1998, al ser considerada Provincia Florística. Posee una gran cantidad de endemismos (de 180 familias 76 son endémicas) y especies con alguna categoría de protección (Dávila *et al.*, 2002; Rzedowski, 2006;), resultado de la disponibilidad de diferentes hábitats con características bióticas y abióticas específicas. Se considera que en los 10, 000 km² del Valle se representa el 10 a 11.4% de la diversidad vegetal del país (Dávila *et al.*, 2002), y una riqueza etnoflorística considerable, con 61.2% de la flora vascular utilizada por los pobladores (Lira *et al.*, 2009).

Dentro de los elementos florísticos importantes del área se encuentra la familia Agavaceae, con 30 especies de las cuales cinco a diez son endémicas (Dávila *et al.*, 2002; García-Mendoza, 2004). Existen estudios arqueológicos en los que se documenta el uso de especies de *Agave* desde los 7,600 a. de C. por pobladores de esta región; fueron tan importante para ellos como lo fueron el maíz, frijol y calabaza (MacNeish, 1967; Farnsworth *et al.*, 1985). Las excavaciones llevadas a cabo por MacNeish (1967) encontraron espinas, restos de canastas, fibras, petates, sandalias, en las diferentes fases establecidas en su estudio.

| ESPECIES | USOS | RESTOS | FASES | | | | | | | |
|------------------------|------------------|--------------------|----------|-----------|--------|--------|---------|-------------|-------------|--------------|
| | | | EL RIEGO | COXCATLÁN | ABEJAS | PURRÓN | AJALPAN | SANTA MARÍA | PALO BLANCO | VENTA SALADA |
| <i>Agave sp.</i> | Alimento y fibra | Bocados masticados | | | | | | | | |
| | | Hojas | | | | | | | | |
| | | Semillas | | | | | | | | |
| | | Fibras | | | | | | | | |
| <i>Yucca sp.</i> | Alimento | Hojas | | | | | | | | |
| | | Semillas | | | | | | | | |
| <i>Agave kerchovei</i> | Fibra | Inflorescencia | | | | | | | | |

Cuadro 1. Restos de agaves encontrados en las excavaciones del Proyecto Prehistoria del Valle de Tehuacán. Modificado por Smith (1967).

A. kerchovei aparece como una especie importante en la fase “Palo Blanco” correspondiente al periodo de 150 a. de C. a 700 d. de C., la parte utilizada era la fibra de la inflorescencia. En esta fase cronológica se sitúa la aparición de los primeros grupos Popolocas considerados como los pobladores más antiguos de Valle de Tehuacán.

La importancia de los agaves en la vida cotidiana de los antiguos pobladores del Valle de Tehuacán, marcó el desarrollo cultural de una sociedad, que a la fecha valoran a estas plantas por la oferta de sus productos y beneficios.

El maguey expresa la capacidad de sobrevivir en un medio hostil y poco fértil, desde sus propias características morfológicas hasta la vasta cantidad de productos que provee al hombre para que éste sea capaz de sobrevivir en las mismas condiciones.

El término maguey probablemente deriva de las palabras meguey, magheih, magney o manguesis, de origen antillano. Ese nombre fue traído por los españoles hace 500 años. Culturas como los nahuas le dieron el nombre de metl; los otomíes, uadá o bomi´ni; los zapotecos, dua o doba; los mixtecos, yabi; y los purépechas, tacamba. Linneo identificó a la planta con el nombre genérico de “Agave”, vocablo

de raíz griega que significa “admirable”, calificativo que describe su apariencia poco usual (García-Mendoza, 1992).

Mesoamérica es considerada centro de origen del género *Agave*, no obstante, se menciona que el aprovechamiento del maguey estuvo y hasta la fecha, relacionado principalmente con los grupos étnicos presentes en Aridoamérica desde hace por lo menos 9, 000 años (Granados, 1995). MacNeish (1981), resume que los agaves y otras plantas eran parte de la dieta de los pobladores desde 7, 000 años a. de C. a 1, 500 d. de C. Ellos seleccionaban las especies más dulces para cultivarlas y cocinarlas; aún en la actualidad, los hombres colectan piñas (tallo del agave) para cocerlas en hornos, mientras que, las mujeres leña (proveniente de diversas especies vegetales) para alimentar a los hornos; otra de las prácticas más comunes es la de guisar las flores de algunas especies. Las hojas son empleadas como alimento para el ganado, o para curar enfermedades como atrofia muscular, dolor articular y para la prevención del escorbuto.

Al noroeste de la República Mexicana se tienen registros etnobotánicos de la etnia Seri, un grupo independiente con una población total de 458 personas, quienes poseen su propia lengua y una cultura armoniosa con el ambiente desértico en el que viven (Programa Universitario México Nación Multicultural, 2000). Nobel (1998) indica que desde 1930 se sabía que los Seri hacían uso de nueve especies de agaves, cuyas partes más aprovechadas son: el tallo, la base de las hojas y, en particular, las inflorescencias. El *Agave cerulata* Trel. y *A. colorata* Gentry se utilizan como fuente emergente de agua o para elaborar licor; la fibra de las hojas se usa para hacer cepillos. De las hojas maceradas de *A. schottii* Engelm., se obtiene jabón, con las semillas se hacen collares y, los quiotes les son útiles como ganchos para cosechar frutos de cactus (Nobel, 1998).

La domesticación de otras especies, como el maguey pulquero (*A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck) al parecer inició hace unos 3,500 años. En culturas de Tula, Tulancingo y Teotihuacán (ente 2,000 a 200 A. de C.) se han encontrado raspadores de piedra, los cuales utilizaban para obtener el aguamiel (Granados Sánchez, 1995). En el código Florentino (Figura 1) se muestra como sembraban maguey a la llegada de los españoles a México.



Figura 1. Siembra de maguey en Códice Florentino (Gonçlaves de Lima, 1956).

El aprovechamiento del maguey por los nahuas fue integral al grado que llegaron a identificar dentro de éste a la diosa Mayahuel (Figura 2), la diosa del maguey, madre de los 400 señores conejo, dioses de las múltiples formas de la embriaguez (Gonçlaves de Lima, 1956). Del mismo modo, tanto al maguey como al aguamiel se les atribuía un origen divino, por lo que su uso estaba destinado a acontecimientos específicos como la época de recolección, ceremonias para propiciar la lluvia, matrimonios, nacimientos y entierros. Los derivados del maguey, el pulque y el aguamiel, destacaron como licor, intoxicante ritual, bebida, alimento y medicina, líquido sacrificial, vino sagrado para los guerreros vencidos, bebida de los reyes, los valientes y los sabios (García-Mendoza, 1992); todo esto ha tenido trascendencia en diversos sucesos de cada época en México. Gonçlaves de Lima (1956) califica al pueblo mexicana como la “civilización del maguey”. Posteriormente, en la Revolución (década 1910) menciona el resurgimiento como la bebida de los vencidos, de los marginados. Sin embargo, también fue del agrado “oculto” de los personajes de la época, además de ser parte esencial de la alimentación de familias

enteras, de la clase trabajadora, cuyas jornadas se extendían por más de 12 horas al día (Ramírez Rancaño, 2000).



Figura. 2 Una de las representaciones de Mayahuel

Por todos los beneficios ofrecidos de esta planta los españoles lo llamaron “árbol de las maravillas”; en la actualidad se le conocen más de 70 aprovechamientos (García-Mendoza, 1995).

En el VTC habitan siete diferentes grupos étnicos, Nahuas, Popolocas, Mazatecos, Chinantecos, Cuicatlecos, Ixcatecos y Mixtecos; representando una rica herencia étnica que ha vivido, usado y modificado el medio a través del tiempo (Dávila *et al.*, 2002), con el único fin de satisfacer necesidades (Rosas, 2003). Estudios sobre la flora en general, han aportado datos importantes sobre los agaves. Por ejemplo, Casas *et al.* (2001) citaron 815 plantas en Tehuacán-Cuicatlán identificadas como útiles, 42 son endémicas de la región (incluyendo algunas Agaváceas); dentro de los aprovechamientos de algunas especies de agave se cita la elaboración de mezcal con el tallo de *A. marmorata* Roezl, *A. macroacantha* Zucc., *A. kerchovei* Lem., *A. karwinskii* Zucc., etc., el aprovechamiento de las hojas

para construcción, medicina y fibra (García Valenzuela, 2011), la cosecha de escapos como ornamento del hogar o para enmarcar celebraciones religiosas (Arizaga y Ezcurra, 2002; Jiménez-Valdéz et al., 2010) y la cosecha de los botones florales como alimento (Lira *et al.*, 2008; García-Valenzuela, 2011)

Con toda la información etnobotánica que se tiene y se sigue obteniendo sobre la importancia de diversos recursos. Martin (1995), Prance (1995) y Davidson-Hunt (2000) proponen como una necesidad, incorporar principios ecológicos en el desarrollo de las investigaciones etnobotánicas tradicionales. De acuerdo con este planteamiento, todo investigador debe pensar en la integración de diversos factores, procesos y experiencias que permitan ampliar y establecer criterios para la gestión de los recursos con el fin de aprovecharlos, conservarlos y valorarlos dentro de sus comunidades de origen.

2. ANTECEDENTES

2.1. El *Agave kerchovei* Lem.

2.1.1. Descripción morfológica

Los agaves poseen características singulares como son sus hojas gruesas y puntiagudas que se despliegan del tallo de una forma compacta formando rosetas, (Nobel, 1998).

Agave kerchovei es descrito por Gentry (1982). Pertenece al subgénero *Littea* y al grupo *Marginatae*, es un agave mediano, de tallo corto, color verde brillante, rosetas amplias con 80-100 o más hojas. Sus hojas miden 40-125 x 5-12 cm, generalmente lanceoladas, el ápice acuminado generalmente sin dientes, recto o ligeramente curvo, aplanado, pero rígido, de color verde amarillento a verde, el margen generalmente es pesado y continuo, recto, rara vez sin dientes; los dientes generalmente grandes, de 8-15 mm de largo distanciados a 2-5 cm, son curvos, planos, grises; la espina apical mide 3-6 cm de largo, de color marrón o gris; la inflorescencia es espigada, muy densa, de 2.5-5 m de altura, ocupa de $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ en la parte alta del eje, el pedúnculo posee brácteas estrechas; la coloración de las flores va de verdosas a violáceas, de 38 a 46 mm de largo; el ovario mide 18-21 mm de longitud, es fusiforme, con una constricción en el cuello; los tépalos miden 15-20 x 6-7.5 mm, tomando coloraciones de verde a rojizas, lineales, agudos; los filamentos miden 40-50 mm, más pálidos que los tépalos, insertados en el borde del tubo; las anteras son de 18-20 mm de longitud, centradas, de color amarillo a rojizo; los frutos son cápsulas oblongas, de 2.5-3.5 x 1-1.2 cm, fuertemente cerradas; las semillas son muy pequeñas de 3.5-4 x 2.5-3 mm, forma de media luna, superficie lisa, de color negro lustroso.

2.1.2. Distribución geográfica y ecológica

Gentry (1982) indica que *A. kerchovei* se distribuye desde el centro del estado de Hidalgo hasta el sur de Oaxaca (Gentry, 1982). Sin embargo, García-Mendoza (comunicación personal noviembre, 2010) menciona que en Hidalgo se

trata de otra especie y, por lo tanto, *A. kerchovei* es probablemente, una especie endémica del VTC.

Este agave se encuentra en hábitats variados, con elevaciones entre 1, 400 a 1, 875 msnm, principalmente en sitios secos. En general, en estos sitios la precipitación es de 400 a 800 mm con un periodo de estiaje de octubre a junio. *A. kerchovei* crece en valles aluviales, pendientes detríticas y laderas rocosas empinadas. Las comunidades en donde habita esta especie son semiabiertas con arboles pequeños y gran cantidad de suculentas como Cactaceae, Agavaceae, Bromeliaceae y arbustos.

Este agave se considera como una de las pocas especies que persisten en zonas erosionadas, sin embargo, hay claros ejemplos de individuos situados en la parte superior de montes al oeste de Tehuacán (Gentry, 1982).

2.1.3. Aprovechamiento

En el pueblo Ngiwa en Los Reyes Mezontla (lugar situado dentro de VTC) el *Agave kerchovei* (“maguey ixtle” en esta localidad) es aprovechado como alimento, mediante el consumo de las flores cuando aun son “tiernas” (que están en botón, es decir, cuando los meristemas reproductivos están en crecimiento hasta el tiempo previo a la antesis) porque tienen mejor sabor; además, hacen uso del quiote (escapo) para la construcción de cercos y corrales; o para transformarlo en instrumento, y la fibra es obtenida de las pencas (hojas) para elaborar cuerdas (García-Valenzuela, 2011).

2.1.4. Problemática del aprovechamiento de *Agave kerchovei*

Lira *et al.* (2008) han realizado estudios sobre la importancia y aprovechamiento de diversas plantas en San Rafael Coxcatlán, Puebla (lugar dentro del VTC) y lo han difundido como parte del 2do. Informe del proyecto “Conservación de Plantas Útiles de San Rafael Coxcatlán, a Través de Bancos de Semillas y

Propagación”. Ellos documentaron el aprovechamiento de *Agave kerchovei* como un recurso comestible de gran valor para los pobladores. Este agave es conocido como “Rabo de León” en Mitla y Oaxaca, “cacayas” o “Magüey pichomel” cerca de Tehuacán (Gentry, 1982).

El aprovechamiento como alimento se da en la época de floración (octubre-enero); los usuarios cortan los quíotes y separan los botones para consumirlos, estos los guisan de diferentes formas, también los ofrecen como alimento a su ganado (ovino o caprino generalmente), tan solo doblando el quíote para que quede al alcance de los animales.

Esta forma de aprovechamiento permite suponer la interrupción del proceso reproductivo de *A. kerchovei*, que se manifiesta una sola vez en su ciclo de vida (semelparidad), de tal forma que hay procesos interrumpidos en la naturaleza, como la polinización llevada a cabo por murciélagos, aves o insectos (Gentry, 1982). Es probable que la permanencia de esta especie de agave esté asegurada numéricamente por medio de la multiplicación vegetativa, y que el costo a largo plazo, trascienda a nivel genético y ecológico, a través de la limitación de flujo genético y el desequilibrio en las interacciones ecológicas, entre otras más.

2.2. Métodos de estudio en Agaves

Los estudios demográficos en agaves aun son escasos, principalmente porque son plantas de crecimiento lento y longevas. Las estructuras poblacionales se han basado en el censado de agaves por tamaños, mediante dos indicadores: medidas alométricas (alturas, diámetros) o por parásticos (fracción resultante de contar las hojas y vueltas que corresponden a un ortóstico, bajo la teoría de la filotaxia y la serie numérica de Fibonacci).

Derdeyn (1989) condujo el proyecto Fort Huachuca para observar el efecto del fuego sobre poblaciones de *Agave palmeri* Engelm., y determinó seis clases con base en las alturas de cada individuo. Johnson y Yool (1999) estudiaron los efectos

del fuego en poblaciones de *Agave palmeri*, fijando tres clases por tamaño según dimensiones de altura y diámetro de cada individuo. Bowers y McLaughlin (2001) estudiaron el efecto del pastoreo sobre la producción de quiotes y establecimiento de vástagos de *A. palmeri* en el Coronado National Forest, Arizona; la estructura establecida estuvo basada en cinco clases alométricas con base únicamente en los individuos con inflorescencia. Para demografía de agaves mexicanos. Cuautle *et al.* (1998) establecieron una estructura poblacional para *A. kerchovei* en el Valle de Zapotitlán, Puebla, con base en longitudes de las hojas con las cuales determinaron tres categorías para la estructura final. En el mismo sitio, Jiménez-Valdés *et al.* (2010) establecieron doce clases de tamaño para la especie *A. marmorata*, mediante la medida del diámetro.

El uso de parásticos para establecer una estructura poblacional en agaves, ha sido aplicado solo para especies de EE.UU. Howell (1992) fue quien primero utilizó la fracción parástica como metodología de seguimiento de *A. palmeri*, con la consecuente determinación de cuatro clases de tamaño, bajo el supuesto de que tal metodología es más eficiente que las mediciones de ancho y alto de los agaves, debido a que la alometría revela amplia variación propiciada por variables ambientales y su incidencia sobre el desarrollo de las plantas. Halvorson *et al.* (1998), realizaron un recuento de parásticos obteniendo cuatro categorías en *A. palmeri*. En el 2002, como parte del Plan de Manejo de Agaves (Agave Management Plan, AMP) desarrollado en Fort Huachuca, Arizona, con la finalidad de proteger y conservar las poblaciones de *Agave palmeri*, también se fijaron cuatro clases de tamaño basándose en la sucesión de Fibonacci. La ventaja de este método es considerar que el desarrollo ontogénico de las hojas tiene base genética (Valladares y Brites, 2004) y por lo tanto, la filotaxia, es más constante ante variación ambiental que la alometría.

Es pertinente mencionar que las poblaciones de *A. kerchovei* en el VTC son muy escasas y encontradas en sitios con características físicas diferentes, por lo que éstas plantas presentan apariencias morfológicas influenciadas por las características del medio en el que habitan.

3. OBJETIVO E HIPOTESIS

Objetivo General

Conocer el estado de dos poblaciones de *Agave kerchovei* mediante un análisis etnobotánico, espacial y ecológico, en dos áreas de aprovechamiento del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México.

Objetivos Particulares

- Conocer la importancia social de *A. kerchovei* en ambas localidades.
- Describir las características físicas del hábitat de *A. kerchovei* e identificar a las especies vegetales acompañantes en los sitios del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.
- Determinar el patrón de distribución espacial de *A. kerchovei* en ambas áreas de aprovechamiento.
- Establecer la estructura poblacional de *A. kerchovei* por medio de clases parásticas.
- Evaluar el potencial de germinación *in situ*.

Hipótesis

Dada la importancia etnobotánica y ecológica de *Agave kerchovei* en localidades dentro de la Reserva de la Biósfera del Valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Se esperaría:

1. Que las poblaciones son frecuentes en dos poblados de VTC donde son aprovechadas;
2. Que el principal aprovechamiento de las poblaciones de *A. kerchovei* es alimentario e incide en los atributos poblacionales; y,
3. Que las estructuras poblacionales son asimétricas por el aprovechamiento.

4. ÁREA DE ESTUDIO

Los sitios de estudio se eligieron con base en el conocimiento previo de la existencia de poblaciones de *A. kerchovei*. Para el caso San Rafael, Coxcatlán, Puebla, ya se tenían antecedentes de la importancia de las “cacayas” para los pobladores, ya que desde años anteriores y hasta el momento Biólogos de la FES Iztacala, UNAM, han realizado diversas investigaciones como parte del megaproyecto: “Conservación de Plantas Útiles de San Rafael Coxcatlán, a través de Bancos de Semillas y Propagación”, el cual se concentra en el banco de semillas de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO). En el caso de San Gabriel Casa Blanca, San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca, se visitó el área para detectar los sitios de ubicación de las poblaciones del “Rabo de león” y solicitar los permisos correspondientes con las autoridades, para el fin de llevar a cabo la realización de este estudio.

4.1 San Rafael, Coxcatlán, Puebla.

San Rafael corresponde al municipio de Coxcatlán en el estado de Puebla. El sitio donde se realizó el estudio se identifica como “Cerro de las Compuertas”, localizado a 18° 11' 42.86" N y 97° 07' 15.68" O, a una altitud de 989 m snm (Figura 3).

El clima descrito por Fernández Buces (1999) es BS₁ (h') w" (w) e g y corresponde al seco o árido con lluvias en verano y temperatura media de 22°C (máxima de 25°C en abril y mayo y mínima de 18°C en enero). Se presentan lluvias en verano de Junio hasta septiembre. La precipitación total anual es entre 300 y 1100 mm (INEGI, 2009) y cerca de los 386.57 mm registrados de 1988 a 1998 en la estación climática Tilapa, situada a 3.25 km al sur de la zona de estudio. Los suelos de estas regiones están pobremente desarrollados (Canales-Martínez, 2005) y su origen data del Cuaternario (Brunet, 1967), principalmente derivado de caliza y yeso (INEGI, 2009).

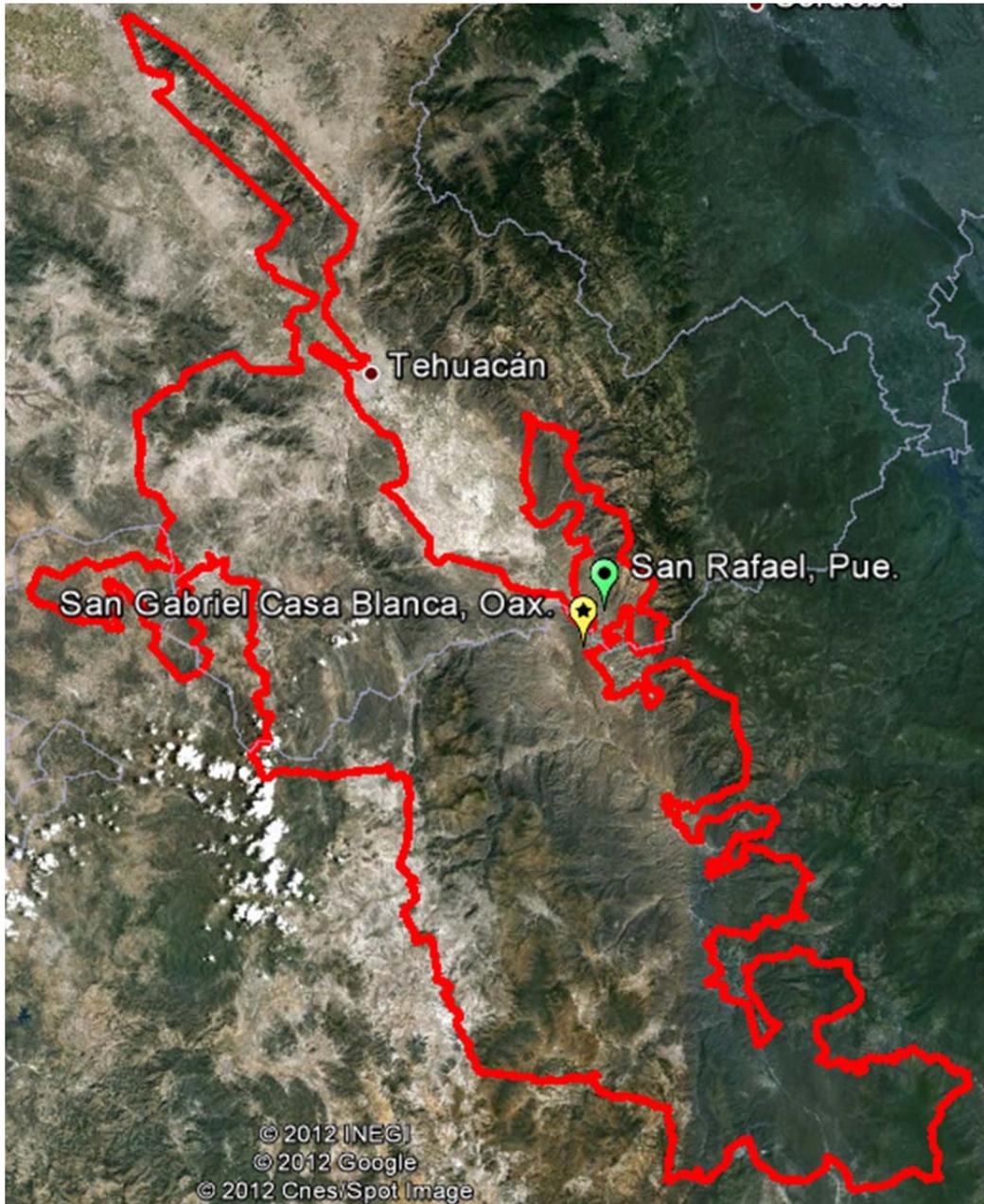


Figura. 3 Polígono de la Reserva de la Biósfera Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Ubicación de las zonas de estudio en el estado de Puebla y Oaxaca (Google Earth, 2012).

4.2 San Gabriel Casa Blanca, San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca.

San Gabriel Casa Blanca es la Agencia Municipal perteneciente al Municipio de San Antonio Nanahuatipam en el estado de Oaxaca (Figura 3), el sitio donde se llevó a

cabo la investigación se conoce como “Ticolotiopa” ubicado a 18° 09′ 14.6″ N y 97° 08′ 38″ O a una altitud de 946 m snm, se encuentra en la región de la “Cañada” correspondiendo al área hidrológica de la cuenca del Papaloapan, la microcuenca se forma por el Río Salado y Calapa. La temperatura promedio anual varía entre 25 y 30 °C y las lluvias se presentan en verano; una precipitación anual de 300 a 800 mm (INEGI, 2008). En esta zona hay un depósito de sedimentos de laguna ricos en material calizo-salino (Brunet, 1967; INEGI, 2008). El suelo presenta una coloración rojiza por su composición de arcilla y arena principalmente (Sánchez, 2004).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Etnobotánica de *A. kerchovei*

Para obtener información sobre el aprovechamiento del agave, se aplicó un cuestionario de once preguntas a hombres y mujeres Nahuas de cada localidad mayores a 20 años, que fueran campesinos o que realizaran actividades en el campo y del hogar. El cuestionario se compone de preguntas que proveen información general sobre al agave, pero dirigido a que respondan, en particular, sobre el aprovechamiento del escapo y las “cacayas”. El cuestionario inicia por la identificación de la especie de *Agave kerchovei* y nombres con los que se conoce, a través de fotografías previamente tomadas en San Rafael, Puebla; la segunda sección está enfocada a la forma de aprovechamiento, y la tercera, a la ubicación de los sitios de colecta, intensidad de aprovechamiento, temporalidad y destino de los productos cosechados. Los datos consignados se organizaron en un cuadro para ambas localidades, donde se incluye el total de informantes, la frecuencia (F) de respuesta por pregunta y el nivel de fidelidad (%) que es la razón del número de informantes quienes reportaron las diferentes respuestas a cada pregunta (I_p) y el número total de informantes entrevistados (I_u) (Friedman *et al.*, 1986) estimado de la siguiente forma:

$$NF (\%) = I_p / I_u (100)$$

Donde I_p es el número de informantes que respondieron cada pregunta, I_u es el número total de informantes en cada localidad.

5.2 Especies acompañantes de *A. kerchovei*

Por cada zona de aprovechamiento, se realizó un reconocimiento de las especies de la comunidad vegetal con ayuda del personal adscrito al megaproyecto de plantas quienes ya han hecho la colecta de ejemplares, su identificación y respaldo en herbarios; el propósito fue confirmar o rectificar los listados de especies existentes de Fernández Buces (1999) y Valiente-Banuet *et al.* (2000).

La ubicación *in situ* de *A. kerchovei* es extremadamente limitada, ocupa no más de una franja de 50 m de ancho sobre pendientes extremas y se le localiza en la parte más alta de las escarpadas montañas, por ello fue que se trabajó en un solo lote de 30 x 30 m, tanto en el sitio de Puebla como en el de Oaxaca; el lote fue subdividido en nueve parcelas de 10 x 10 m, la subdivisión correspondió con tres bloques transversales a la pendiente, y tres repeticiones por bloque. Con los datos recabados se hicieron curvas de Rango-Abundancia de especies. Las curvas de Rango-Abundancia describen la estructura de una comunidad con base en la riqueza, la abundancia y equidad de las especies (Begon *et al.*, 2006); los elementos para la construcción de estas curvas fueron: la identidad de las especies y la secuencia por posición (Feinsinger, 2001) derivada de la relación \log_{10} de la proporción de cada especie (p_i), es decir, del cociente de la abundancia de la especie i con respecto a la abundancia total (n_i/N); la gráfica describe en orden descendente a las especies que conforman cada comunidad.

5.3. Patrón de distribución espacial del *A. kerchovei*

Se tomaron datos de la altitud y pendiente con un altímetro y un clinómetro, posteriormente se trabajó para identificar el patrón de distribución espacial de los agaves por medio del método del vecino más cercano. En ambas localidades se realizaron mediciones de 50 puntos al azar dentro de la parcela establecida de 30 x 30 m. Para el análisis y confirmación del resultado se emplearon dos procedimientos:

- a) La distribución Poisson (indicación de rareza) basada en el índice de Dispersión ($I = v/m$) varianza $\bar{d}^2 /$ media \bar{x} . (Rabinovich, 1978).

Si la $\bar{d}^2 = \bar{x}$, la distribución de las plantas es tipo Poisson lo que concluye que el patrón de distribución es aleatorio. Con $\bar{d}^2 > \bar{x}$ el patrón es agregado o sobre-disperso, lo cual implica que la presencia de uno o más individuos induce la ocurrencia de otros individuos en la misma muestra. Y si la $\bar{d}^2 < \bar{x}$, el patrón de distribución es uniforme.

- b) Índice de Hopkins y Skellam (1954) descrito por Condés y Martínez-Millán (1998)

$$I_{HS} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pt}^2}{\sum_{i=1}^n d_{tt}^2}$$

Dónde:

d_{pt} es la distancia entre un punto situado al azar sobre el terreno y el árbol más cercano.

d_{tt} es la distancia entre un árbol seleccionado al azar y su vecino más próximo.

n es el número de puntos y árboles tomados al azar.

La selección aleatoria del punto i para la medición de la distancia d_{pt} y la selección del árbol para la medición de la distancia d_{tt} deben ser independientes entre sí.

El I_{HS} también es conocido como Coeficiente de Agregación (A), el cual toma en cuenta si la distribución espacial es aleatoria, la distancia entre puntos y árboles (D_{pt}) es idéntica a la distribución de las distancias entre árboles (D_{tt})

$$A = \frac{\sum(D_{pt})^2}{\sum(D_{tt})^2} \qquad A = \frac{\sum(D_i)^2}{\sum(D_i)^2}$$

Si el coeficiente de agregación (A) resulta 1, la distribución es al azar; si $A < 1$ la distribución es uniforme y si $A > 1$ la distribución es agregada.

5.4. Viabilidad y germinación de semillas de *A. kerchovei*

5.4.1. Colecta de semillas, prueba de viabilidad y germinación en laboratorio.

Durante los meses de marzo y abril del año 2010 fueron colectadas semillas de hasta cinco individuos diferentes en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, se almacenaron en bolsas de papel de estraza para ser transportadas y almacenadas al Banco de Semillas de la Unidad de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

Se procedió a hacer una prueba de Tetrazolio para conocer la viabilidad de las semillas colectadas de ambas localidades y que fueron utilizadas posteriormente para los experimentos de germinación; esta se realizó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Se establecieron dos lotes de 25 embriones de las semillas de *A. kerchovei* correspondiendo uno a San Rafael, Puebla y el otro a San Gabriel, Oaxaca. Las semillas fueron puestas en agua tibia por 24 horas para disecarlas y aislar los embriones, estos fueron colocados en una caja de Petri, a la que se vertieron 10 ml de 2, 3, 5-trifenil cloruro tetrazolio (TCT) a una concentración de 0.1%; después de una hora se realizó un recuento de los embriones teñidos de color rojo (Baskin y Baskin, 1998), ya que estos indican que los embriones son viables, pues liberarán iones hidrogeno durante la respiración en las mitocondrias y al combinarse con el TCT los embriones vivos se teñirán de color rosa o rojo, y si el embrión es blanco indicaría inviabilidad.

Uno de los experimentos de germinación se llevó a cabo en el Laboratorio del Banco de Semillas, UBIPRO, FESI. Se establecieron dos lotes (correspondientes a cada localidad) de 50 semillas con tres repeticiones cada uno, se colocaron en cajas de Petri con papel Wathman y 10 ml. de agua, se colocaron en la cámara de germinación a 30 °C con un fotoperiodo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad y a partir del segundo día se realizó un recuento de semillas germinadas. Los datos se registraron como % porcentaje de germinación.

5.4.2. Ensayo de germinación en campo.

Para establecer los tratamientos para el experimento de germinación en campo primero se estimó la Densidad de Flujo Fotónico Fotosintético (DFFF) utilizando un ceptómetro, Quantum Radiometer Photometer Modelo L1 185 A Licor. En tres parcelas de 10 x 30 m contiguas, a lo largo del gradiente altitudinal. Ahí se hizo el registro de cuatro o cinco lecturas de la DFFF en espacios a luz directa y por debajo de diferentes especies vegetales, tanto en San Rafael, Puebla como San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. Se establecieron tres tratamientos de germinación bajo DFFF: S+, Sombra alta (radiación mínima promedio), S-, Sombra baja (radiación media promedio) y Ld, Luz directa (máxima radiación promedio). Cada tratamiento consistió de un lote de 50 semillas y tres repeticiones en un diseño completo al azar, de tal manera que para colocar el experimento se utilizaron las nueve subdivisiones de la parcela, debido a las limitaciones de extensión, difícil acceso y movilidad dentro del terreno. Para evitar el arrastre del suelo y de las semillas por la lluvia, debido a la pronunciada pendiente en ambos sitios, se usaron charolas de plástico para conservar el suelo, de 28 x 22 x 18 cm con perforaciones de 4 x 4 mm para habilitar el drenaje. Las semillas fueron colocadas en su localidad de origen y en la otra de estudio, teniendo en total 900 semillas y 18 charolas por sitio: lotes de 50 semillas; semillas de dos localidades, tres tratamientos y tres repeticiones.

Durante el experimento se realizaron observaciones cada tercer día durante los primeros 15, después los recuentos de germinación se espaciaron cada 15 días, hasta llegar al día 56. Con los datos obtenidos se realizaron curvas de germinación y análisis factoriales de dos vías para saber si hubo diferencias significativas entre los tratamientos y entre las semillas de ambas procedencias, para posteriormente aplicar un análisis de comparación múltiple (Tukey) para encontrar las diferencias utilizando el paquete estadístico Sigma Plot v 12.0 (Sigma Plot, 2011).

5.4.3. Análisis edáfico y relación con la germinación.

Se tomaron muestras de suelo correspondientes en cada localidad, por cada tres unidades de muestreo de 10 x 10m, en los tres gradientes altitudinales, tanto en San Rafael, Puebla como en San Gabriel, Oaxaca. Con una barrena de acero se perforó el suelo y se tomó la muestra de suelo a 15 cm de profundidad; las muestras se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas para su transportación al Laboratorio de Fertilidad de Suelos en el Programa de Edafología en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, donde se realizaron los siguientes análisis (Anexo 5):

- pH
- Conductividad Eléctrica (CE)
- Materia orgánica (MO)
- Fósforo
- Macronutrientes Ca, Mg, K, Na
- Micronutrientes Fe, Cu, Zn y Mn

Al reunir los datos de ambas localidades se organizaron según el tratamiento donde fue tomada la muestra, es decir se obtuvieron tres repeticiones de muestra de suelo por tratamiento de germinación (S+, S- y Ld), esto con el propósito de saber si hay alguna relación en la composición del suelo con el tratamiento que favorezca o no la germinación. Posteriormente los datos se analizaron por medio de un ANOVA de una vía y un análisis de comparación (Tukey) para saber si había diferencias significativas, estos análisis se realizaron en Sigma Plot v 12.0 (Sigma Plot, 2011).

5.5. Estructura poblacional

En el área previamente establecida en cada localidad, por cada cuadro de 10 x 10 m (nueve cuadros) se realizó el recuento de los Individuos de *Agave kerchovei* presentes, para calcular la densidad.

También se hicieron mediciones alométricas: altura, desde el nivel del suelo hasta lo más alto de las hojas centrales y el diámetro máximo, con base en la amplitud de expansión de las hojas más cercanas a la base del agave; esta medición se hizo en sentido perpendicular para posteriormente derivar un promedio.

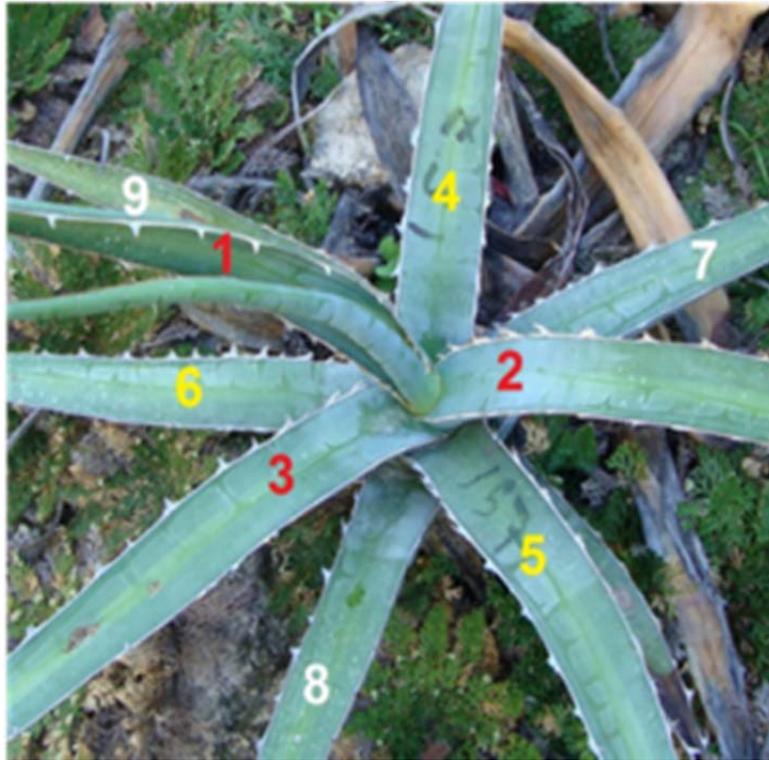


Figura 4. Recuento de parásitos en *A. kerchovei*.

Por otra parte, con base en la teoría sobre filotaxia se precisó la fracción parásita, para luego determinar el número de parásitos a lo largo del tallo por individuo (Figura 4).

La idea fue tener mediante este procedimiento, una estructura de tamaños de agave basada en el desarrollo sucesivo de las hojas a lo largo del eje de crecimiento; para el caso, el número de parásitos representa al estimador indirecto del desarrollo y la edad de las plantas. Esta información permitió graficar la estructura poblacional de *A. kerchovei*. Con los datos obtenidos se realizó una regresión polinomial para proyectar la relación alométrica con el número de

parásitos por agave. Para el graficado de la estructura poblacional se hizo uso del programa Sigma Plot v12.0.

6. RESULTADOS

6.1. Etnobotánica de *A. kerchovei*

La aplicación de las entrevistas etnobotánicas fue dirigida a personas de ambos sexos que estuvieran relacionados con el conocimiento del aprovechamiento del agave, prácticamente hacia amas de casa, campesinos o pastores, quienes en particular hacen uso de los escapos y los botones (capullos o yemas florales en crecimiento hasta antes de la antesis) de esta especie de agave (Cuadro 2).

Cuadro 2. Edades y tamaño de muestra de hombres y mujeres entrevistadas en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

| LOCALIDAD | HOMBRES | EDAD | MUJERES | EDAD |
|---|---------|-------|---------|-------|
| San Rafael, Puebla | 10 | 26-70 | 21 | 21-75 |
| San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. | 12 | 38-82 | 25 | 25-70 |

Las entrevistas realizadas en San Rafael, Coxcatlán, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca (Cuadro 3) confirmaron que existen pocas poblaciones silvestres de *Agave kerchovei*. Las personas entrevistadas de San Rafael, Puebla ubicaron como sus sitios de colecta “Las Compuertas” (sitio bajo estudio en este trabajo) y “El Río” que ya pertenece al ejido de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca y es más cercano que el primero, resaltando que las poblaciones conocidas por ellos son pocas, pequeñas, distantes y de difícil acceso. Por otra parte en San Gabriel, Oaxaca se dirigen hacia “Tocolotiopa” (sitio de estudio), “La Cruz de Mica”, “El Río” y “Calapa”, todos a diferentes distancias con poblaciones pequeñas.

En San Rafael el 65% de los entrevistados conoce a este agave solamente como “cacayas” y 16% como “Rabo de León”, el resto (19%) lo conoce con los dos

nombres, mientras que en San Gabriel el 32% de los informantes lo conoce solo como “Rabo de León” y el 22% como “cacayas”, el 46% con los dos nombres. Las partes utilizadas de este agave son los botones y el escapo (quiote); en San Rafael la mayoría (77%) utiliza botones, 16% botones y quiote; en San Gabriel el 51% utilizan los botones y 49% ambos. Durante la conversación con las personas vino a cuenta una distinción en cuanto al uso del nombre vernáculo: para algunos, los botones son las “cacayas” y el maguey, en su totalidad, es el “Rabo de León”. Sin embargo, este último nombre deriva del aspecto de una sola estructura, la inflorescencia, que es una espiga que asemeja la cola de un león.

El aprovechamiento sustantivo de los botones es alimentario para humanos (Figura 23). De los entrevistados de San Gabriel, Oaxaca 40% así lo ratificaron, mientras que el 60% de los informantes, además de utilizarlo como alimento, lo emplean para la elaboración de escobas, construcción cercos y encierros, forraje para alimentar al ganado (Figura 25) y como ornamento.

Los mismos aprovechamientos, aunque con mayor porcentaje, se registraron en San Rafael (94%), solo el 3% mencionó su uso como fibra, la cual se extrae de las hojas del maguey con la que se elaboraban diferentes artículos de uso cotidiano (lazos, canastos, ayates, etc), dicho aprovechamiento ha caído en desuso porque - “es de las generaciones pasadas”-, de acuerdo con lo mencionado por la mayoría de las personas entrevistadas, por lo que enfatizan, actualmente la jarriería relacionada a las fibras ya es inexistente.

La forma de consumir los botones en San Rafael y San Gabriel, es variada y depende del gusto de las personas. En general los botones tiernos se preparan asados, fritos, hervidos y en conserva (Figura 24), 84 y 95% respectivamente; solo el 13 y 5% utilizan el quiote para la elaboración de escobas y construir cercos y encierros, pues conforme se deshidrata se vuelve ligero, pero muy resistente por la cantidad de fibras. La totalidad de los informantes en ambas comunidades indican que el quiote se obtiene únicamente por medio de la colecta, no se trasladan a mercados o “tianguis” de poblados vecinos para comprar.

Cuando el quiote es colectado varía el método de cosecha, según el aprovechamiento. Por ejemplo, si requieren los botones florales llevan la totalidad del quiote o la porción a aprovechar, algunos lo cortan totalmente porque lo ocupan para elaborar escobas. Para estos casos el 100% en San Rafael lo hace así y en San Gabriel solo el 89%, el 11% restante dobla o corta el quiote tomando los botones necesarios únicamente, para llevar a su casa; en caso de alimentar al ganado, el quiote es proporcionado a los animales en el mismo sitio. Los pastores comentan que su ganado prefiere comer los botones y no las flores (antófilos expuestos, en anthesis y maduros para el proceso reproductivo).

El periodo de colecta de quiotes y botones, confirmado por el 100% en ambas localidades, ocurre entre los meses de Octubre y Diciembre. Los informantes de San Rafael revelan que durante este periodo, el 87% colecta quiotes ("cacayas") máximo dos veces y el 10% hasta cuatro veces. Por el contrario en San Gabriel el 65% va una o dos veces, 21% hasta cuatro y el 14% más de cinco veces, la cantidad de veces que mencionan colectar es prácticamente según el gusto de la gente por las "cacayas". Dado lo anterior especifican que su colecta es solo para autoconsumo, nadie acostumbra a venderlas, simplemente comparten el recurso y el gusto.

Cuadro 3. Frecuencia (F) y Nivel de Fidelidad (NF) de respuestas obtenidas de las entrevistas, para documentar el aprovechamiento de *A. kerchovei* en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

| PREGUNTAS | | San Rafael, Puebla (Informantes= 31) | | San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (Informantes= 37) | |
|--|---|---|------|---|------|
| | | F | NF % | F | NF % |
| ¿Conoce esta planta? | | 30 | 97 | 37 | 100 |
| ¿Con qué nombre(s) la conoce? | Rabo de León | 5 | 16 | 12 | 32 |
| | Cacayas | 20 | 65 | 8 | 22 |
| | Ambos | 5 | 16 | 17 | 46 |
| ¿Utiliza esta planta o alguna de sus partes? | Botón | 24 | 77 | 19 | 51 |
| | Quiote | 1 | 3 | -- | -- |
| | Botón y quiote | 5 | 16 | 18 | 49 |
| ¿Para qué la utiliza? | Alimento | -- | -- | 15 | 40 |
| | Alimento, forraje, ornamental y /o instrumento | 29 | 94 | 22 | 60 |
| | Fibra | 1 | 3 | -- | -- |
| ¿Cómo lo utiliza? | Asado, frito, hervido y/o conserva | 26 | 84 | 35 | 95 |
| | Para escobas y/o corrales | 4 | 13 | 2 | 5 |

| | | | | | | |
|----------------------------|---|---------|----|-----|----|-----|
| ¿Cómo lo obtiene? | Colecta | | 30 | 100 | 37 | 100 |
| | Compra | | -- | -- | -- | -- |
| ¿Dónde la colecta? | Las Compuertas (Sn, Rafael, Pue.) y/o El Río (Sn. Gabriel C. B., Oax.) | | 30 | 100 | -- | -- |
| | Tecolotiopa, La Cruz de mica, El río, Calapa | | -- | -- | 37 | 100 |
| ¿Cómo lo colecta? | Corta todo el quiate | | 30 | 100 | 33 | 89 |
| | Corta o agacha el quiate y solo toma los botones necesarios dejando algunos | | -- | -- | 4 | 11 |
| ¿Qué cantidad colecta? | Quiotes | 1 a 2 | 15 | 48 | 19 | 51 |
| | | 3 a 4 | 10 | 32 | 15 | 41 |
| | | 5 a 6 | 4 | 13 | 2 | 5 |
| | | 7 a más | 1 | 3 | -- | -- |
| | Botones | 350-450 | -- | -- | 1 | 3 |
| ¿Cuándo | Oct.- Dic. | | 30 | 100 | 37 | 100 |
| y cada cuánto las colecta? | 1 a 2 veces | | 27 | 87 | 24 | 65 |
| | 3 a 4 veces | | 3 | 10 | 8 | 21 |
| | 5 a más veces | | -- | -- | 5 | 14 |
| Las colecta para: | Autocosumo | | 30 | 100 | 37 | 100 |
| | Venta | | -- | -- | -- | -- |

6.2. Especies acompañantes de *A. kerchovei*.

En San Rafael, Puebla (Figura 5) se observa una composición florística representada por herbáceas, cactáceas columnares y globosas, así como arbustos y árboles pequeños, con un total de 25 especies. En la curva de rango-abundancia se puede observar a *Sellaginela lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring como la planta más abundante, pues cubre gran parte de la parcela al igual que *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en seguida destaca *Hechtia podantha*, Mez., *Agave macroacantha* que son plantas acaules con hojas dispuestas en roseta. También hay representación de especies como *Viguiera dentata* (Cav.) Spreng., *Bursera schlectendalii* Engl., *Mimosa* sp., *Bursera arida* (Rose) Standl., *Neobuxbaumia tetetzo* (J.M. Coult.) Backeb., *Jatropha rzedowskii* J. Jiménez Ram., *Cephalocereus columna-trajani* (Karw. ex Pfeiff.) K. Schum., *Actinocheita potentillifolia* (Turcz.) Bullock., entre otras. La mayoría de estas arbustivas y algunas cactáceas columnares. Entre las especies menos abundantes se tiene a *Dalea carthagenensis* (Jacq.) J.F. Macbr., *Ipomea pauciflora* Mart. & Galeotti., *Plumeria rubra* L. y *Ziziphus amole* (Sessé & Moc.) M.C. Johnst.

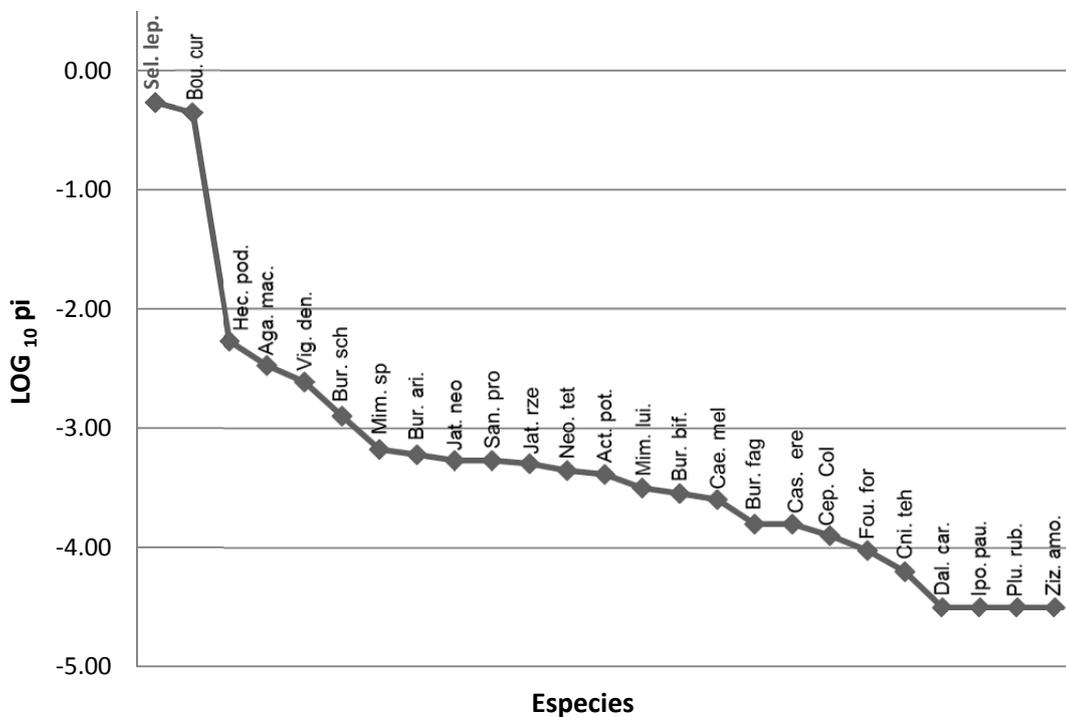


Figura 5. Curva Rango-Abundancia de la comunidad vegetal presente en San Rafael, Puebla

Por otra parte, en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. (Figura 6) hay una composición más diversa, con mayor número de especies, 34. *Bouteloua curtipendula*, es la más abundante, seguida de *Mammillaria haageana* Pfeiff., *Turnera diffusa* Willd. ex Schult., *Agave macroacantha*, *Hechtia sp*, *Mammillaria carnea* Zucc. ex Pfeiff., entre ellas tenemos arbustos, especies acaules con hojas dispuestas en roseta y cactáceas globosas. Posteriormente se representan especies de cactáceas columnares como *Neobuxbaumia tetetzo* (J.M. Coult.) Backeb., *Myrtillocactus geometrizzans* (Mart. ex Pfeiff.) Console, *Escontria chiotilla* (F.A.C. Weber) Rose, otras cactáceas como *Opuntia pilifera* F.A.C. Weber, *Mammillaria sphaelata* Mart., *Coryphantha calipensis* Bravo ex S. Arias Montes, U. Guzman Cruz & S. Gama Lopez, *Ferocactus latispinus* (Haw.) Britton & Rose, entre los arbustos y árboles se encuentran *Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl., *Croton mazapensis* Lundell, *Plocosperma buxifolium* Benth., *Lippia graveolens* Kunth, *Cordia curassavica* (Jacq.) Roem. & Schult., *Plumeria rubra*, entre otros. Dentro de las especies menos abundantes está *Bursera morelensis* Ramirez, *Cnidoscopus tehuacanensis* Breckon, *Melochia tomentosa* L., *Stenocereus pruinosus* (Otto ex Pfeiff.) Buxb. Y *Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob., estos dos últimos cactáceas columnares.

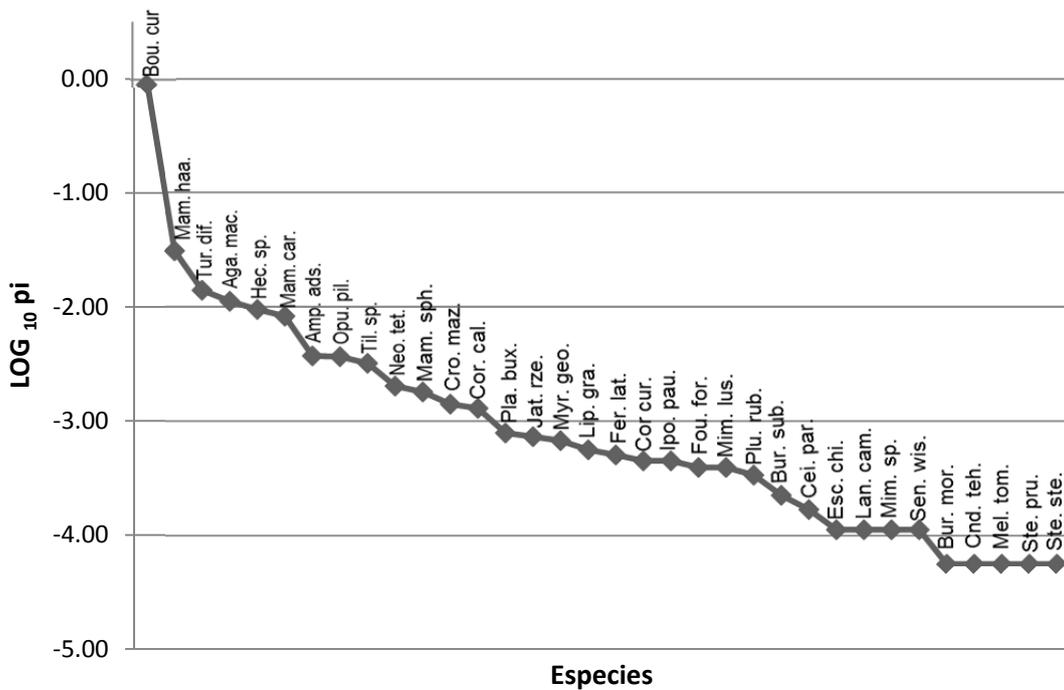


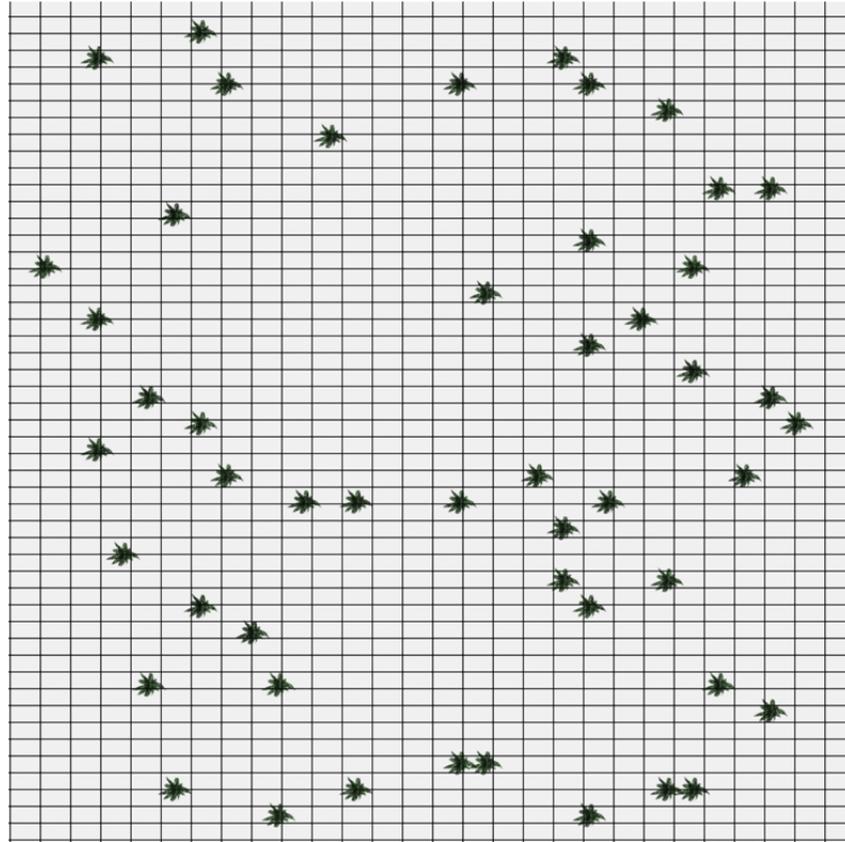
Figura 6. Curvas rango-abundancia de la comunidad vegetal presente en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

6.3. Patrón de distribución de *Agave kerchovei*

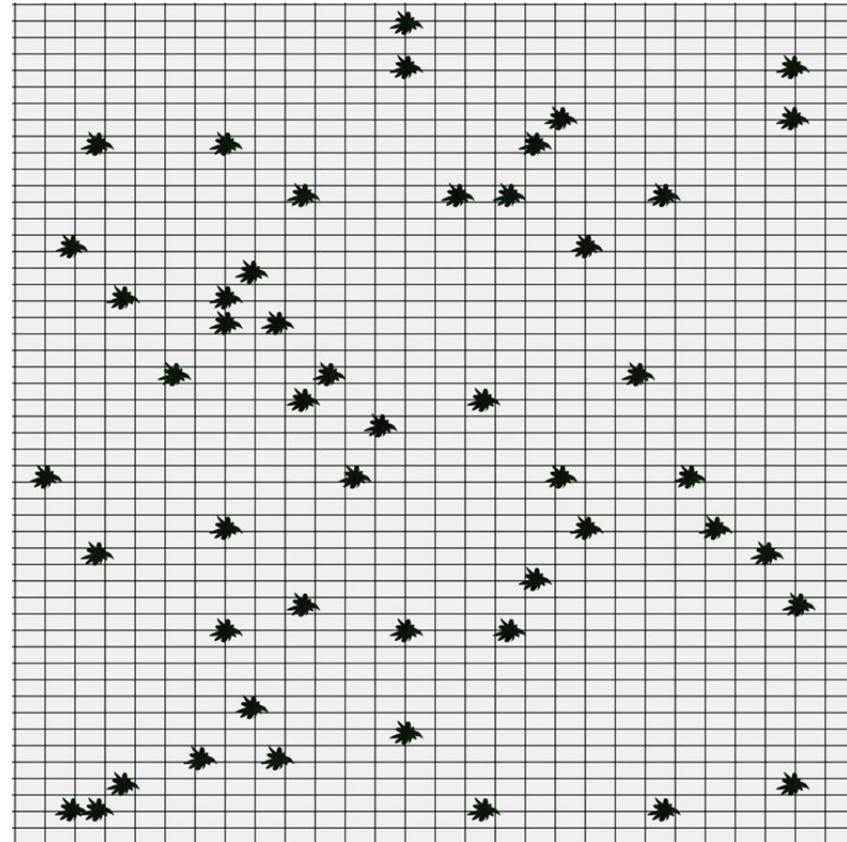
La relación varianza-media (σ^2 / \bar{x}) y la prueba de Hopkins y Skellam (1954) nos indican que en San Rafael, Puebla, la población de *A. kerchovei* tiene una distribución agregada (Figura 7a) mientras que la población de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (Figura 7b), mostró por la relación σ^2 / \bar{x} que tiene distribución agregada, en tanto que con base en el coeficiente de agregación (A), se determina una distribución uniforme (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de Dispersión (σ^2 / \bar{x}) e Índice de Hopkins y Skellam (1954) (coeficiente de agregación) para la determinación del Patrón espacial de las dos poblaciones de *A. kerchovei*.

| Localidad | Distribución | Índice de Dispersión | Prueba Hopkins y Skellam |
|---------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|
| San Rafael, Puebla | | 108.91 | 1.15 |
| San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca | | 32.61 | 0.57 |



a)



b)

Figura 7. Distribución espacial del 50% de la población de *A. kerchovei* en a) San Rafael, Puebla y b) San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

Elaborados con el programa Autodesk® 3ds Max, 2012.

6.4. Viabilidad y germinación de semillas de *A. kerchovei*

6.4.1. Prueba de viabilidad y germinación en laboratorio.

Una semilla pesa en promedio 2.8 mg. La prueba de viabilidad aplicada en los embriones de semillas de *A. kerchovei* obtenidas de San Rafael, Puebla nos indicó una viabilidad de un 88%, mientras que los embriones de las semillas de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca mostraron un 100 % de viabilidad.

Para el caso de la germinación en laboratorio los porcentajes obtenidos fueron: las semillas de San Rafael, Puebla 37.3 % al décimo tercer día y un 98.7% al décimo día en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

6.4.2. Ensayo de germinación en campo.

El ensayo de germinación en campo se estableció el día 30 de Julio de 2010, una semana después de darse las primeras lluvias en las localidades bajo estudio. El primer día se instaló el experimento en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, conservando la localización aleatoria de los tratamientos dentro de las nueve subparcelas. El ensayo finalizó el día 24 de Septiembre del mismo año, es decir, el día 56 a partir del inicio de las observaciones.

Las características físicas de los sitios que fueron estimadas resultaron similares en altitud, excepto por pendientes contrastantes (Cuadro 5). En cuanto a la Densidad de Flujo Fotónico Fotosintético (DFFF) se muestran los datos por franja altitudinal (10 x 30 m) bajo radiación solar directa y bajo doseles de diferentes especies presentes, condición sombreada principalmente por arbustos.

En la figura 9 se muestra el porcentaje de germinación observado durante el experimento; el porcentaje máximo de germinación se obtuvo al día 26 (fecha 25 de Agosto) en todos los casos. Es evidente el bajo porcentaje de germinación de las semillas obtenidas de la población de San Rafael (SR), Puebla, colocadas en su mismo lugar de procedencia, resultando un 19.4 % para la condición de

Sombra alta ($S+= 440.7 \pm 65.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 13.4 % en Sombra baja ($S-= 821.9 \pm 152.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y 5.4 % en Luz directa ($Ld= 1, 525.1 \pm 73.5 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Cuadro 5), dentro de estas no se encontró ninguna diferencia significativa (Cuadro 6). Las semillas de la población de San Gabriel (SG), Oaxaca colocadas en San Rafael, Puebla, muestra los siguientes porcentajes, 41.4 % en S+, 12 % en S- y 6.6 % en Ld, y en este caso al aplicar la comparación estadística de medias (Tukey), resulta que hay diferencias significativas (Cuadro 6) entre los tratamientos de S+ y Ld, además de S+ y S- con una significancia de 95 y 99 %. Al comparar la respuesta de las semillas de ambas localidades bajo los tres tratamientos dentro de San Rafael, Puebla nos indica que su respuesta en general es significativamente diferente, de igual manera con 95 y 99 % de significancia.

Cuadro 5. Atributos bio-físicos estimados en los sitios de estudio.

| LOCALIDAD | ORIENTACIÓN | PEND. (%) | ALTITUD (msnm) | DFFF | DFFF ($\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | | |
|---------------------------------------|-------------|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Radiación Solar directa ($\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | Radiación solar bajo dosel de diversas especies | | |
| San Rafael, Puebla | Noroeste | 70 | 985 | 1710 | <i>Bursera sp.</i> 1013 | <i>Mimosa luisana</i> 950 | <i>Castela erecta</i> 700 |
| | | | 970 | 1525 | <i>Ziziphus amole</i> 317 | <i>Ipomea pauciflora</i> 300 | <i>Agave kerchovei</i> 250 |
| | | | 970 | 1340 | <i>Jatropha neopauciflora</i> 700 | <i>Mimosa luisana</i> 950 | ----- |
| San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca | Noroeste | 45 | 962 | 1604 | <i>Turnera diffusa</i> 200 | ----- | ----- |
| | | | 944 | 1472 | <i>Turnera diffusa</i> 220 | <i>Jatropha rzedowskii</i> 700 | ----- |
| | | | 933 | 1340 | <i>Bouteloua curtipendula</i> 127 | <i>Turnera diffusa</i> 243 | ----- |

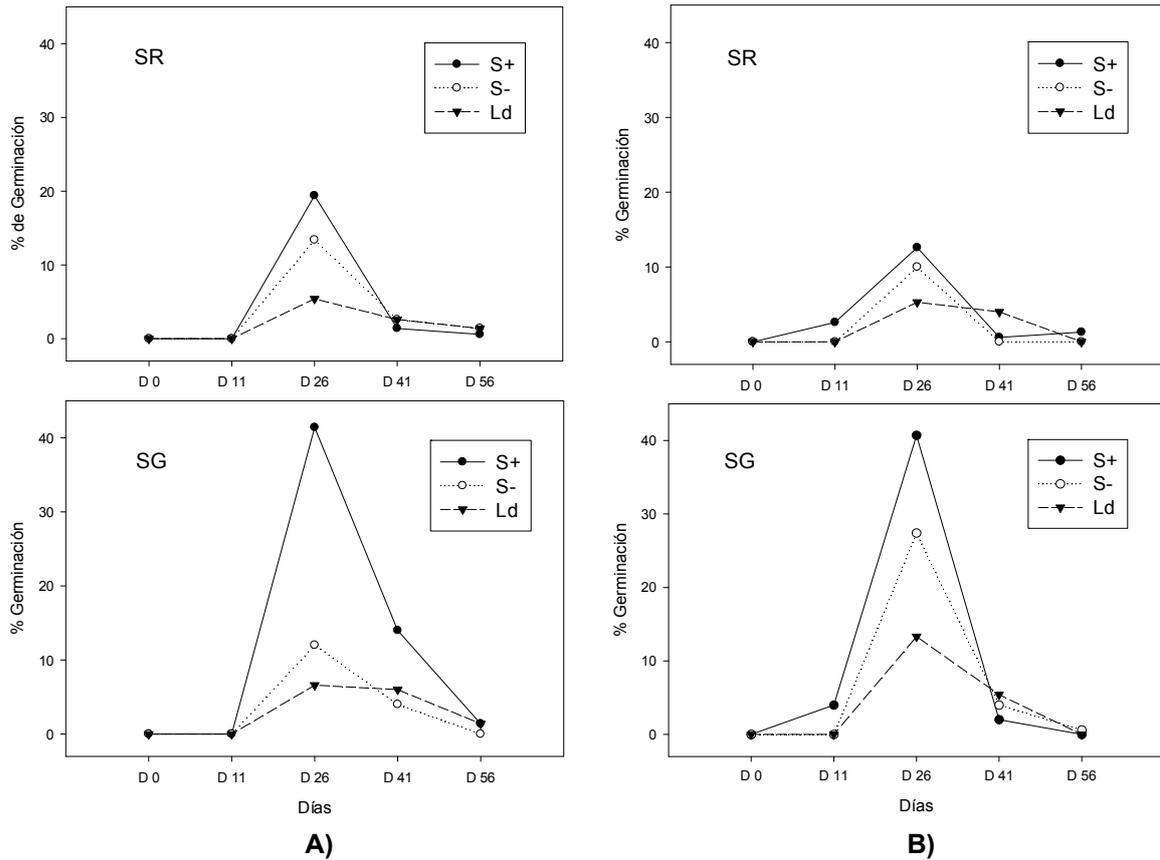


Figura 8. A) Porcentaje de germinación de San Rafael, Puebla (SR) y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (SG) dentro de San Rafael, Puebla, bajo los tratamientos (S+) Sombra alta (DFFF= $440.7 \pm 65.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (S-) Sombra baja (DFFF= $821.9 \pm 152.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y (Ld) Luz directa (DFFF= $1, 525.1 \pm 73.5 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$). B) Porcentaje de germinación de semillas de SR y SG dentro de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (SG), bajo los mismos tratamientos, S+ (DFFF= $152.1 \pm 24.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), S- (DFFF= $225.2 \pm 30.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y Ld (DFFF= $1, 472 \pm 63.8 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Por otra parte, en la localidad de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, se obtuvo para las semillas de SR un 12.6 % en la condición de S+ ($152.1 \pm 24.6 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 10 % para S- ($225.2 \pm 30.4 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y 5.3 % en Ld ($1, 472 \pm 63.8 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$), posteriormente se aplicó la prueba de Tukey, la cual no mostró diferencias significativas (Cuadro 7); el mismo resultado en el caso de las semillas de SG. Sin embargo, los porcentajes de germinación son más altos en los tres tratamientos, S+ con 40.7 %, S-, 27.4 % y Ld, 13.3 %. La comparación estadística de medias sólo reveló diferencia significativa de un 95 %, entre las semillas de las dos localidades (SR y SG).

Cuadro 6. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de semillas de *A. kerchovei* de ambas localidades con los tres tratamientos (S+, S- y Ld) de San Rafael, Puebla.

| Comparación tratamientos de semillas SR | | | |
|--|-----------|--------------|-------------|
| Tratamientos | DM | Tukey | P |
| S+ vs. Ld | 7 | 3.61 | 0.061 |
| S+ vs. S- | 3 | 1.547 | 0.536 |
| S- vs. Ld | 4 | 2.063 | 0.344 |
| Comparación tratamientos de semillas SG | | | |
| Tratamientos | DM | Tukey | P |
| S+ vs. Ld | 17.333 | 8.94 | <0.001 * ** |
| S+ vs. S- | 14.667 | 7.565 | <0.001 * ** |
| S- vs. Ld | 2.667 | 1.375 | 0.607 |
| Comparación Semillas (lugar de procedencia) vs. Tratamiento | | | |
| SG vs. SR | DM | Tukey | P |
| S+ | 11 | 5.673 | 0.002 * ** |
| S- | 0.667 | 0.344 | 0.812 |
| Ld | 0.667 | 0.344 | 0.812 |
| Significancia * $\alpha=0.05$, ** $\alpha=0.01$ | | | |

Cuadro 7. Prueba de Tukey para el porcentaje de germinación de semillas de *A. kerchovei* de ambas localidades con los tres tratamientos (S+, S- y Ld) en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

| Comparación tratamientos de semillas SR | | | |
|--|-----------|--------------|----------|
| Tratamientos | DM | Tukey | P |
| S+ vs. Ld | 3.667 | 0.939 | 0.788 |
| S+ vs. S- | 1.333 | 0.341 | 0.969 |
| S- vs. Ld | 2.333 | 0.597 | 0.907 |
| Comparación tratamientos de semillas SG | | | |
| Tratamientos | DM | Tukey | P |
| S+ vs. Ld | 13.667 | 3.499 | 0.07 |
| S+ vs. S- | 6.667 | 1.707 | 0.472 |
| S- vs. Ld | 7 | 1.792 | 0.439 |
| Comparación Semillas (lugar de procedencia) vs. Tratamiento | | | |
| SG vs. SR | DM | Tukey | P |
| S+ | 14 | 3.584 | 0.026 * |
| S- | 8.667 | 2.219 | 0.143 |
| Ld | 4 | 1.024 | 0.483 |
| Significancia * $\alpha=0.05$ | | | |

Durante el experimento las lluvias fueron intermitentes e irregulares, en la Figura 9 se muestra la precipitación total registrada en la Estación Meteorológica de Huajuapán de León, Oaxaca (<http://clima.tiempo.com/clima-en-huajuapan+de+leon-767730>, 2011), siendo la más cercana a los sitios de estudio.

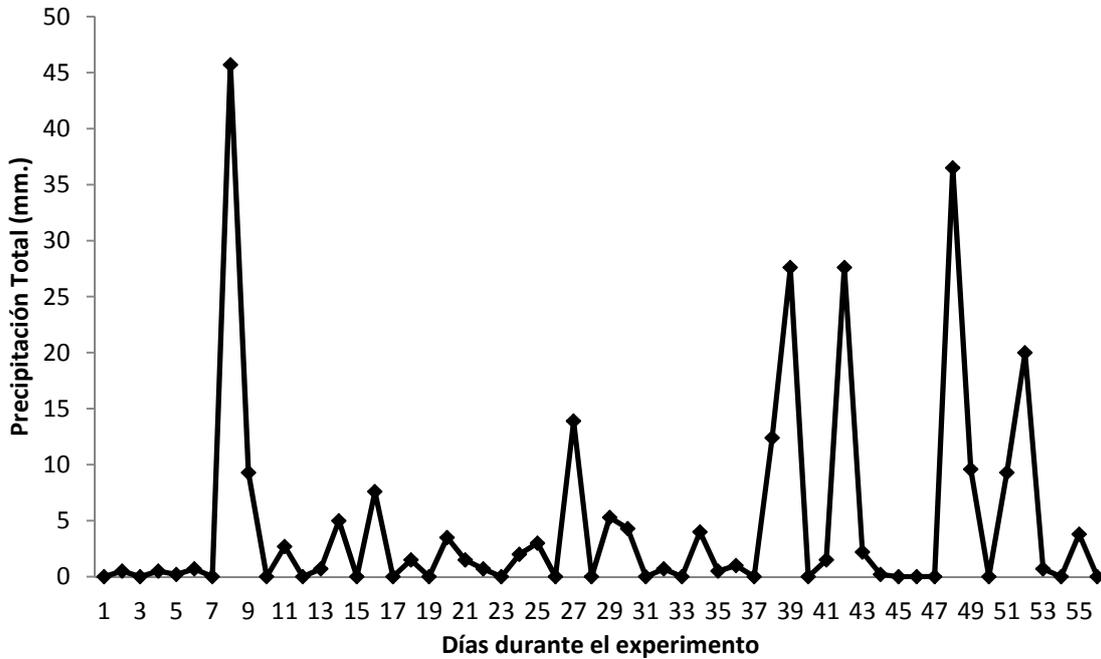


Figura 9. Precipitación total en mm día⁻¹, desde el inicio del experimento, del 31 de julio de 2010 hasta el final de las observaciones (56 días), 24 de Septiembre del mismo año. Información tomada de la Estación Meteorológica de Huajuapán de León, Oaxaca (767730).

A partir del día 26 de observación, se encontraron plántulas en todos los tratamientos.

Cabe señalar que las plántulas de San Rafael, Puebla poseían una coloración rojiza (Figura 28), mientras que en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca eran verdes (Figura 29). Al mismo tiempo, aparecían plántulas dañadas, depredadas en el ápice del cotiledón (Figura 30) por un ortóptero, lo que provocó la muerte de la totalidad de plántulas logradas durante el experimento en ambas localidades.

6.4.3. Análisis edáfico y relación con la germinación.

Los datos del análisis químico de los suelo donde habita *A. kerchovej*, fueron tomados en cada unidad (10 x 10 m). En el Cuadro 8 se muestra el promedio de cada parámetro por franja altitudinal para ambas localidades bajo estudio.

Cuadro 8. Análisis químico de suelos de las dos localidades bajo estudio

| | pH | CE | M.O. | N* | P | K | Ca | Mg | Na | Fe | Cu | Mn | Zn | |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|-----------|------|---------------------------------------|-------|------|------|----------|------|------|------|
| Franja altitud (msnm) | 1:2 H ₂ O | 1:5 H ₂ O mmhos /cm | (%) Walkley - Black | (%) estimado | Olsen ppm | | NH ₄ OAc 1 N pH 7 meq/100g | | | | DTPA ppm | | | |
| San Rafael, Pue. | 985 | 7.90 | 2.06 | 1.53 | 0.08 | 0.67 | 0.3 | 165.9 | 1.93 | 0.77 | 2 | 0.77 | 2.67 | 0.3 |
| | 970 | 7.76 | 1.96 | 1.66 | 0.08 | 0.67 | 0.3 | 133.1 | 1.23 | 0.63 | 2.67 | 0.79 | 3.67 | 0.5 |
| | 970 | 7.75 | 2.04 | 1.87 | 0.09 | 1 | 0.3 | 163.2 | 0.93 | 0.5 | 3 | 0.58 | 4 | 0.4 |
| San Gabriel, C.B., Oax | 962 | 8.0 | 0.2 | 4.77 | 0.24 | 4 | 0.3 | 36.47 | 3 | 0.13 | 4 | 0.81 | 16.3 | 0.47 |
| | 944 | 8.1 | 0.14 | 3.8 | 0.19 | 2.67 | 0.3 | 38.53 | 2.93 | 0.1 | 4 | 0.8 | 15 | 0.3 |
| | 933 | 8.1 | 0.11 | 3.7 | 0.19 | 0.67 | 0.3 | 31.47 | 2.17 | 0.07 | 4.3 | 0.78 | 13.3 | 0.4 |

La prueba de varianza de una vía (ANOVA) a la cual fueron sometidos los datos de los análisis químicos realizados en los suelos con base en las condiciones establecidas para evaluar el porcentaje de germinación de las semillas de *A. kerchovej*, no indicaron diferencia alguna en cuanto a las muestras obtenidas de San Rafael, Puebla. La situación fue diferente, en San Gabriel, Oaxaca, ya que el análisis de comparación de medias (Tukey) marca la existencia de diferencias significativas en los macronutrientes magnesio (Mg) y sodio (Na (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prueba de Tukey para el análisis químico de macronutrientes en suelo de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, bajo las condiciones de evaluación del porcentaje de germinación.

| Comparación de macronutrientes vs. tratamientos de germinación en San Gabriel, Oaxaca | | | |
|---|-------|-------|---------|
| Mg | DM | Tukey | P |
| Ld vs. S+ | 1.692 | 4.952 | 0.030 * |
| Na | DM | Tukey | P |
| Ld vs. S- | 0.134 | 5.074 | 0.027 * |
| Significancia * $\alpha = 0.05$ | | | |

6.5. Estructura poblacional

Se encontraron 156 individuos en el lote de 900 m², es decir 1, 733 individuos por hectárea, en San Rafael, Puebla y 141 individuos (1, 566 ind. ha⁻¹) en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

Para estructurar a las dos poblaciones de *A. kerchovei* se establecieron clases de edad indirecta, determinadas por el número de parásitos. Cada parásito corresponde con la fracción 3/8, lo que equivale a tres vueltas y 9-1 hojas, y un ángulo de divergencia foliar de 135°. Las clases establecidas corresponden a esta relación: de una a nueve hojas- P1, de 10 a 18 hojas- P2, de 19 a 27 hojas- P3 y así sucesivamente. Se tomaron en cuenta hojas vivas y muertas. Como las poblaciones de esta especie son escasas y de difícil acceso, la información estuvo basada solo en los individuos presentes en los lotes de estudio.

En la Figura 11 se muestra una relación directa entre alometría (altura-diámetro) y desarrollo-edad basado en el número de parásitos, en las dos poblaciones bajo estudio, hasta ciertas clases parásitas mayores, en las que se observa un decremento del tamaño de las plantas adultas conforme aumenta la edad parásita, justo en el punto de inflexión de la curva; en San Rafael, Puebla, desde el parásito seis y siete para la relación altura-parásitos y diámetro-parásitos, y en San Gabriel, Oaxaca se observa desde el parásito siete al 11 en ambas relaciones, altura y diámetro.



Figura10. *Agave kerchovei* Lem.

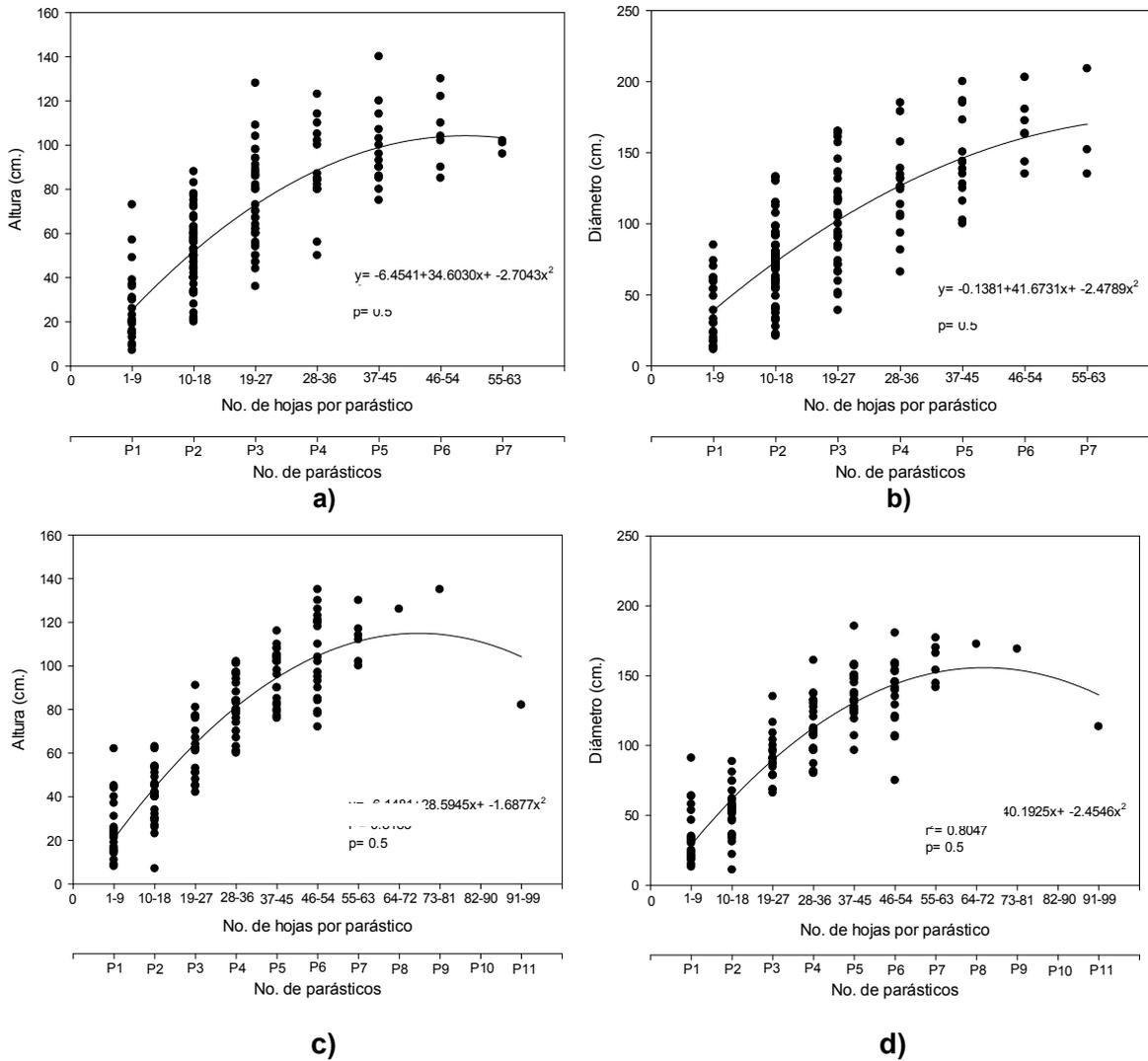


Figura 11. Relaciones alométricas y clases parásíticas en las poblaciones de *A. kerchovei*. a) Altura y b) Diámetro en San Rafael, Puebla; c) Altura y d) Diámetro en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

La Figura 12 muestra las clases establecidas en cada localidad, registrándose siete parásitos (P7) en San Rafael, Puebla y once parásitos (P11) en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, representándose en esta población las clases parásitas mayores. En San Rafael, Puebla, la mayoría de los individuos se concentran en las clases parásitas dos y tres, lo que genera en la estructura poblacional, un sesgo positivo hacia la derecha y una curtosis positiva (Cuadro 10), mientras que para San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, se observan densidades similares de las clases P1 a la P6, con una tendencia a disminuir en la P7 hasta tener una mínima aparición de la P8 a la P11. De tal forma que la población se sesga ligeramente a la izquierda (sesgo negativo) y presenta curtosis negativa, platicúrtica.

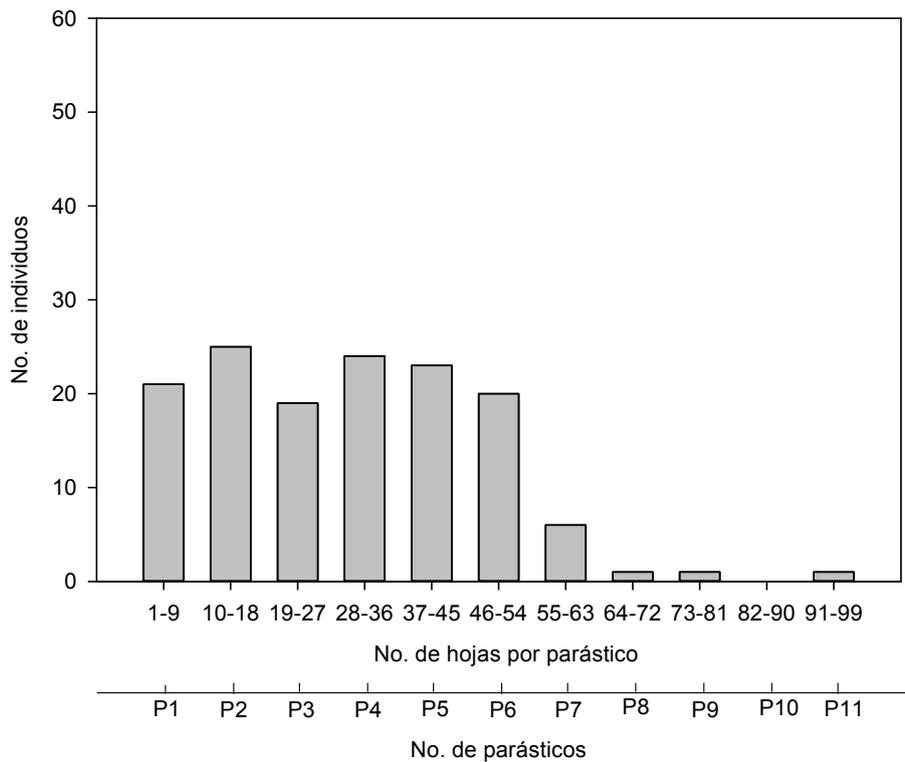
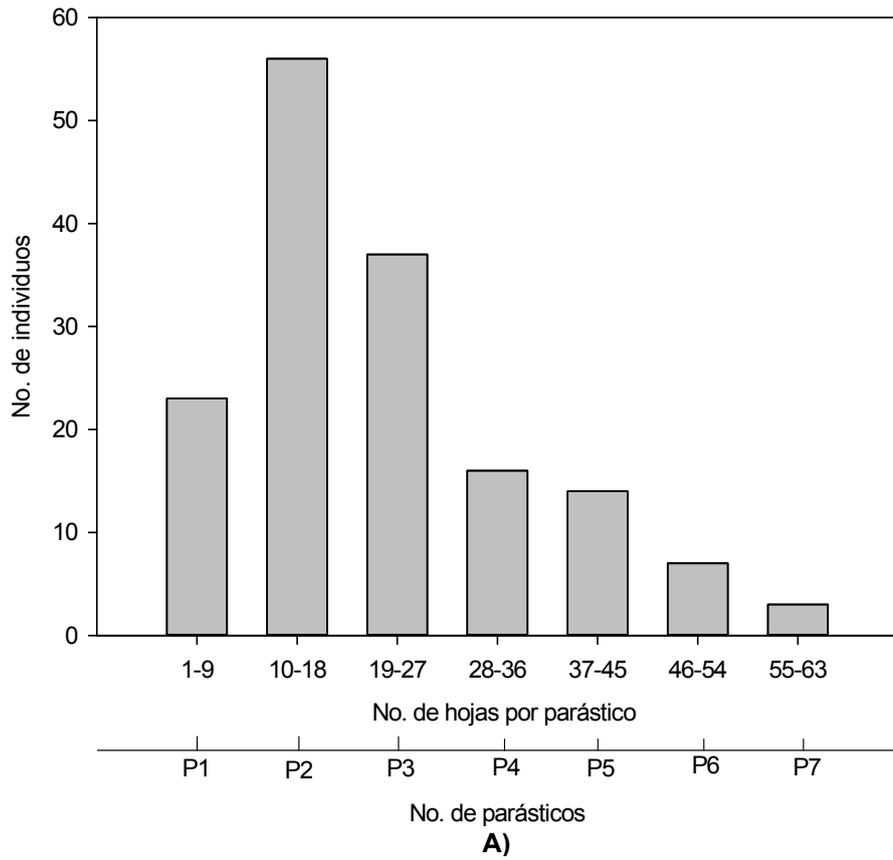


Figura 12. Distribución por clases de tamaño de los individuos de *A. kerchovei* censados en San Rafael, Puebla (A) y en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (B).

Cuadro 10. Estadísticos descriptivos de la distribución de individuos por clases de desarrollo-edad (parásitos).

| Localidad | Clases parásitas | No. Total de ind. | Media (No. De ind. por parásito) | Var. | Desv. Est. | Coef. Var. | Sesgo | Curtosis |
|---------------|------------------|-------------------|----------------------------------|--------|------------|------------|-------|----------|
| Sn. | | | | | | | | |
| Rafael, Pue. | 7 | 156 | 22.29 | 344.57 | 18.56 | 83.29 | 1.09 | 0.65 |
| Sn. | | | | | | | | |
| Gabriel, Oax. | 11 | 141 | 12.82 | 116.36 | 10.79 | 84.16 | -0.19 | -2.21 |

Durante el periodo de floración del año 2010 (Octubre-Enero) se realizó un recuento de los escapos presentes en cada población bajo estudio. En San Rafael, Puebla no hubo ninguno y en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca hubo cinco escapos, de los cuales solo se colectaron dos que se encontraban en buenas condiciones, pues casi todos los agaves incluyendo a los cinco mencionados estaban afectados por una plaga, que según mencionan los lugareños no la habían visto antes. Las hojas y la base del qurote de los agaves se encontraban con múltiples perforaciones cubiertas con gotas cristalinas endurecidas; el aspecto de los agaves era enfermo, deshidratado, de coloración amarillenta. Se realizó la colecta de los insectos para ser identificados con ayuda de entomólogos, resultando ser de la Familia Curculionidae, Subfamilia Conoderinae, Tribu Zygotini y especie *Peltophorus polymitus* Boheman, 1845, llamado comúnmente "Picudo". Por otra parte los quotes afectados estaban en pie, pero con serias afectaciones. Algunos no produjeron ni un botón y por ende ni un fruto, otros solo florecieron en alguna sección, basal, media o apical del qurote, y algunos lograron frutos que fueron tempranamente depredados. En esta parte se encontró otro insecto diferente, de igual forma se colectó y se llevó a identificar. Por el momento se sabe que es de la Familia Curculionidae.

De los dos únicos escapos colectados (muestra no representativa del estatus reproductivo de la población), se les realizó un recuento de las semillas

por cápsula para hacer una estimación del número de semillas en un quíote, con el fin de conocerlos aportes a fecundidad (Cuadro 11).

Cuadro 11. Fecundidad de los escapos colectados en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

| Clase parásitica | Long. total del escapo (m) | Long. de espícula (m) | No. de frutos | Promedio de semillas viables por cápsula | No. de semillas viables en el total de la espícula | Promedio de semillas no viables por cápsula | No. de semillas no viables en el total de la espícula |
|------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|--|--|---|---|
| P2 | 4.78 | 2.2 | 558 | 112 | 62, 496 | 47 | 26, 226 |
| P4 | 5.6 | 3.4 | 963 | 123 | 118, 449 | 84 | 80, 892 |

Al paso de este periodo de fructificación no se observaron bulbilos aéreos en los individuos de *A. kerchovei* y el recuento de vástagos rizomatosos en San Rafael, Puebla (Figura 13) es de 26 en total provenientes de 14 plantas madre, diez de estos vástagos se encontraron en la categoría de P4 (28-36 hojas), seguidas de las de P5 (37-45 hojas) y P2 (10-18 hojas) con seis, tres de P3 (19-27 hojas) y sólo uno P1 (1-9 hojas).

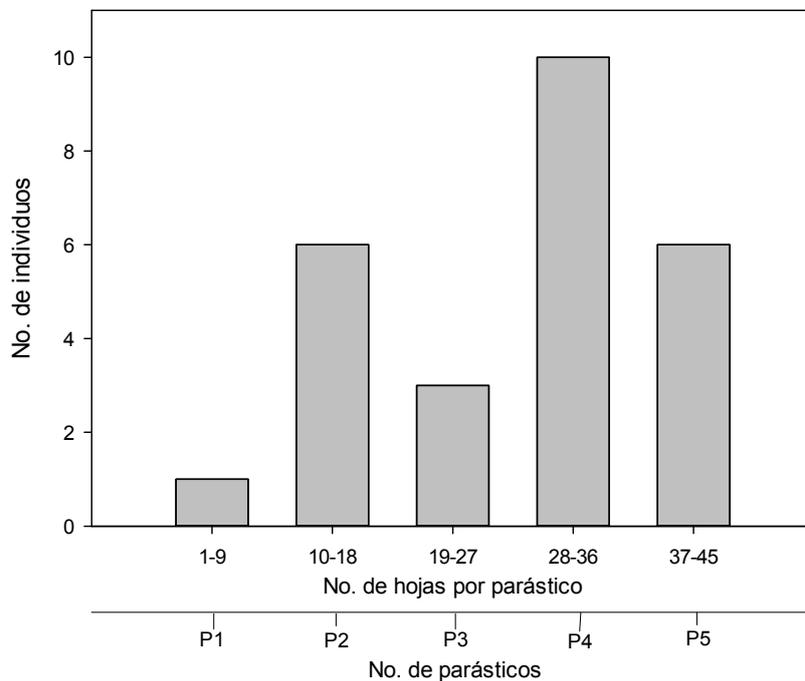


Figura 13. Vástagos de *Agave kerchovei* de origen rizomatoso y estado de desarrollo de la planta madre, categorizado por clase parásitica en San Rafael, Puebla.

En San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (Figura 14) solamente se encontraron siete plantas madre con una producción de ocho vástagos en total. De estos, cinco son de P5 (37-45 hojas), dos en P1 (1-9 hojas) y uno en P4 (28-36 hojas).

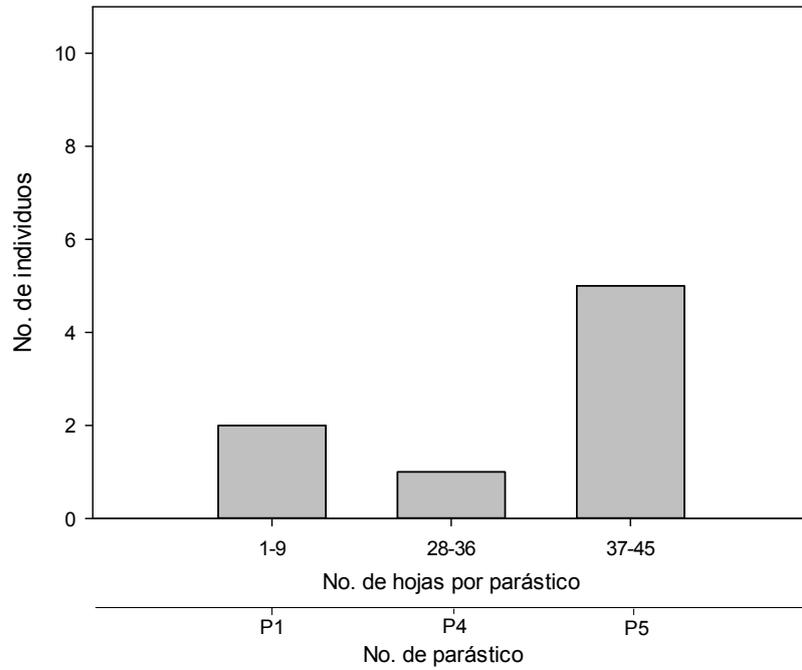


Figura 14. Vástagos de *Agave kerchovei* de origen rizomatoso y estado de desarrollo de la planta madre, categorizado por clase parásita en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.



Figura 15. Desarrollo del escapo floral de *Agave kerchovei*.

7. DISCUSIÓN

Etnobotánica de *A. kerchovei*

La información documentada hasta el momento sobre *Agave kerchovei* solamente refiere a una planta importante para la localidad de San Rafael, Puebla (Lira et al., 2008), por consiguiente en este estudio se ratifica la importancia de *A. kerchovei* principalmente como alimento para los pobladores tanto de San Rafael, Puebla, como en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. En estos poblados los entrevistados reconocen a este agave con los nombres comunes: “cacayas”, principalmente en San Rafael, Puebla, y “Rabo de León” en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. No obstante en ambas localidades lo reconocen con los dos nombres; aunque en algunos casos diferenciaron las estructuras del agave según el nombre, como las “cacayas” en el caso de los botones florales y Rabo de León el escapo en su totalidad, pero queda claro que hacen referencia a la misma planta.

Desde el siglo XVI, los agaves son reconocidos como proveedores de una gran variedad de recursos (Gentry, 1982). En este estudio los entrevistados de ambas localidades reconocen a los botones florales de *A. kerchovei* como las estructuras recolectadas para alimento, tanto para su consumo como para alimentar a su ganado. El modo de selección y colecta es específico, los informantes mencionan que los botones deben estar “tiernos”, es decir, previo a la anthesis, para conservar un buen sabor (no amargo), además consideran que el buen sabor de las “cacayas” dependerá de la persona quien las coseche y la forma en que lo haga, generalmente se corta una porción apical de la inflorescencia, hasta aproximadamente unos 15 cm. Después, les parece importante, quién será la persona que los procese y los cocine, (por la sazón y punto de conocimiento adquirido); las opciones gastronómicas son características de su cultura, y van desde solo hervir las “cacayas”, freírlas en aceite con limón y sal, combinarlas con mole, con huevo, en caldo y en otros modos culinarios.

La recolección de “cacayas” es un evento esperado cada año ya que la floración de *A. kerchovei* ocurre de Octubre a Enero. Este recurso se colecta

únicamente para autoconsumo, nadie colecta para ponerlas a la venta. Los recolectores que frecuentan los sitios donde habita *A. kerchovei*, también dejan que el ganado caprino ramonee los capullos. Los sitios de recolección son cercanos a sus hogares, y tienen la oportunidad de colectar las inflorescencias para compartirlas con sus familiares y amigos. Durante este periodo de floración varía la frecuencia y cantidad de cosecha, aunque se estima que realmente la demanda de los consumidores es considerable.

Los pobladores hacen evidente la forma en que realizan el aprovechamiento integral de sus recursos, ya que después de quitar los botones del qurote, a éste le dan diferentes usos, tan variados como: mangos de escobas, cercos para delimitar terrenos, material de construcción, etc.

Es importante resaltar que el aprovechamiento de las estructuras florales debe tomarse en cuenta en evaluaciones de impacto sobre las poblaciones de *A. kerchovei*, ya que de los botones florales y futuras flores en anthesis depende la reproducción sexual, evento que solo ocurre una vez en el ciclo vital de los agaves, pues son plantas semélparas (Gentry, 1982; Nobel, 1988). Por lo tanto, la forma de aprovechamiento para consumo de las estructuras reproductivas podría tener efectos negativos para las poblaciones de *A. kerchovei*, puesto que se está interviniendo sobre el futuro flujo genético (Barrett, 2002; Eguiarte *et al.*, 2007) y, en consecuencia, en la permanencia de las poblaciones y futuro de la especie.

Consideramos que estudios demográficos pueden revelar si las poblaciones pueden cubrir esa demanda alimentaria y de aprovechamiento múltiple, permitiendo que la dinámica poblacional de la especie continúe sin afectarse en términos reproductivos. Estamos de acuerdo con Prance (1995) y Davidson-Hunt (2000), quienes proponen como una necesidad, incorporar principios ecológicos en el desarrollo de las investigaciones etnobotánicas tradicionales abogando por la integración de diversos factores, procesos y experiencias que permitan ampliar y establecer criterios de gestión de los recursos con el fin de conservarlos y valorarlos dentro de las comunidades rurales, inclusive en las pertenecientes a Áreas Naturales Protegidas, como es el caso de *Agave kerchovei*.

Características físicas y especies acompañantes de los sitios donde habita *A. kerchovei*

En cuanto a las características físicas registradas en las dos localidades en estudio, se debe mencionar que las altitudes donde se localiza *A. kerchovei* son similares, pero casi 50% menores que las mencionadas por Gentry (1982), quien indica que esta especie crece entre los 1,400 y 1,875 msnm. En San Rafael, Puebla se observa una topografía más abrupta que en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, sin embargo *A. kerchovei* está presente en una pequeña franja, pero muy bien delimitada, sobre la parte más pronunciada de las laderas montañosas.

El tipo de vegetación tanto en San Rafael, Puebla como San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca corresponde con un Bosque Tropical Caducifolio, pero la composición observada en las comunidades vegetales donde habita *A. kerchovei*, son distintas en cuanto a especies, riqueza y abundancia.

En San Rafael, Puebla, el estrato rasante lo ocupa por abundancia *Selaginella lepidophylla.*, la cual en la época lluviosa sobresale dando ese aspecto de lugar húmedo. Dentro de las formas básicas que caracterizan este tipo de vegetación, aquí son representativas las formas arrosietadas (*Hechtia podanta* y *Agave macroacantha*), especies arbóreas del género *Bursera* (*B. schlechtendalii*, *B. arida*, *B. biflora*, *B. fagaroides*) típico del Bosque Tropical Caducifolio, además cactáceas columnares (*Neobuxbaumia tetetzo* y *Cephalocereus columna-trajani*) (Rzedowski, 2006). Los bosques tropicales caducifolios en ocasiones se desarrollan en cañadas o pendientes pronunciadas como en este caso, cuya pendiente es de 70%. Por otra parte, esta es un área poco densa en comparación con San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. El estrato arbóreo no es ni alto ni de gran cobertura, lo que permite la incidencia de luz (Baskin y Baskin, 1998; Rzedowski, 2006) y aumento de temperatura, hechos críticos en la época seca, razón por la que cambia la apariencia de los agaves de una tonalidad verde a rojiza muy intensa, con pocas hojas desplegadas y con aspecto de deshidratación, de porte bajo en términos alométricos.

Para el caso de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, localidad que posee mayor riqueza de especies y estructura más compleja, se muestra que la

vegetación es densa y de amplia cobertura, con especies arbóreas de ocho a 10 m, como son las tallas arbóreas de este tipo de vegetación (Torres-Colín, 2004), teniendo especies como, *Amphipterygium adstringens*, *Plumeria rubra*, *Ceiba parvifolia* y *Bursera morelensis*. El estrato arbustivo concuerda con la descripción de Rzedowski (2006), es favorecido por el estrato arbóreo, denso, proveedor de sombra y de mayor humedad para beneficio de las plantas de los estratos inferiores, es por esto que a diferencia de la apariencia de los individuos de *A. kerchovei* en San Rafael, Puebla, los agaves de Oaxaca son del característico color verde amarillento, tienen gran cantidad de hojas desplegadas, grandes tallas alométricas y parásitas, y en general, presentan un buen aspecto.

En ambos sitios se encuentran especies vegetales de gran utilidad para los pobladores de estas regiones (Lira *et al.*, 2008). Cabe señalar que esta parte de la investigación se realizó en la temporada de lluvias (Julio-Septiembre), entonces si se realiza de nuevo el reconocimiento y recuento de las especies en temporada de secas probablemente el resultado será distinto (MacArthur, 1960).

Patrón de distribución

La distribución encontrada en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca (agregada), corresponde con las condiciones físicas de cada lugar, ya que influye el gradiente de altitudes en el que se encuentra *Agave kerchovei*, la pendiente, así como las especies que le acompañan y pueden brindarle protección. En San Rafael, Puebla, la exposición a altas Densidades de Flujo Fotónico Fotosintético y la falta de tolerancia por parte de estas plantas, obliga a una distribución conglomerada en aquellos espacios que se hallan resguardados bajo otras especies de dosel superior o en microambientes protegidos. La distribución agrupada se caracteriza estadísticamente porque la variación de las distancias entre individuos es mucho mayor que el promedio de esas distancias (Condes y Martínez-Millán, 1998; Malacalza *et al.*, 2002), hecho que se distingue también, por la ausencia en la estructura poblacional de varias categorías de tamaño.

Germinación

La respuesta de germinación en campo de las semillas procedentes de ambas localidades bajo estudio, sometidas a los tres tratamientos basados en la DFFF recibido, resultó diferente según la población de procedencia de las semillas, y éstas a su vez, respondieron de manera distinta a cada tratamiento. Este comportamiento sugiere que las semillas responden por plasticidad a la interacción genotipo-ambiente (Sultan, 2000; Gianoli, 2004).

En San Rafael, Puebla, las semillas procedentes del mismo lugar, muestran preferencia por la condición donde hay menor radiación, es decir, sombra alta (S+), seguida de sombra baja (S-), en estos casos el dosel de las plantas de estratos superiores crea un microambiente favorable para la germinación, ya que provee sombra y disminuye la radiación solar, amortigua las temperaturas y reduce la pérdida de agua por evapotranspiración y fotoinhibición (Arizaga y Ezcurra, 2002; Nobel, 1988); con luz directa (Ld) el porcentaje de germinación es más bajo, pues la radiación directa puede inhibir la germinación (Baskin y Baskin, 1998). La respuesta observada en la germinación de las semillas de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, fue más favorable e indica que el fenotipo semillero corresponde a las condiciones presentes en su lugar de procedencia, por lo que muestra una preferencia de germinación en los sitios sombreados, de menor DFFF, bajo un dosel de otras especies. Poca sombra o luz directa no le favorecen.

Para el caso del experimento establecido en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, las semillas procedentes de San Rafael, Puebla responden de una forma similar que en su mismo sitio de origen. En cuanto a las semillas de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca, mostraron una mejor respuesta en los tres tratamientos a diferencia de lo obtenido en San Rafael, Puebla, lo cual concuerda con la descripción del sitio y con los datos de radiación tomados en algunas de las especies presentes (Cuadro 8), los cuales son más bajos que los encontrados en San Rafael, Puebla. Finalmente las semillas originarias de ambas localidades sometidas a diferentes intensidades de radiación dentro de cada sitio muestran una diferencia significativa, lo que sugiere que cada fenotipo está respondiendo a las condiciones específicas de cada lugar.

Otra respuesta a la cantidad de radiación, es la tonalidad rojiza que mostraron los individuos de este agave presentes en San Rafael, Puebla y las plántulas de ambos sitios de procedencia, obtenidas durante los experimentos de germinación en este mismo lugar, ya que los niveles excesivos de DFFF pueden deshidratar las células, provocar daño mecánico en las estructuras celulares, desnaturalización de enzimas, incluso la destrucción de la clorofila (Nobel, 1988). Los daños se denominan foto-oxidativos (Demming-Adams, 1990), a los cuales las plantas responden aumentando la producción de carotenoides (Demming-Adams y Adams, 1996) con la finalidad de disipar la energía y brindar protección; los carotenoides son los responsables de dar la coloración rojiza protectora contra el exceso de radiación. La respuesta foto-oxidativa ante la alta radiación es corroborada con el experimento de germinación en laboratorio, donde por tener a las plantas emergidas en ambiente protegido de la luz, la totalidad de las plántulas obtenidas fueron de color verde.

Durante el evento de germinación en campo de cualquier especie, se enfrentan a diversas limitaciones o riesgos, uno de ellos es la depredación que puede darse en los diferentes estadios (Baskin y Baskin, 1998), en el caso de los agaves hay insectos, aves y roedores que se alimentan de las semillas (Gentry, 1982; Nobel, 1988), pero cuando la germinación es exitosa, las plántulas también son de gran preferencia para insectos, en este caso de algunas especies de agave, ortópteros como *Schistocerca damnifica*, *Brachistola magnay*, *Melanoplus differentialis* (González *et al.*, 2011). En la literatura se documenta que los ortópteros son una de las plagas más comunes en cultivos de agaves, como en *Agave tequilana* (Pérez y Del Real Laborde, 2007) y *Agave lechuguilla* (Flores y Perales, 1989). Los ortópteros depredan los ápices de las hojas provocando la muerte de éstas cuando el consumo es intenso, en un 80% de la hoja, esto concuerda en parte, con lo sucedido con las plántulas obtenidas en ambos sitios, las cuales murieron en su totalidad pocos días después de finalizar las observaciones del experimento.

Análisis de suelos y relación con germinación

Los macronutrientes, Mg y Na, marcaron la diferencia significativa dentro de los tratamientos establecidos en el experimento de germinación en campo en la localidad de San Gabriel Casa Blanca. Se observa una acumulación mayor de estos elementos en la condición de sitios expuestos a luz directa; probablemente relacionada con la ausencia de agaves y la falta de demanda de los elementos. El Mg es parte importante de la estructura de la clorofila, regula el gradiente de protones en el estroma de los cloroplastos para la síntesis de ATP y al igual que el Na participan en la osmoregulación de las células (Alcántar y Trejo-Tellez, 2009)

Estructura poblacional

La tendencia positiva observada en la relación de alometría (altura y diámetro) y desarrollo-edad (por parásticos) en las dos poblaciones bajo estudio, sugiere que las dos metodologías son un buen indicador del crecimiento y desarrollo hasta la etapa de máxima productividad del agave, no obstante, las clases parásticas revelan perfectamente, que la alometría parece revertirse hacia la etapa senil de los agaves, lo que explica dos hechos: la alometría no tiene una relación lineal con la edad fisiológica de la planta, sino parabólica, y además, que el decremento del tamaño implica vejez en el agave y decremento en vigor, cambios aunados también, a la deshidratación y pérdida de dimensión, debidos a la inversión de la energía para la reproducción (una vez que comienza el desarrollo del escapo floral) (Nobel, 1988). La consecuencia de la inversión a recursos genéticos es para toda planta semélpara, la muerte de la planta madre.

La estructura poblacional resultante de ambas localidades, destaca una distribución sesgada a la derecha en San Rafael, Puebla, prácticamente conformada por plantas de tamaño y desarrollo pequeños, como en la mayoría de los elementos en la naturaleza (Kozlowski y Gawelczyk, 2002); debido a las difíciles condiciones del entorno (alta radiación, suelo pobre, falta de agua disponible en el suelo por el intenso escurrimiento de agua cuando llueve, a causa de lo escarpado de las pendientes, falta de un dosel superior denso que le proteja). La población de San Gabriel, Oaxaca, tuvo una distribución asimétrica a

la izquierda, aunque muy cercana a la Normal, lo que de antemano nos indica que en esta localidad, la población de *A. kerchovei* vive en mejores condiciones ambientales, es más madura, diversa en clases de tamaño o desarrollo-edad y, reproductiva, con aporte de semillas y vástagos vegetativos para renovación de la población; estas características auguran un buen pronóstico para estas poblaciones ya que estaría en posibilidad de renovarse la población y persistir en coexistencia con el entorno que les rodea y las especies circundantes.

Es importante mencionar que la etapa de mayor susceptibilidad de este agave se presenta en el primer parásico, por efecto de factores físicos restrictivos y por interacciones bióticas desfavorables como la herbivoría, ya que se registró mortalidad de plántulas a causa de depredación por insectos e inclusive por el pisoteo del ganado o de humanos (aunque esto último no fue cuantificado). Por otra parte, la contribución de vástagos vegetativos es considerable en San Rafael, Puebla, como alternativa a la falta de reproducción vía semillas; esto probablemente también es parte de las respuestas ya analizadas en cuanto a las características del área y, además al hecho de no haber encontrado escapos florales desarrollados en el año 2011, circunstancia que nos hace suponer que la multiplicación asexual es la opción más factible para permanecer o renovar la población en caso de no tener una reproducción sexual exitosa o al ser interferidos en su proceso biológico, mediante el aprovechamiento de los botones florales recolectados de los escasos escapos producidos.

Es importante resaltar que a pesar de tener una alta fecundidad, el aprovechamiento actual de este agave (consumo de botones florales) más la depredación de los botones propiciada por los picudos (no cuantificada), reducen las posibilidades de que una planta madre llegue a renovarse exitosamente, por las bajas probabilidades de dejar descendencia.

8. CONCLUSIONES

1. Las “cacayas” (botones florales) o el “Rabo de León” (en referencia a la forma de la espícula, los botones o todo el agave), son un recurso de valor alimentario muy importante para los pobladores y el ganado de San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca. La demanda es esperada y alta en la época de floración (Octubre-Enero), lo que conlleva un riesgo sobre las plantas reproductivas, por ser ésta especie de biología semélpara, con una sola oportunidad en su vida para reproducirse sexualmente.
2. *Agave kerchovei* se encuentra en áreas fisiográficas diferentes y, a pesar de que el Bosque Tropical Caducifolio conforma un tipo de vegetación abundante del Valle de Teotihuacán-Cuicatlán, cada localidad en que se estudió a este agave, posee características específicas y especies acompañantes que inciden sobre el patrón de distribución, germinación y caracteres demográficos de este agave.
3. La distribución de las dos poblaciones de *A. kerchovei* por la relación varianza-media corresponden a un arreglo agregado, aunque el coeficiente de agregación reflejó un patrón casi regular para la población de Oaxaca, acorde con la estructura de tamaños.
4. *A. kerchovei* muestra preferencia por sitios protegidos de la radiación, sin embargo las semillas procedentes de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca obtuvieron los mayores porcentajes de germinación inclusive cuando se probaron en el sitio de San Rafael, Puebla, en los tres tratamientos probados. A diferencia de los semillas procedentes de San Rafael, Puebla que resultaron menos viables y de menor porcentaje de germinación.
5. Alometría o clases parásticas son buenos indicadores para establecer la estructura poblacional, sin embargo, la técnica alométrica por mostrar una tendencia lineal con respecto a la edad fisiológica, no considera el cambio de dimensiones en la etapa senil de los agaves, detalle que sí fue

identificado en *A. kerchovei*, cuando esa información se relaciona con las etapas de desarrollo establecidas por clases basadas en el número de parásitos.

6. De acuerdo con la estructura poblacional, la distribución de tamaños de los agaves de San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca refleja madurez de la población y renovación, vía sexual y asexual, favorecida por un medio menos restrictivo que el presente en San Rafael, Puebla, sitio en el que la estructura poblacional es claramente sesgada por la abundante presencia de individuos pequeños y la nula presencia de agaves grandes, reproductivos y viejos.

9. LITERATURA CITADA

- Alcántar G. G., Trejo-Téllez L. I. 2009. Nutrición de cultivos. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa México S.A de C.V. México D.F.
- Arizaga S. y Ezcurra E. 2002. Propagation Mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a Tropical Arid-land Succulent Rosette. *American Journal of Botany*. 89 (4): 632-641.
- Autodesk® 3ds Max® v.14.0 student. 2012.
- Barret, S. C. 2002. The evolution plant sexual diversity. *Nature Reviews Genetics* 3:274-284.
- Baskin C. C. y J. M. Baskin. 1998. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, California. EE.UU.
- Begon M., Townsend C. R., Harper J.L. 2006. Ecology. From Individuals to Ecosystems. Blackwell Science Ltd. Oxford.
- Bowers, J. E. y McLaughlin S.P. 2001. Effects of livestock grazing on *Agave palmeri* within Coronado National Forest, Az.
- Brunet J.1867. Estudios Geológicos. En: Byers D. S. (Ed.). La Prehistoria del Valle de Tehuacán, Volumen uno: Medio ambiente y subsistencia. University of Texas Press. Austin, Texas.
- Canales-Martínez M. M. 2005. Base fitoquímica del uso tradicional de plantas para el tratamiento de enfermedades de posible origen bacteriano en San Rafael, Coxcatlán, Puebla. Tesis de Doctorado en Ciencias. Posgrado en Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. México. 155 pp.
- Casas A., Valiente-Banuet A., Viveros J. L., Caballero J., Cortés L., Dávila P., Lira R., and Rodríguez I. 2001. Plant Resources of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany* 55(1), 129–166.
- CONANP, 1998. DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Tehuacan-Cuicatlán ubicada en los estados de Oaxaca y Puebla. Consultado 29 de Marzo de 2010. <http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/reservas/Tehuacan.pdf>

- Condés S., Martínez-Millán J. 1998. Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestal* 7: 173-187.
- Cuautle M., García-Franco J.G. y Rico-Garay V. 1998. Estructura poblacional y características foliares de *Agave kerchovei*. Relación con la presencia de homópteros y hongos en el Valle de Zapotitlán, Puebla. *Cactaceas y Suculentas Mexicanas*. 43(4): 75-80.
- Dávila P., Arizmendi M. del C., Valiente-Banuet A., Villaseñor J.L., Casas A. Lira R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Biodiversity and Conservation* 11: 421–442 pp.
- Davidson-Hunt I. 2000. Ecological ethnobotany: stumbling toward new practices and paradigms. *MASA Journal*. 16(1): 1-13.
- Demming-Adams B. 1990. Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophyll zeaxanthin. *Biochimica et Biophysica Acta* 1020, 1-24.
- Demming-Adams B. y Adams W. W. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of fotosíntesis. *Trends in plant science*. 1 (1):21-26.
- Derdeyn, D. 1989. Information Paper: Initial survey of fire effects on *Agave* spp. On Fort Huachuca, Arizona and recommendations to protect the feeding habitat of Sanborn longnosed bat. Game Management Branch, DEH, U.S. Army Garrison, Fort Huachuca, AZ 18pp.
- Eguiarte L., Souza V., Aguirre X. 2007. Capítulo 7. La clonalidad y sus efectos en la biología de poblaciones. *Ecología Molecular*. Instituto Nacional de Ecología, Mexico D.F. 215-250 pp.
- Estación Meteorológica Huajuapán de León, Oaxaca, 2011. Datos Climáticos en Huajuapán de León organizados por días, meses y años. Estación meteorológica: 767730. Consultado en Enero de 2011. <http://clima.tiempo.com/clima-en-huajuapan+de+leon-767730>
- Farnsworth P., Brady E. J., DeNiro J. M. y MacNeish R. S. 1985. A Re-Evaluation of the isotopic and Archeological Reconstructions of Diet in the Tehuacan Valley. *Society for American Archaeology*. 50 (1): 102-116.
- Feinsinger, P. 2001. Designing field studies for biodiversity conservation. The nature conservancy. Island, Washington, D. C. 212 pp.

- Fernández Buces. Ma.N. 1999. Análisis de la dinámica de comunidades vegetales con relación a la evolución del paisaje, en la zona semiárida de Coxcatlán, Puebla. Tesis Maestría. UNAM. 115 pp.
- Flores F.J.D., Perales G.J.M. 1989. Primer reporte nacional de las plagas asociadas a la lechuguilla, *Agave lechuguilla* Torrey. *Agraria* 5: 57-73.
- Friedman J., Yaniv Z., Dafni A., Palewitch D. 1986. A preliminary classification of the healing potential of medicinal plants, bases on a rational analysis of an ethnopharmacological fields. Survey among Bedovins in the Negev Desert, Israel. *Journal of Ethnopharmacology* .16, 275-287.
- García-Mendoza A., 1992. Con sabor a Maguey. Guía de la colección nacional de Agavaceas y Nolináceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología-UNAM. México.
- García-Mendoza A. 1995. Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México. En: E. Linares, P. Dávila, F. Chiang. R. Bye y T. Elias (eds.), Conservación de plantas en peligro de extinción, Instituto de Biología, UNAM, México. 51-76 pp.
- García-Mendoza A. 2004. Agavaceas. En: A. J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM- Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund, México. 159-169 pp.
- García-Mendoza A. Noviembre de 2010. Jardín Botánico. Instituto de Biología, UNAM. Comunicación personal.
- García-Valenzuela M. A. 2011. Etnoecología de los agaves (Agavaceae) en la comunidad Ngiwa (Popoloca) de los Reyes Metzontla, Puebla, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México. 122 pp.
- Gentry H. S., 1982. Agaves of continental North America. The University of Arizona.
- Gianoli E. 2004. Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. Fisiología Ecológica en plantas. *Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. 13-25.
- González-Castillo M.P., Quintos E. M. y Catsaño-Meneses. 2011. Arthropods in Natural Communities in Mescal Agave (*Agave duranguensis* Gentry) in an Arid Zone. *American Journal of Applied Sciences*. 8 (10): 933-944.

- Gonçlaves de Lima O. 1956. El maguey y el pulque en los códigos mexicanos. Fondo de Cultura Económica. México. 278 pp.
- Google Earth version 6.6.0.5001, 2012. DirectX 9. Google Inc.
- Granados S. D.1995. Los Agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo. 252 pp.
- Halvorson, W. L., Hawks, M., Guertin, P. Alberti, B, and Hiett K. 1998. Monitoring handbook for Palmer's agave populations at Coronado National Memorial. U.S.G.S. Cooperative Park Studies Unit, School of Renewable Natural Resources, The University of Arizona, Tucson, AZ.
- Hopkins B., Skellam J.G., 1954. A new method for determining the type of distribution of plant individuals. *Annals of Botany* 18: 213-227.
- Howell, D. J. 1992. The status of Agave palmieri populations on Fort Huachuca- a preliminary report. On file with DEH, U:S: Army Garrison, Fort Huachuca, AZ, appendices and maps, 45 pp.
- Instituto Nacional de Ecología. 1997. Libros INE. Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán: Fundamentación.
- INEGI, 2008 Prontuario de Información Geográfica municipal de los estados Unidos Mexicanos. San Antonio Nanahuatipam, Oaxaca. Clave geoestadística 20109. Consultado en Febrero de 2012. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20109.pdf>
- INEGI, 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Coxcatlán, Puebla. Clave geoestadística 21035. Consultado en Marzo de 2012. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21035.pdf>
- Jiménez-Valdés M., Gódinez-Ávarez H., Caballero J. y Lira R. 2010. Population dynamics of *Agave marmorata* Roezl. under two contrasting management systems in central Mexico. *Economic Botany*. 64(2): 149-160.
- Johnson. K.J. y Yool S.R. 1999. A spatial distribution model for *Agave palmeri* using digital topographic data. The University of Arizona. Tucson, Arizona.
- Kozłowski, J. y Gawelczyk A. T. 2002. Why are specie's body size distributions usually skewed to the right? *Functional Ecology* 16: 419-432.

- Lira, R., I. Rodríguez, L. Gracia, H. Cervantes, C. M. Flores, J. Vázquez, I. Peñalosa, L. Hernández, M. Urzúa, M. Moreno, G. Avila, T. Hernández, M. Canales, A. M. García-Bores, R. Serrano, O. Coronado y M. López. 2008. 2o Informe del proyecto Conservación de Plantas Útiles de San Rafael Coxcatlán, a Través de Bancos de Semillas y Propagación, MGU/Useful Plants Project (UPP) - México, KEW Royal Botanic Gardens/FES Iztacala, UNAM, México. 20 pp.
- Lira R., Casas A., Rosas-López R., Paredes-Flores M., Pérez-Negrón E., Rangel-Landa S., Solís L., Torres I., y Dávila P. 2009. Traditional Knowledge and Useful Plant Richness in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Economic Botany*. 63 (3): 271-287.
- MacArthur, R. H. 1960. On the relative abundance of species. *American Nature* 94:25-36.
- MacNeish, R. S. 1967. An Interdisciplinary Approach to an Archaeological Problem. In *The Prehistory of the Tehuacan Valley: Volume I Environment and Subsistence*, edited by D. S. Byers, University of Texas, Austin. 14-24 pp.
- MacNeish R. S. 1981. Tehuacan's accomplishments. En: *Handbook of Middle America Indians*. University of Texas Press. Austin, Texas.
- Martin G. J. 1995. *Etnobotánica: Manual de Métodos*. Editorial Nordan Comunidad. 240 pp.
- Malacalza L., Momo F., Coviella C., Casset M. A., Giorgi A., Feijóo C. 2002. *Ecología General*.
- Nobel P.S., 1988. *Environmental biology of agaves and cacti*. Cambridge University Press. USA.
- Nobel P.S., 1998. *Los incomparables agaves y cactus*. Trillas. México.
- Pérez Domínguez J. F. Del Real Laborde J. I. 2007. Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Libro técnico Núm. 4, 135-168 pp.
- Prance G. 1995. Ethnobotany today and in the future. En: R.E. Schultes y S. Von Reis (Eds.) 1995. *Ethnobotany: Evolution of a discipline*. Timber Press. Portland, Oregon.

Programa Universitario México Nación Multicultural. UNAM. 2000. Consultado en
Abril de 2012.
<http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/index.html>

Rabinovich, E. J. 1978. Ecología de poblaciones animales, OEA. Washington,
D.C..

Ramírez Rancaño M. 2000. Ignacio Torres Adalid y la Industria pulquera. Plaza y
Valdés Editores. México D.F.

Rosas L. R. 2003. Estudio etnobotánico de San Rafael-Coxcatlan. Tesis de
Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de
Estudios Superiores Iztacala. Tlalnepantla, México. 94pp.

Rzedowki, J. 2006. Vegetación de México. 1era. Edición digital, Comisión
Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Sánchez A. G. 2004. Suelos. En: A.J. García-Mendoza, M. J. Ordoñez y M.
Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología, UNAM-
Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund,
México.

SigmaPlot versión 12.0. 2011. Systat Software, Inc.

Smith Jr. E. 1967. Restos vegetales. En Byers, D.S. (Ed.) La Prehistoria del Valle
de Tehuacán-Cuicatlánm Volumen uno: Medio ambiente y subsistencia.
University of Texas Press. Austin, Texas.

Sultan S.E. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life
history. *Trends in plant science*. 5(12) 537-542.

Torres Colín, R. 2004. Tipos de vegetación. En: A.J. García Mendoza, M.J.
Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de
Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-
World Wildlife Fund, México, 105-117 pp.

Valiente B. L. 1991. Patrones de precipitación en el Valle Semiárido de Tehuacán,
Puebla, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México
D.F.

Valiente-Banuet A., Alcántara A., Dávila P., Flores-Hernández N., Arizmendi M.
C., Ortega-Ramírez J., Soriano J. A. 2000. La vegetación del Valle de
Tehuacán.Cuicatlán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 67:25-75.

Valladares F. y Brites D. 2004. Leaf phyllotaxis: Does it really affect light capture?.
Plant Ecology 174: 11–17.

10. ANEXOS

Anexo 1



Figura 16. Frutos de *A. kerchovei*



Figura 17. Semillas dentro de una cápsula de *A. kerchovei*



Figura 18. Semilla de *A. kerchovei*



Figura 19. Embrión de una semilla de *A. kerchovei*



Figura 20. Despunte de un quiote de *A. kerchovei*

Figura 21. Quiote cortado





Figura 22. Separación y selección de los botones



Figura 23. Preparación de las "cacayas"



Figura 24. "cacayas" preparadas

Figura 25. Cabra y "cacayas"





Figura 26. Ensayo de germinación en San Rafael, Puebla en el tratamiento de S+



Figura 27. Ensayo de germinación en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca en el tratamiento de S-.



Figura 28. Plántulas rojizas de *A. kerchovei* en San Rafael, Puebla.



Figura 29. Plántulas verdes de *A. kerchovei* en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.



Figura 30. Plántulas de *A. kerchovei* depredadas por ortóptero.



Figura 31. Perforaciones en las hojas de *A. kerchovei* hechas por *Peltophorus polymitus*



Figura 32. Escapos dañados por *Peltophorus polymitus*



Figura 33. Cápsulas dañadas por *Peltophorus polymitus*



Figura 34. *Peltophorus polymitus* (coleóptero)

Anexo 2.

Cuadro 12. Especies encontradas en San Rafael, Puebla y sus abreviaciones usadas en las curvas de rango-abundancia.

| Especies | |
|--|-----------|
| 1. <i>Selaginella lepidophylla</i> | Sel. sp. |
| 2. <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. | Bou. cur. |
| 3. <i>Hechtia podantha</i> Mez | Hec. pod. |
| 4. <i>Agave macroacantha</i> Zucc. | Aga. mac. |
| 5. <i>Viguiera dentata</i> (Cav.) Spreng. | Vig. den. |
| 6. <i>Bursera schlectendalii</i> Engl. | Bur. sch. |
| 7. <i>Mimosa</i> sp. | Mim. sp. |
| 8. <i>Bursera arida</i> (Rose) Standl. | Bur. ari. |
| 9. <i>Jatropha neopauciflora</i> Pax | Jat. neo. |
| 10. <i>Sanvitalia procumbens</i> Lam. | San. pro. |
| 11. <i>Jatropha rzedowskii</i> J. Jiménez Ram. | Jat. rze. |
| 12. <i>Neobuxbaumia tetetzo</i> (J.M. Coult.) Backeb. | Neo. tet. |
| 13. <i>Actinocheita potentillifolia</i> (Turcz.) Bullock | Act. pot. |
| 14. <i>Mimosa luisana</i> Brandegee | Mim. lui. |
| 15. <i>Bursera biflora</i> (Rose) Standl. | Bur. bif. |
| 16. <i>Caesalpinia melanadenia</i> (Rose) Standl. | Cae. Mel |
| 17. <i>Bursera fagaroides</i> (Kunth) Engl. | Bur. fag. |
| 18. <i>Castela erecta</i> Turpin | Cas. ere. |
| 19. <i>Cephalocereus columna- trajani</i> (Karw. ex Pfeiff.) K. Schum. | Cep. col. |
| 20. <i>Fouquieria formosa</i> Kunth | Fou. for. |
| 21. <i>Cnidoscolus tehuacanensis</i> Breckon | Cni. teh. |
| 22. <i>Dalea carthagenensis</i> (Jacq.) J.F. Macbr. | Dal. car. |
| 23. <i>Ipomea pauciflora</i> L. | Ipo. pau. |
| 24. <i>Plumeria rubra</i> L. | Plu. rub. |
| 25. <i>Ziziphus amole</i> (Sessé & Moc.) M.C. Johnst. | Ziz. amo. |

Cuadro 13. Especies encontradas en San Rafael, Puebla y sus abreviaciones usadas en las curvas de rango-abundancia.

| Especies | |
|--|-----------|
| 1. <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. | Bou. cur. |
| 2. <i>Mammillaria haageana</i> Pfeiff. | Mam. haa. |
| 3. <i>Turnera diffusa</i> Willd. ex Schult. | Tur. dif. |
| 4. <i>Agave macroacantha</i> Zucc. | Aga. mac. |
| 5. <i>Hechtia</i> sp. | Hec. sp. |
| 6. <i>Mammillaria carnea</i> Zucc. ex Pfeiff. | Mam. car. |
| 7. <i>Amphipterygium adstringens</i> (Schltdl.) Standl. | Amp. ads. |
| 8. <i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber | Opu. pil. |
| 9. <i>Tillandsia</i> sp. | Til. sp. |
| 10. <i>Neobuxbarnia tetetzo</i> (J.M. Coult.) Backeb. | Neo. tet. |
| 11. <i>Mammillaria sphacelata</i> Mart. | Mam. sph. |
| 12. <i>Croton mazapensis</i> Lundell | Cro. maz. |
| 13. <i>Coryphantha calipensis</i> Bravo ex S. Arias Montes, U. Guzman Cruz & S. Gama Lopez | Cor. cal. |
| 14. <i>Plocosperma buxifolium</i> Benth. | Plo. bux. |
| 15. <i>Jatropha rzedowski</i> J. Jiménez Ram. | Jat. rze. |
| 16. <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. ex Pfeiff.) Console | Myr. geo. |
| 17. <i>Lippia graveolens</i> Kunth | Lip. gra. |
| 18. <i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose | Fer. lat. |
| 19. <i>Cordia curassavica</i> (Jacq.) Roem. & Schult. | Cor. cur. |
| 20. <i>Ipomea pauciflora</i> L. | Ipo. pau. |
| 21. <i>Fouquieria Formosa</i> Kunth | Fou. for. |
| 22. <i>Mimosa luisana</i> Brandegeee | Mim. lui. |
| 23. <i>Plumeria rubra</i> L. | Plu. rub. |
| 24. <i>Busera submoniliformis</i> Engl. | Bur. sub. |
| 25. <i>Ceiba parvifolia</i> Rose | Cei. par. |
| 26. <i>Eschontria chiotilla</i> (F.A.C. Weber) Rose | Esc. chi. |
| 27. <i>Lantana camara</i> L. | Lan. cam. |
| 28. <i>Mimosa</i> sp. | Mim. sp. |
| 29. <i>Senna wislizeni</i> (A. Gray) H.S. Irwin & Barneby | Sen. wis. |
| 30. <i>Bursera morelensis</i> Ramirez | Bur. mor. |
| 31. <i>Cnidoscolus tehuacanensis</i> Breckon | Cni. teh. |
| 32. <i>Melochia tomentosa</i> L. | Mel. tom. |
| 33. <i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb. | Ste. pru. |
| 34. <i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob. | Ste. ste. |

Anexo 3.

Cuestionario aplicado para obtener información sobre *A. kerchovei* tanto en San Rafael, Puebla como en San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca.

Evaluación del aprovechamiento de *Agave kerchovei* (“Rabo de León” o “Cacayas”) en San Rafael, Puebla y San Gabriel Casa Blanca, Oaxaca

Octubre 2010.

Nº _____

Datos generales:

Nombre: _____ Edad: _____

Sexo: F M Ocupación: _____

1. ¿Conoce esta planta? SI NO

2. ¿Con qué nombre(s) la conoce?

3. ¿Usted utiliza esta planta o alguna de sus partes? SI NO ¿Cuál?

4. ¿Para qué la utiliza?

5. ¿Cómo lo utiliza?

6. ¿Cómo lo obtiene?

A) Colecta

B) Compra

7. ¿Dónde la colecta?

8. ¿Cómo lo colecta?

A) Corta todo el quiote y se lo lleva.

B) Corta o agacha el quiote y solo lleva las flores necesarias, dejando algunas.

C) Otra _____

9. ¿Qué cantidad colecta?

A) Quiotes _____

B) Flores _____

C) Otro _____

10. ¿Cuándo y cada cuánto las colecta?

11. Las colecta para:

A) Autoconsumo

B) Venta

C) Ambos

Anexo 4. Fotografías complementarias para las entrevistas.



Agave kerchovei



A. Kerchovei con inflorescencia



Inflorescencia de *A. kerchovei*

Anexo 5

Técnicas empleadas en el análisis químico de suelos.

pH relación 1:2 con H₂O, CaCl₂ 0.01M o KCL 1N.

Reactivos

- Agua destilada
- KCL 1N diluir 74.555 g. de KCL en 1 L. de agua destilada
- CsCl₂ 0.01M diluir 1.4702 g. de CaCl₂ 2H₂O en 700 ml de agua destilada y ajustar el pH entre 5 y 6.5 con Ca(OH)₂ o HCl y aforar a 1L. Utilizar soluciones buffer con pH de 4.0, 7.0 y 10.0.

Material

- Tamiz de 2mm.
- Vaso de precipitado de 100ml.
- Agitador de vidrio o agitador magnético
- pH-metro

Procedimiento

Se pesan 10 g. de suelo y se colocan en un vaso de precipitado de 100 ml., se añaden 20 ml de solución (KCl o CaCl₂) relación suelo/solución 1:2 y se agita en intervalos regulares durante media hora con ayuda de un agitador mecánico a 180 opm durante 5 minutos. Agitar muy bien la suspensión antes de la lectura.

Conductividad eléctrica (CE)

Reactivos

- KCl 0.01N diluir 0.07456 g. de KCl (se seca a 110 °C durante 2 horas) en 1 L.
- Agua destilada

Material y Equipo

- Tamiz de 2 mm
- Probeta de 50 ml.
- Vasos de precipitados
- Varillas de vidrio
- Termómetro escala 0-100 °C
- Puente de conductividad

Procedimiento

Se pesan 10 g. de suelo tamizado y se colocan en un vaso de precipitado de 100 ml, se adicionan 50 ml. De agua destilada y se agita dejando reposar por 24 horas. El equipo debe conectarse 10 minutos antes de realizar las lecturas, se enjuaga la celda 3 veces con agua destilada y posteriormente con la solución problema: se selecciona el botón correspondiente. Se enciende el aparato y se determina la CE. La lectura correcta se tomará como la máxima apertura de la sombra del ojo mágico, deben hacerse por lo menos 2 lecturas, después de estas se vacía la celda y se llena nuevamente. Al finalizar todas las lecturas se apaga el aparato. Finalmente se enjuaga la pipeta tres veces con agua destilada y se desconecta de la corriente.

Las lecturas se corrigen con un factor de temperatura y se expresa en mmhos/cm y más apropiado al Sistema Internacional en dSm-1.

Calibrar

Se enjuaga con agua destilada en varias ocasiones y se coloca KCl 0.01N a 25 °C y realizar lecturas, tres o cuatro repeticiones para obtener un promedio y calcular la constante de la celda.

Cálculos

$$CE = \frac{(Lre)(Fc)(Ft)}{1000}$$

CE= Conductividad eléctrica mmhos/cm a temperatura ambiente.

Lre= Lectura de resistencia eléctrica (ohm).

Fc= Factor de corrección de la celda a 25 °C.

Ft= Factor de corrección de temperatura.

$$F_c = \frac{(1411.8 \times 10^{-6})(Lr_e')}{F_t}$$

1411.8×10^{-6} mmho/cm= constante para solución al 0.01N de KCl a 25 °C

Lr'e' = Lectura de resistencia a 25 °C

Ft= Factor de corrección de temperatura tabulada

Materia orgánica (MO) Método Walkley y Black

Reactivos

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1 N, disolver 49.032g. en agua destilada y aforar a 1L.
- $Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 5N. Disolver 196 g. de Sulfato ferroso amoniacal (NH_4)₂ en 250 ml. De agua. SE adicionan 15 ml. de ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado y enfriar a temperatura ambiente y aforar a 1 L con agua.
- Sulfato ferroso 0.5N. Disolver 140 g. de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en 250 ml. y adicionar 15 ml. de ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4 , enfriar a temperatura ambiente y aforar a 1 L con agua.
- Difenilamina. Disolver 0.5 g. de $C_{12}H_{13}NO_4S$ en 20 ml. De agua y 100 ml. De H_2SO_4 concentrado.
- H_2SO_4 Ácido sulfúrico concentrado
- H_3PO_4 Ácido fosfórico concentrado
- NaF Fluoruro de sodio

Material y Equipo

- Tamiz 0.5 mm.
- Matraz Erlenmeyer 500 ml.
- Bureta 25 ml.
- Pipeta volumétrica 10 ml.

- Probeta 50 ml.

Procedimiento

Pesar 0.500 g. de suelo y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Añadir 10 ml. De $K_2Cr_2O_7$ 1N con pipeta volumétrica y agitar, posteriormente con una probeta añadir 20 ml. De H_2SO_4 concentrado y agitar durante 1 minuto. Se deja reposar 20 minutos y se le vierten 200 ml. de agua destilada y 10 ml. de H_3PO_3 y de 20 a 25 gotas de indicador de difenilamina. Finalmente se titula con $FeSO_4$ 0.5N.

Si el consumo de la solución ferrosa es menor a 4 ml., repetir con una muestra más pequeña ya que la reducción de materia orgánica no ha sido completa. La presencia de materiales reductores como cloruros, hierro ferroso, etc., dan resultados altos. Si se sospecha la presencia de cloruros en el suelo, añadir al ácido sulfúrico 25 g./L de sulfato de plata.

Cálculos

$$\% MO = 10 (1 - M/B) * 1.34$$

M= ml. de $FeSO_4$ gastados en muestra problema

B= ml. de $FeSO_4$ gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma:

$$(1.0 N) * (12/4000) * (1.72/0.77) * (100/0.5) = 1.34$$

1.0= Normalidad de $K_2Cr_2O_7$

12/4000= peso miliequivalente de C

1.72= factor de transformación de carbón en MO

0.77= factor de recuperación de 77% hallado por Walkley

0.5= peso de la muestra

Si el peso de la muestra es diferente, se sustituye en la ecuación anterior para encontrar el factor correspondiente para calcular el porcentaje de MO.

Fósforo (P) Olsen

Reactivos

- Solución extractora: Bicarbonato de Sodio 0.5 M. Pesar 42 g. de $NaHCO_3$ y disolver en aproximadamente 900 ml. de agua. Ajustar pH a 8.5 con NaOH y se enrasa a 1 L. y mantenerlo así hasta antes de utilizarla, así como evitar su contacto con el CO_2 .

- Ácido sulfúrico 14 N. Se diluyen 196 ml. de H₂SO₄ concentrado en agua y se enrasa a 500 ml.
- Ácido sulfúrico 7 N. Se diluyen 5 ml. de H₂SO₄ concentrado en agua y se enrasa a 25 ml.
- Tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. SE pesan 0.5 g. de K(SbO)C₄H₄O₆ ½ H₂O y se disuelven en 100 ml. de agua.
- Molibdato de amonio. Se disuelven 20 g. de [(NH₄)₆Mo₇O₂₄H₂O] en 300 ml. de agua. Posteriormente se agrega lentamente, bajo constante agitación y mucho cuidado 450 ml. de H₂SO₄ 14 N, después se adicionan 100 ml. de Tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. Se diluyen las mezclas a 1 L. con agua y finalmente se envasa en un frasco obscuro.
- Solución reductora Ácido ascórbico. Se disuelven 0.5 g. C₆H₈O₆ con solución de Molibdato de amonio y se afora a 100 ml. Esta solución se prepara minutos antes y cada vez que se vaya a realizar la colorimetría.
- Estándar de Fosfato (P) de 200 ppm. Disolver 0.878 g. de KH₂PO₄, previamente secado a 105° C, en agua y se afora a 1 L. y después se mantiene en refrigeración.
- Estándar de Fosforo de 5 ppm. Se diluyen 5 ml. de la solución de 200 ppm. De P en 200 ml. con agua, ésta debe prepararse cada 5 días.

Material y equipo

- Tamiz de 2 mm.
- Tubos de polipropileno de 100 ml.
- Papel Whatman 42.
- Carbón activado.
- Pipeta de 5 y 10 ml.
- Matraz aforado de 50 ml.
- Embudos de plástico.
- Microbureta.
- Bureta de 50 ml.
- Frascos de vidrio.
- Probeta de 50 ml. o dosificador automático.
- Agitador de acción recíproca.

- Espectrofotómetro.

Procedimiento

Se pesa 2.5 g. de suelo tamizado y se coloca en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. o en tubos de polipropileno de 100 ml. Posteriormente se agregan 50 ml. de la solución extractora y se agita por 30 minutos a 180 opm. Al finalizar este tiempo se filtra con papel Whatman 42. Si los suelos son ricos en materia orgánica se adiciona aproximadamente 1 g. de carbón activado al papel filtro, de lo obtenido se toma una alícuota de 5 o 10 ml. si el P es muy bajo y se coloca en un matraz aforado de 50 ml, agregando agua, 5 ml. de solución reductora y se afora. Para la lectura en el espectrofotómetro se lee en absorbancia después de 30 minutos, pero antes de 1 hora, a 882 nm.

| Solución P 5 ppm (ml.) | Solución extractora (ml.) | Agua (ml.) | Solución reductora (Ác. Ascórbico) (ml.) | P ppm. |
|---------------------------|------------------------------|---------------|--|-----------|
| 0 | 5 pH 8.5 | 40 | 5 | 0 |
| 1 | 5 pH 8.5 | 39 | 5 | 0.1 |
| 2 | 5 pH 8.5 | 38 | 5 | 0.2 |
| 3 | 5 pH 8.5 | 37 | 5 | 0.3 |
| 4 | 5 pH 8.5 | 36 | 5 | 0.4 |
| 5 | 5 pH 8.5 | 35 | 5 | 0.5 |
| 6 | 5 pH 8.5 | 34 | 5 | 0.6 |
| 7 | 5 pH 8.5 | 33 | 5 | 0.7 |
| 8 | 5 pH 8.5 | 32 | 5 | 0.8 |
| 9 | 5 pH 8.5 | 31 | 5 | 0.9 |
| 10 | 5 pH 8.5 | 30 | 5 | 1.0 |

Cálculos

$$P \text{ (ppm)} = \frac{\text{cálculos}}{\text{ppm.CC} \cdot (Dm) \cdot (Dv)}$$

ppm CC= Partes por millón en la curva de calibración.

Dm= Dilución de masa (volumen de sol. Extractante/ g. de muestra)

Dv= Dilución de volumen (aforo/alícuota)

Cationes Intercambiables Ca, Mg, K, Na (Macronutrientes)

Extracción con $\text{NH}_4\text{COOCH}_3$ 1N pH 7 en un equipo de vacío Centurión y cuantificación por absorción y emisión atómica.

Reactivos

- Acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1 N pH 7. SE diluyen 57 ml. de ácido acético glacial (CH_3COOH) en 300 ml. de agua, posteriormente se añaden 69 ml. de amoníaco (NH_3) concentrado, se agita y se ajusta el pH a 7 agregando amonio o acetato de amonio según corresponda y se adfora a 1 L. con agua.
- Estándar de Ca de 1000 ppm. Se disuelve 2.4973 g. de CaCO_3 (se seca a 255°C por 2 horas) en 5 ml. de HCl 6N y se diluye con agua aforando a 1 L.
- Estándar de Mg de 1000 ppm. Disolver 1 g. de Mg puro en HCl y aforar a 1 L. con agua.
- Estándar de K de 1000 ppm. Disolver 1.9067 g. de KCl en agua (secar a 110°C por 2 horas), se diluye en 1 L. de agua y se guarda en una botella de polietileno.
- Estándar de Na de 1000 ppm. Se disuelve 2.5421 g. NaCl en agua (secar a 110°C por 2 horas), se diluye en 1 L. de agua y se guarda en una botella de polietileno.
- Estándar de Ca, Mg, K y Na de 1000 ppm. Se diluyen por separado 50 ml. de solución de cada uno y se afora a 500 ml. con agua desionizada.

Material y equipo

- Tamiz de 2 mm.
- Jeringas de plástico de 50 ml.
- Cuadros de plástico
- Probeta de 50 ml. o dosificador automático
- Matraces aforados de 100 ml.
- Papel Whatman No. 42

- Extractor de vacío
- Pulpa de papel
- Lámparas de cátodo hueco de Ca y Mg
- Espectrofotómetro de absorción atómica y con modo de emisión atómica.

Procedimiento

- Se pesa 1 g. de pulpa de papel y se coloca en el fondo de una jeringa de plástico de 50 ml. a la cual se le ha separado previamente el émbolo.
- Se comprime la pulpa con el extremo plano del embolo y se agregan 4 g. de suelo tamizado de la textura fina o 6 g. de suelo de textura gruesa (para análisis de rutina se pesan 5 g.).
- La jeringa se coloca en la parte superior del equipo de vacío y se conecta a través de una manguera plástica corta con otra jeringa con émbolo en estado inicial, ésta última se sujeta a la parte inferior del extractor.
- Se miden 50 ml. de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 N pH 7 con una probeta y se vierte sobre la jeringa que contiene el suelo.
- Con los dedos golpetea sobre la jeringa para nivelar el suelo.
- Se hace accionar el vacío y se rectifican los conectores para evitar fugas de extractante. El equipo de vacío trabaja en la marca de 0.5 rp y tiene capacidad para 24 juegos de jeringas.
- Cuando el extractante ya sido succionado por la jeringa, se separa el juego de jeringas.
- Se desconecta el extractor y la solución es trasvasada a un matraz de 100 ml. y se repite toda la operación una segunda vez.

Determinación de Ca y Mg

Para determinar Ca se toma una alícuota de 3ml. y se afora con agua a 50 ml. y además se toma otra alícuota de 3 ml. pero esta vez se afora a 25 ml. y se lee en absorción atómica en N_2O , C_2H_2 y en curvas de calibración diluidas en agua.

| Curva de calibración Ca | | |
|-------------------------|-----------------------|--------|
| Solución Ca 1000 ppm | Aforar con agua (ml.) | Ca ppm |
| 0 | 100 | 0 |
| 1 | 100 | 1 |
| 3 | 100 | 3 |
| 5 | 100 | 5 |

| | | |
|----|-----|----|
| 7 | 100 | 7 |
| 10 | 100 | 10 |
| 15 | 100 | 15 |

- Para la determinación de Mg en general se lee en la primera dilución, se cuantifica con el equipo de absorción atómica en llama aire con C₂H₂ y en curvas de calibración diluidas en agua.

| Curva de calibración Mg | | |
|-------------------------|-----------------------|--------|
| Solución Mg 100 ppm | Aforar con agua (ml.) | Mg ppm |
| 0 | 100 | 0 |
| 1 | 100 | 1 |
| 3 | 100 | 3 |
| 5 | 100 | 5 |
| 7 | 100 | 7 |
| 10 | 100 | 10 |
| 15 | 100 | 15 |

- La determinación de K y Na por emisión atómica se realiza en el equipo de absorción atómica utilizando llama de aire con C₂H₂. Se lee en diluciones 50/3 + 25/3 y 25/3 respectivamente. Si las concentraciones de K y Na son altas se deberá hacer la dilución correspondiente, generalmente basta con hacer una dilución de 10/3 y finalmente se aforan con agua.

| Curva de calibración K y Na | | |
|---|-----------------------|--------|
| Solución K o Na (según corresponda) 100 ppm | Aforar con agua (ml.) | Mg ppm |
| 0 | 100 | 0 |
| 5 | 100 | 5 |
| 10 | 100 | 10 |
| 20 | 100 | 20 |
| 30 | 100 | 30 |
| 40 | 100 | 40 |

- Se debe calibrar el instrumento a 100 con el patrón más concentrado y a 0 con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ en caso de leer las muestras en el extracto concentrado o con agua si se han realizado diluciones. Para corregir parcialmente la variación instrumental, es conveniente volver a calibrar el instrumento a 100 antes de hacer las lecturas de cada una de las soluciones patrones. La serie de patrones. La serie de patrones y muestras se lee como mínimo 2 veces para obtener una lectura constante.
- La experiencia indica que las lecturas deben realizarse entre 10 a 15 segundos de iniciada la aspiración, para evitar así desviaciones debido a incrustaciones. Por otra parte debe aspirarse suficiente agua para limpiar el quemador después de leer cada muestra.

Cálculos

$$\text{Ca (meq. /100 g.)} = \frac{(\text{ppmCC})(\text{Dm})(\text{DV})(100)}{(20.04)(1000)(\text{Muestra})}$$

$$\text{Mg (meq. /100 g.)} = \frac{(\text{ppmCC})(\text{Dm})(\text{DV})(100)}{(12.15)(1000)(\text{Muestra})}$$

$$\text{K (meq. /100 g.)} = \frac{(\text{ppmCC})(\text{Dm})(\text{DV})(100)}{(39.1)(1000)(\text{Muestra})}$$

$$\text{Na (meq. /100 g.)} = \frac{(\text{ppmCC})(\text{Dm})(\text{DV})(100)}{(23)(1000)(\text{Muestra})}$$

ppm= partes por millón de la curva de calibración

Dm= dilución de masa (volumen del extractante/ g. muestra)

Dv= dilución de volumen (aforo/alícuota)

20.04, 12.15, 39.1, 23= factor para convertir a miliequivalentes.

Micronutrientes Fe, Cu, Zn y M Extracción de Fe, Cu, Zn y Mn con DTPA

Reactivos

- Solución extractora: Ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005M, cloruro de calcio $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01 M y Trietanolamina (TEA, $(\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$) 0.1 M, ajustando pH 7.30.
- 1 L.= 1.967 g. de DTPA, 1.47 g. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 14.92 g. TEA (si $\rho = 1.12 \text{ g./cm}^3$) se miden 13.3 ml. en aprox 20 ml. de agua desionizada, se diluye a 900 ml. Se ajusta pH a 7.30 ± 0.05 con HCl 6 N, se agita y se diluye a 1 L.

- HCl 6N 5.9 ml. al 37% en un matraz aforado de 10 ml. con agua.
- Estándar de zinc 1000 ppm. Disolver 1 g. de Zn metálico puro con 5 o 10 ml. de HCl concentrado. Se evapora casi a sequedad y se diluye a 1 L. con solución extractora.
- Estándar de Mn 1000 ppm. 1.5824 g. MnO_2 en 5 ml. de HCl concentrado. Se evapora casi a la sequedad y se diluye a 1 L. de solución extractora.
- Estándar de Fe 1000 ppm. 1 g. de Fe (en forma de alambre o polvo puro con 5 a 10 ml. de HCl concentrado. Se evapora casi a sequedad y se diluye a 1 L. con solución extractora.
- Estándar de Cu 1000 ppm. 1 g. Cu metálico en una cantidad mínima de HNO_3 concentrado y 5 ml. de HCl. SE evapora casi a sequedad y se diluye a 1 L. con solución extractora.
- Estándar de Fe, Cu, Zn y Mn 100 ppm. Se diluyen por separado 10 ml. de la solución 1000 ppm de Fe, Cu, Zn y Mn y se afora a 100 ml. con DTPA.

Material y equipo

- Tamiz 2 mm.
- Tubos de propileno de 100 ml.
- Matraces volumétricos 25 y 50 ml.
- Pipetas 2,3 y 5, ml.
- Tapones de hule y cuadros de plástico
- Microbureta
- Papel Whatman No. 42
- Probeta de 25 ml. o dosificador automático
- Agitador mecánico de acción recíproca
- Medidor de pH
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Lámparas de cátodo hueco de Fe, Cu, Zn y Mn

Dejar todo el material toda una noche en HCl al 5% y enjuagarse con H_2O de la llave y agua destilada.

Procedimiento

- Pesa 10 g. de suelo y deposita en un tubo de propileno de 50ml.
- Agregar 20 ml. de solución extractora

- Tapar los tubos (se cubre previamente el tapón con un cuadro de plástico para evitar contaminación) y agitar 2 horas a 180 rpm.
- Filtrar con papel Whatman No. 42 y se cuantifican los micronutrientes en el extracto.
- El Fe, Cu, Zn y Mn se determinan por espectrofotometría de absorción atómica y se utiliza llama aire con acetileno. La concentración de la muestra problema se obtiene de las curvas de calibración.

| Curva de calibración Fe, CU, Zn y Mn | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Solución 100 ppm Fe, Cu, Zn y Mn | Aforar con DPTA (ml.) | Fe, Cu, Zn y Mn (ppm) |
| 0 | 100 | 0 |
| 0.5 | 100 | 0.5 |
| 1.0 | 100 | 1.0 |
| 3.0 | 100 | 3.0 |
| 5.0 | 100 | 5.0 |
| 7.0 | 100 | 7.0 |
| 10.0 | 100 | 10.0 |
| 15.0 | 100 | 15.0 |
| 20.0 | 100 | 20.0 |

Cálculos

$$\text{Fe, Cu, Zn, Mn (ppm)} = (\text{ppm CC})(D_m)(D_v)$$

ppmCC=Partes por millón en la curva de calibración

D_m= dilución de masa (volumen de extractante/ g. de muestra)

D_v= dilución de volumen aforo/alícuota