

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE BOTÁNICA**

## **EFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE LA LADERA SOBRE LAS POBLACIONES DE SUCULENTAS EN LA REGIÓN DE YAGUL, OAXACA**

**JAIME CÉSAR LUIS MARTÍNEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO**

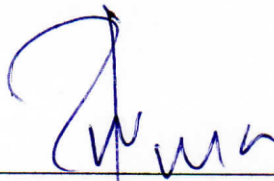
2020

La presente tesis titulada: **Efecto de la orientación de la ladera sobre las poblaciones de suculentas en la región de Yagul, Oaxaca**, realizada por el alumno **Jaime César Luis Martínez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



---

DR. MARIO LUNA CAVAZOS

ASESORA



---

DRA. HEIKE VIBRANS LINDEMANN

ASESORA



---

DRA. MARÍA FLORES CRUZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2020

# EFFECTO DE LA ORIENTACIÓN DE LA LADERA SOBRE LAS POBLACIONES DE SUCULENTAS EN LA REGIÓN DE YAGUL, OAXACA

Jaime César Luis Martínez, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2020

## RESUMEN

La disponibilidad de humedad para las plantas en las zonas secas está determinada por el efecto de exposición de las laderas, entre otros factores. Las laderas con exposición norte son más húmedas que aquellas con exposición sur. En investigaciones previas se encontró que la orientación de las laderas influye en la composición y estructura de las comunidades vegetales.

El estudio evaluó la riqueza, composición y estructura de las poblaciones de suculentas en diferentes laderas del Monumento Natural Yagul, Tlacolula, Oaxaca. En cada ladera, con orientaciones al norte, sur, este y oeste, se establecieron 18 unidades de muestreo (UM) de 30 x 2 m donde se registraron la densidad, cobertura, frecuencia y altura de las especies de suculentas. La densidad se registró con un recuento de individuos dentro de la unidad muestreada. Se midió la parte ancha y angosta de la planta y mediante la fórmula del área del círculo se obtuvo la cobertura de cada especie. Con los datos mencionados se estimó el Índice de valor de importancia (IVI). En cada ladera se obtuvieron muestras de tierra (0 a 20 cm). El esquema de muestreo consistió en 24 muestras compuestas, cada una conformada por tres submuestras obtenidas de tres UM de la parte baja, media y alta de las laderas. El propósito fue examinar con un análisis canónico de correspondencias la influencia de variables edáficas en la composición y estructura de suculentas en las diferentes laderas del área de estudio.

El registro fue de 1646 individuos, pertenecientes a 21 especies, 11 géneros y 3 familias. La familia con el mayor número de especies (11) fue Cactaceae con 1033 individuos. Las especies con mayores índices relativos de valor de importancia (IVI) fueron *Opuntia pubescens* y *Hechtia pringlei* en la ladera norte, *O. pubescens* y *Opuntia pilifera* en la ladera sur, *Myrtillocactus schenckii* y *O. pubescens* en la ladera este, *O. pubescens* y *M. schenckii* en la ladera oeste. El análisis de semejanza florística con base en presencia- ausencia de especies y el coeficiente de Jaccard como índice de semejanza, muestra un patrón de diferenciación de las UM orientadas al norte, lo cual se ratifica, en cierta medida, con el procedimiento de ordenación por correspondencias que asocia UM con especies. La prueba de permutación de respuesta múltiple indicó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la composición de especies entre condiciones.

La ordenación de las agrupaciones vegetales en función de siete variables edáficas mostró, en general, que las condiciones del suelo eran muy variables. Las correlaciones entre las variables y los ejes de ordenación indican que el eje uno diferenció a las laderas con orientación sur, debido a que son las que tienen un mayor contenido de fósforo y materia orgánica, con valores promedio de 22.12 y 3.21 respectivamente en relación a las otras laderas, cuyo contenido de ambos elementos fue, para fósforo en la Ladera Norte=7.59, Ladera Este=6.97 y Ladera Oeste=16.16, en tanto que para materia orgánica el contenido fue, Ladera Norte=2.80, Ladera Este=1.12 y Ladera Oeste=0.31. Las variables edáficas que contribuyeron a una mayor diferenciación de las laderas y poblaciones fueron materia orgánica y contenido de fósforo.

Estos análisis explican la distribución de las especies de suculentas en el área de Yagul y permiten recomendar algunas acciones para su conservación.

**Palabras clave:** Semejanza florística, orientación de ladera, riqueza, variables edáficas, conservación.

# EFFECT OF THE SLOPE ORIENTATION ON THE SUCCULENT POPULATIONS IN THE REGION OF YAGUL, OAXACA

Jaime César Luis Martínez, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2020

## ABSTRACT

The availability of moisture for plants in arid areas is determined by the effect of exposure of the slopes, among other factors. The slopes with exposure towards the North are more humid than those with exposure towards South. Previous investigations found that the orientation of the slopes influences the composition and structure of plant communities.

The study evaluated the richness, composition and structure of the succulent populations on different slopes of the Monumento Natural Yagul, Tlacolula, Oaxaca. On each slope, with orientations towards the North, South, East and West, 18 sample units of 30 x 2 m were established, where the density, cover, frequency and height of the succulent species were measured. The density was recorded with a count of individuals within the sample unit. The length and width of the plants was measured and the area calculated with the formula of the area of the circle; this was the cover of each species. With the aforementioned data, the Importance Value Index (IVI) was obtained. On each slope, soil samples were taken (0 to 20 cm). The sampling scheme consisted of 24 composite samples, each consisting of three subsamples obtained from three sample units from the lower, middle and upper slopes. The purpose was to analyze the influence of edaphic variables on the composition and structure of succulents in different slopes of the study area with Canonical Correspondence Analysis.

A total of 1646 individuals were registered, belonging to 21 species, 11 genera and 3 families. The family with the highest number of species (11) was Cactaceae with 1033 individuals. The species with the highest values of the importance index (IVI) were *Opuntia pubescens* and *Hechtia pringlei* on the Northern slope, *O. pubescens* and *Opuntia pilifera* on the Southern slope, *Myrtillocactus schenckii* and *O. pubescens* on the Eastern slope, *O. pubescens* and *M. schenckii* on the Western slope. The analysis of floristic similarity based on the presence-absence of species and the Jaccard coefficient as an index of similarity, showed a pattern of differentiation of sampling units oriented to the North, which was supported to some extent with the procedure of Detrended Correspondence Analysis that associates sampling units with species. The Multi-Response Permutation Procedures test indicated significant differences ( $p < 0.05$ ) in the composition of species between conditions.

The ordination of plant groups in terms of the seven edaphic variables showed in general that soil conditions were highly variable. The correlations between the variables and the ordination axis, indicated that the axis one differentiated the slopes with a Southern orientation, that have a higher content of phosphorus and organic matter, with average values of 22.12 and 3.21 respectively in relation to the other slopes, whose content of both elements was, for phosphorus Northern slope = 7.59, Eastern slope = 6.97 and Western slope = 16.16, while for organic matter the content was, Northern slope = 2.80, Eastern slope = 1.12 and Western slope = 0.31). The edaphic variables that contributed in a higher level to the differentiation of the slopes and populations were organic matter and phosphorus content. The edaphic variables that were important for the slopes and populations were organic matter and phosphorus content.

These analysis explain the distribution of the succulent species in the Yagul area and to recommend some actions for its conservation.

**Keywords:** Floristic similarity, slope orientation, richness, edaphic variables, conservation.

## **DEDICATORIA**

A mis padres María Martínez y Filogonio Luis, ya que han sido el motor que me impulsa para seguir adelante en la vida. Siempre disfrutando de su alegría y apoyo en todos los momentos más importantes de mi vida.

A mis hermanos Lulú, Sara, Alexis, Loyola, compañeros de juegos de la infancia, por su cariño y estar siempre conmigo, físicamente o en mi corazón. A mi hermano Silvano, por su apoyo en los momentos claves de este gran recorrido de la vida.

Este trabajo lo dedico de manera especial a mi hermana Rufina Luis, por ser mi respaldo y darme la fortaleza para llegar a esta meta y por brindarme su apoyo constante.

A todos mis amigos que estuvieron al pendiente de mi trabajo de investigación, que me animaron durante el período de la maestría. A Ana Puga, Beto Cortés, Leo Hurtado, Eduardo Pompa, Miguel, Gaby, Simón, por su apoyo incondicional en todo momento, por los ratos agradables que tuvimos durante nuestra permanencia en el Colegio de Postgraduados.

A mis amigos de Chapingo, un amor fraternal e infinito: Guadalupe Toledo, Mauro Antonio, Javier Sáenz, Rosa Sánchez, Carolina Juárez, Iván Fernández, Vianey Chipahua, Anselmo López, Santiago Gómez, Dania Ibáñez, Jazmín Hilerio, Mariela Gálvez y Uriel Cholula.

## AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, por la beca otorgada a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Colegio de Postgraduados, para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

El Dr. Mario Luna Cavazos, por haber dirigido esta tesis, por su apoyo en el análisis de datos, observaciones y recomendaciones durante mi periodo de la maestría.

La Dra. Heike Vibrans por compartir sus ideas, correcciones para la mejora de este trabajo de investigación.

La Dra. María Flores, por su apoyo y sus comentarios durante el desarrollo de mi proyecto de investigación y también por sus acertados comentarios, además de la identificación de especies vegetales.

El Dr. Edmundo García Moya, por sus observaciones y sugerencias para este manuscrito.

Las autoridades del Área Natural Protegida “Monumento Natural Yagul”.

Los amigos y conocidos: Mauro Antonio López, Carolina Juárez Ramírez, Anselmo López Pérez, por su apoyo y compromiso que siempre demostraron con mi trabajo de campo. Agregando otros miembros para llevar a cabo las actividades en las salidas de campo: Jordy Caballero Luis (sobrino), María Martínez (mamá), Santiago Gómez y los guardaparques de Yagul.

Agradezco en especial a mi papá Filogonio Luis Pérez, ya que desde el momento que se enteró sobre mi tema de investigación, se interesó, aparte de que se involucró durante todo el proceso de mis muestreos en campo, siendo un gran informante a la vez al conocer muy bien el sitio de estudio. Le agradezco su apoyo, con una gran actitud a pesar de sus malestares físicos. Gracias papá por tu apoyo incondicional, por ser parte de esta meta, pero sobre todo, gracias por tu amor. Este logro lo comparto contigo.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1. General.....	3
1.1.2. Particulares.....	3
1.1.3. Hipótesis.....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Plantas suculentas.....	4
2.2. Importancia de las suculentas.....	4
2.2.1. Cactaceae.....	4
2.2.2. Asparagaceae.....	5
2.2.3. Bromeliaceae.....	5
2.3. Estructura florística.....	5
2.3.1. Importancia económica.....	6
2.4. Entorno ecológico.....	6
2.4.1. Orientación de las laderas.....	6
2.4.2. Efecto de la orientación de ladera.....	7
2.4.3. Influencia de factores edáficos.....	7
2.5. Manejo histórico de la tierra en Yagul.....	8
2.6. Biodiversidad.....	8
<b>3. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	10
3.1. Ubicación geográfica.....	10
3.2. Clima.....	11
3.3. Geología y suelos.....	11
3.4. Vegetación.....	11
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
4.1. Unidad de muestreo.....	12

4.1.1. Tamaño de la unidad de muestreo .....	12
4.1.2. Descripción de los sitios de muestreo.....	13
4.1.3. Muestreo de vegetación .....	14
4.1.4. Identificación de especies .....	15
4.1.5. Estimación de variables ecológicas .....	15
4.2. Influencia de factores edáficos en las comunidades de suculentas .....	17
4.2.1. Análisis del suelo de las laderas estudiadas.....	17
4.2.2. Preparación del suelo.....	17
4.3. Análisis estadístico.....	17
4.3.1. Análisis de semejanza florística .....	17
4.3.2. Procedimiento de permutación de respuesta múltiple .....	18
4.4. Ordenación de las comunidades vegetales .....	18
4.4.1. Datos .....	18
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
5.1. Riqueza florística.....	19
5.2. Caracterización ecológica de las laderas.....	19
5.2.1. Ladera con orientación norte .....	19
5.2.2. Ladera con orientación sur .....	21
5.2.3. Ladera con orientación este .....	23
5.2.4. Ladera con orientación oeste .....	25
5.3. Semejanza florística entre laderas .....	27
5.3.1. Análisis de agrupamiento .....	27
5.3.2. Prueba de Permutación de Respuesta Múltiple .....	29
5.4. Análisis de ordenación .....	29
5.4.1. Análisis de correspondencia rectificado .....	29
5.4.2. Análisis Canónico de Correspondencia (ACC).....	32
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>35</b>
6.1. Riqueza florística.....	35
6.2. Caracterización ecológica de las laderas.....	38
6.3. Manejo histórico de la tierra en Yagul .....	38
6.4. Semejanza florística entre laderas .....	39
6.5. Análisis de ordenación .....	40



<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	42
<b>8. RECOMENDACIONES</b> .....	43
<b>9. LITERATURA CITADA</b> .....	44
<b>ANEXOS</b> .....	54

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación norte del sitio “Caballito Blanco” .....	20
Cuadro 2. Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación sur del sitio “Monumento Central Yagul”. .....	22
Cuadro 3. Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación este del sitio “Yazip-Duvil” .....	24
Cuadro 4. Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación oeste del sitio “Los Compadres” .....	26
Cuadro 5. Comparación entre laderas de Yagul. ....	29
Cuadro 6. Resultados del análisis de correspondencia canónica entre variables edáficas y datos de comunidades vegetales de 24 UM en laderas de Yagul, Tlacolula, Oaxaca.....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio, Monumento Natural Yagul, Tlacolula, Oaxaca. ....	10
Figura 2. Mapa de las Unidades de Muestreo 1) Caballito Blanco 2) Los Compadres 3) Monumento Central Yagul y 4) Yazip-Duvil. Google maps. Recuperado el 3 de noviembre, 2018. ....	11
Figura 3. Esquema representativo de una Unidad de Muestreo (UM), constituida por tres transectos de 30 x 2 m; a) Parte baja de ladera; b) Parte media de ladera y c) Parte alta de ladera. Sitio “Caballito Blanco”.....	13
Figura 4. Sitios muestreados; a) Yazip-Duvil y b) Los Compadres. ....	15
Figura 5. <i>Opuntia pubescens</i> (“Tibishio”) en floración.....	21
Figura 6. <i>Ferocactus latispinus</i> (biznaga) sobre formación rocosa en el sitio “Monumento Central Yagul”. ....	23
Figura 7. <i>Yucca periculosa</i> (izote) en época de sequía. ....	25
Figura 8. <i>Stenocereus pruinosus</i> (pitayo) en su hábitat y detalle de sus frutos. ....	27
Figura 9. Agrupamiento de 24 unidades de muestreo y 21 especies de Yagul, Tlacolula, Oaxaca, con base en el índice de semejanza de Jaccard. Agaang= <i>Agave angustifolia</i> , Agacon = <i>A. convallis</i> , Agakar = <i>A. karwinskii</i> , Agamar = <i>A. marmorata</i> , Agapot = <i>A. potatorum</i> , Yucper = <i>Yucca periculosa</i> , Hecpri = <i>Hechtia pringlei</i> , Hechsp = <i>Hechtia</i> sp., Tildas = <i>Tillandsia dasyliiriifolia</i> , Tilfas = <i>T. fasciculata</i> , Corret = <i>Coryphantha retusa</i> , Ferlat = <i>Ferocactus latispinus</i> , Mamkar = <i>Mammillaria karwinskiana</i> , Myrsch = <i>Myrtillocactus schenckii</i> , Neobsp = <i>Neobuxbaumia</i> sp., Opupil = <i>Opuntia pilifera</i> , Opupub = <i>O. pubescens</i> , Opuvel = <i>O. velutina</i> , Stepriu = <i>Stenocereus pruinosus</i> , Steste = <i>S. stellatus</i> , Stetre = <i>S. treleasei</i> .....	28
Figura 10. Ladera sur, parte baja “Caballito Blanco”. Asociación de <i>Opuntia pilifera</i> (nopal) y <i>Stenocereus treleasei</i> (tunillo). ....	30
Figura 11. Análisis de Correspondencia de 24 unidades de muestreo y 21 especies de Yagul, Tlacolula, Oaxaca. Agaang= <i>Agave angustifolia</i> , Agacon = <i>A. convallis</i> , Agakar = <i>A. karwinskii</i> , Agamar = <i>A. marmorata</i> , Agapot = <i>A. potatorum</i> , Yucper = <i>Yucca periculosa</i> , Hecpri = <i>Hechtia pringlei</i> , Hechsp = <i>Hechtia</i> sp., Tildas = <i>Tillandsia dasyliiriifolia</i> , Tilfas = <i>T. fasciculata</i> , Corret = <i>Coryphantha retusa</i> , Ferlat = <i>Ferocactus latispinus</i> , Mamkar = <i>Mammillaria karwinskiana</i> , Myrsch = <i>Myrtillocactus schenckii</i> , Neobsp = <i>Neobuxbaumia</i> sp., Opupil = <i>Opuntia pilifera</i> , Opupub = <i>O. pubescens</i> , Opuvel = <i>O. velutina</i> , Stepriu = <i>Stenocereus pruinosus</i> , Steste = <i>S. stellatus</i> , Stetre = <i>S. treleasei</i> .....	31
Figura 12. Diagrama de ordenación obtenido con el método de análisis canónico de correspondencias de Yagul, Tlacolula, Oaxaca. Agaang= <i>Agave angustifolia</i> , Agacon = <i>A. convallis</i> , Agakar = <i>A. karwinskii</i> , Agamar = <i>A. marmorata</i> , Agapot = <i>A. potatorum</i> , Yucper = <i>Yucca periculosa</i> , Hecpri = <i>Hechtia pringlei</i> , Hechsp = <i>Hechtia</i> sp., Tildas = <i>Tillandsia dasyliiriifolia</i> , Tilfas = <i>T. fasciculata</i> , Corret = <i>Coryphantha</i>	

*retusa*, Ferlat = *Ferocactus latispinus*, Mamkar = *Mammillaria karwinskiana*, Myrsch = *Myrtillocactus schenckii*, Neobsp = *Neobuxbaumia* sp., Opupil = *Opuntia pilifera*, Opupub = *O. pubescens*, Opuvel = *O. velutina*, Stepru = *Stenocereus pruinosus*, Steste = *S. stellatus*, Stetre = *S. treleasei*..... 33

## 1. INTRODUCCIÓN

Las zonas secas en México presentan ecosistemas únicos por las condiciones extremas que prevalecen. Estas características han propiciado la persistencia de numerosas especies endémicas, y el conocimiento de la relación entre ellas y su entorno de alta importancia para su conservación (Rzedowski, 1978; Gonzáles-Medrano y Chiang, 1988). Las condiciones ambientales de baja humedad y sequía propiciadas por la forma de la Sierra Juárez de Oaxaca y de la Sierra Madre del Sur (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000) han determinado, en gran parte los rasgos caducifolios de la vegetación en los Valles Centrales del estado de Oaxaca.

El Monumento Natural Yagul se ubica en la región noreste de los Valles Centrales, al pie de las montañas, y en la sombra orográfica de la Sierra de Juárez. Los elementos dominantes de la vegetación son especies de las familias Cactaceae, Asparagaceae y Fabaceae (Rzedowski, 1978).

La importancia del área de estudio radica en que se ubica en una región de importancia cultural, así como, de evidencias arqueológicas, entre las que resaltan cuevas y representaciones de pintura rupestre. El sitio contiene laderas rocosas con ecosistemas secos, que hace más de 8 mil años proveían de alimento a los antiguos habitantes. En la actualidad el deterioro y la destrucción de los territorios cercanos a Yagul han convertido esta Área Natural Protegida (ANP) en una de las pocas zonas del Valle de Oaxaca que mantienen ecosistemas secos (la otra zona se ubica en Tlaxiactac de Cabrera). Es un refugio de la fauna local y un banco de germoplasma de la región (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1999).

Se han llevado a cabo diversos estudios de flora y vegetación en zonas secas de Oaxaca, sin embargo son escasos para el Valle de Tlaxiactac; más aún los específicos para el Monumento Natural Yagul. Debido a su localización en los límites de la Provincia Florística de las Serranías Meridionales, Valle de Tehuacán y Costa Pacífica, el Monumento Natural Yagul presenta características peculiares que lo sitúan como una zona importante para la conservación (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2008).

La zona de Yagul alberga especies útiles y comestibles, asociadas a los antiguos pobladores de la región de los Valles Centrales de Oaxaca. De los magueyes (*Agave* spp.) se aprovecha el centro de la planta; del mezquite (*Prosopis laevigata*) la miel de sus vainas y del nopal (*Opuntia* spp.) los cladodios y frutos. Aunque estas especies son de uso común en el Valle de Oaxaca, es en la zona de Yagul y Mitla (zona cercana al Monumento Natural) donde se encuentran las evidencias de su aprovechamiento desde tiempos prehistóricos (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2008).

El presente trabajo tiene como propósito contribuir al conocimiento de los factores que influyen en la composición y el estado de la flora de suculentas, en especial el factor exposición de ladera. Adicionalmente analiza características edáficas, que influyen en la estructura poblacional de esas especies. Tiene el fin de generar información que permita fundamentar la conservación de ésta

área natural, y de avanzar en el conocimiento sobre el efecto de laderas en regiones tropicales. Así, los objetivos de este estudio son:

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General**

Analizar el efecto de la orientación de la ladera, en la composición y estructura de las poblaciones de especies suculentas en Yagul, Oaxaca.

### **1.1.2. Particulares**

- Cuantificar la riqueza de suculentas en la región.
- Analizar el efecto de la orientación de la ladera en la estructura de las poblaciones de suculentas.
- Elaborar un catálogo florístico de las especies de suculentas para la zona de Yagul.

### **1.1.3. Hipótesis**

- En las laderas con orientación sur existe mayor riqueza y diversidad de suculentas.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Plantas suculentas

Las plantas que viven en regiones con restricciones de humedad presentan una serie de características que les permiten sobrevivir y reproducirse. Estas condiciones son modificaciones que han adquirido a través del tiempo y que de alguna forma le resultan favorables a las plantas que las poseen, porque les permiten hacer frente a la falta de agua de mejor manera (Toledo *et al.*, 2001).

Las suculentas tienen ciertas cualidades que las diferencian de las otras especies vegetales, tales como el almacenamiento de agua (convertidos en jugos mucilaginosos) en diferentes partes de los tallos, las hojas y las raíces (Reyes, 2009). Otro aspecto fundamental es su metabolismo fotosintético CAM (Metabolismo Ácido de Crasuláceas), en el que los estomas, se cierran en el día y abren en la noche. Estas características benefician a este tipo de plantas para su sobrevivencia y reproducción (González, 2012; Toledo *et al.*, 2001).

### 2.2. Importancia de las suculentas

Las plantas suculentas están distribuidas ampliamente en las zonas secas y muy secas de México y tienen una gran importancia social, económica y ecológica (Sánchez *et al.*, 2010; Codron *et al.*, 2011). Se encuentran bien representadas en Oaxaca, tanto por la riqueza de especies como por el número de endemismos (Mendoza y Meave, 2011). La familia Cactaceae es de las más importantes para el estado (Caballero *et al.*, 2004).

#### 2.2.1. Cactaceae

La familia Cactaceae es de origen americano y además endémico del mismo continente. La mayor parte de sus especies se presentan en zonas muy secas y secas. México tiene el mayor número de especies de dicha familia (Flores y Macías, 2008). Hay excepciones de suculentas y cactáceas que se encuentran en selvas tropicales en hábitos epífitos como *Rhipsalis baccifera* (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999).

Para México, existen lugares que destacan ya sea por la riqueza o proporción de endemismos de cactáceas. En uno de ellos, la Barranca de Metztitlán, Hidalgo, se han registrado 70 especies; además de que cuenta con poblaciones importantes de cactus columnares y una diversidad de biznagas (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1999). Otros de los sitios



es el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. De acuerdo a los números reportados por distintas investigaciones, es una de las áreas con mayor riqueza biológica (Smith, 1965).

### **2.2.2. Asparagaceae**

Debido a criterios filogenéticos, en la actualidad la familia Agavaceae se considera parte de la familia Asparagaceae, según la nomenclatura de la base de datos del Jardín Botánico de Missouri (<http://www.tropicos.org>) en la clasificación APG, Grupo para la Filogenia de las Angiospermas (Angiosperm Phylogeny Group Classification for the orders and Families of Flowering plants, 2009).

México cuenta con 150 especies nativas del género *Agave*, de un total de 200 a nivel mundial (García-Mendoza, 2002). Por ello se considera a nuestro país como centro de origen del género (Granados, 1999). En el estado de Oaxaca, gracias a la existencia de innumerables microambientes se han desarrollado un aproximado de 30 especies del género *Agave* (Palma, 1991), es la entidad con la mayor riqueza en México.

### **2.2.3. Bromeliaceae**

Las Bromeliaceae restringen su distribución al continente americano, con excepción de *Pitcairnia feliciana* (A. Chev.) Harms & Mildbr., que habita en África (Smith y Downs, 1977). Las especies del género *Hechtia*, particularmente son de hábito terrestre o saxícola. Habitan en matorrales xerófilos, bosques tropicales caducifolios y en peñascos y suelos rocosos de las zonas templadas, donde se establecen los encinares (Espejo-Serna y López-Ferrari, 2011; M. Flores-Cruz coms. pers).

La familia ocupa el undécimo lugar en riqueza específica entre las angiospermas y el tercer sitio entre las monocotiledóneas, después de Orchidaceae y Poaceae (Espejo-Serna, 2012; Villaseñor, 2016). En México, las Bromeliaceae sobrepasan las 363 especies en 18 géneros, 70% son endémicas (Mondragón *et al.*, 2011). En Oaxaca existen 189 especies, 123 son del género *Tillandsia* y 12 para *Hechtia* (Flores y Granados, 2011).

## **2.3. Estructura florística**

Las suculentas son un elemento estructural sobresaliente de la estructura florística en la vegetación de zonas secas. Las especies de las familias Asparagaceae, subfamilia Agavoideae y Cactaceae se restringen en los ambientes muy secos y secos. Por su tamaño, muchas de esas especies sobresalen por su fisonomía y, otras, aunque tienen tallos pequeños, son abundantes. Ambos escenarios

contribuyen a la riqueza florística y paisajística de su área de distribución (Miguel-Talonia *et al.*, 2014).

Las cactáceas, además de habitar en zonas secas, han podido establecerse en otros tipos de vegetación como matorral de dunas (Torres *et al.*, 2010), bosque tropical caducifolio, bosques templados, entre otros (Rzedowski, 2006). Las Agavoideae se presentan también en regiones más templadas o húmedas, pero con un número menor de especies. Las Bromeliaceae son más abundantes en zonas húmedas y templadas, pero han desarrollado algunas ramas con adaptaciones a condiciones de sequía.

### **2.3.1. Importancia económica**

Numerosas especies de las familias Cactaceae y Asparagaceae en su mayoría, las silvestres, se aprovechan como alimento, para combustibles, forraje para el ganado, construcción, entre otros (González-Durán *et al.*, 2001; Reyes- Agüero *et al.*, 2004; Zegbe y Mena-Covarrubias, 2010). Para el caso de la familia Bromeliaceae, algunas especies como la piña (*Ananas sativus* Schult. & Schult. F.), el timbiriche o piñuela (*Bromelia* spp.), la pita (*Aechmea magdalenae* (André) André ex Baker) y el heno (*Tillandsia usneoides* (L.) L.), generan recursos económicos a nivel local y representan una fuente alternativa de ingresos para muchas comunidades rurales, o incluso alguna de ellas son parte fundamental de la economía estatal (Espejo-Serna y López-Ferrari, 2011). Con los usos mencionados anteriormente sobre las suculentas es importante hacer hincapié sobre el uso racional de tales recursos naturales, ya que esto constituye un bienestar para el futuro de las siguientes generaciones.

## **2.4. Entorno ecológico**

### **2.4.1. Orientación de las laderas**

La orientación de la ladera modifica las condiciones microclimáticas de los sitios. A pesar de este conocido patrón son pocas las evidencias de su efecto sobre las poblaciones de plantas en regiones tropicales y son aún menos conocidas para las suculentas (López-Gómez *et al.*, 2012). Reyes-Olivas *et al.* (2002) identificaron un gradiente ecológico asociado con la composición vegetal, el factor de sequía determinado por la exposición de ladera, la profundidad del suelo y la cobertura de rocas. Mazzola *et al.* (2008) mencionan que las características ambientales asociadas a la posición en el relieve y los cambios topográficos leves o moderados afectan de manera significativa la distribución espacial y abundancia de las plantas vasculares.

El caso particular del Valle de Tehuacán, la heterogeneidad ambiental es resultado de la diversidad climática. Asimismo, debido a que el valle se ubica cercano a una zona montañosa, la gran variedad de ambientes dentro del área está influida por diversos factores como la presencia de abanicos aluviales, las laderas con diferente orientación e inclinación (Valiente-Banuet *et al.*, 2000).

### **2.4.2. Efecto de la orientación de ladera**

En distintas investigaciones se ha encontrado que la orientación de las laderas influye en la composición y estructura de las comunidades vegetales.

En un estudio en un matorral xerófilo del Valle de Zapotitlán (Puebla), los arbustos dominaron las laderas norte (Valverde-Padilla, 2002). En las laderas sur fueron más abundantes las rosetófilas y presentaron una mayor riqueza de formas de vida, lo cual es un reflejo del aumento en las alternativas para solucionar el problema de la economía del agua.

En nopaleras de diferentes exposiciones en Cuauhtémoc, Zacatecas, *Opuntia* dominó en todos los sitios, pero las orientadas al norte presentaron también otras especies ausentes en los expuestos al sur (Del Castillo, 2000). Otro caso es el de la especie *Ferocactus histrix* que presentó acentuadas diferencias en su estructura poblacional en sitios cercanos con condiciones contrastantes debido a la orientación de laderas (Del Castillo, 1987).

En otros países, Mazzola *et al.* (2008) demostraron que la exposición de la ladera juega un papel determinante sobre la distribución de las plantas en las sierras de Lihue Calel, Argentina, se reflejó el mayor número de comunidades vegetales en la ladera norte en comparación con la del sur.

La evaluación de la vegetación de una montaña desértica del suroeste de los Estados Unidos y norte de México por efecto de orientación y elevación de los sitios, demostró que la densidad de plantas suculentas fue mayor en la parte baja en exposiciones sur y oeste (Mata-González *et al.*, 2002). También se ha documentado el escaso éxito de algunas especies de cactus y otras suculentas en las laderas norte (Niering *et al.*, 1963; Woodshouse *et al.*, 1980).

Holland y Steyn (1975) argumentaron que en latitudes medias, existen mayores afinidades con la flora de alta latitud, o altitud, en laderas con orientación polar que en aquellas con orientación ecuatorial. Hay evidencias de que existe una estrecha relación del ambiente físico con los efectos de exposición de ladera bajo una perspectiva ecológica y sugiere que ésta afecta la composición y estructura de la vegetación (Castilla *et al.*, 1979).

### **2.4.3. Influencia de factores edáficos**

Las variables edáficas como cobertura de rocas, profundidad del suelo y porcentajes de arena y limo son factores marcados en la zona de Yagul, ya que ejercen la influencia en la distribución y abundancia de las especies, como se ha informado en otras localidades secas o demasiado secas del país (Huerta-Martínez y García-Moya, 2004; Huerta-Martínez *et al.*, 2004). Las características de los suelos tienen un papel importante en el establecimiento y distribución de los cactus, como ha sido demostrado en otros estudios (Godínez-Álvarez *et al.*, 2003).

La topografía interviene en los procesos que limitan la distribución y abundancia de las plantas en varios sentidos. Milchunas y Noy-Meir (2002) demostraron que los refugios geológicos, además de ser una restricción física para herbívoros, modifican otras variables como la profundidad del suelo, la humedad debido al escurrimiento, etc., estas variables son diferentes en un área rocosa que en una sin rocas.

Los sitios donde se hicieron los muestreos en Yagul se destacan por tener alta cobertura rocosa. Estudios como los de Parker (1991), Nobel *et al.* (1992), Peters *et al.* (2008), López *et al.* (2009) y Bárcenas- Argüello *et al.* (2010) hacen una descripción de la relación de las rocas con las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas, ya que entre más grandes sean las rocas, éstas mejoran el efecto protector para las plantas, por reducción de la radiación solar y canalización del agua a las raíces.

## **2.5. Manejo histórico de la tierra en Yagul**

El uso intensivo de la tierra tiene antecedentes desde la época prehistórica puesto que los pobladores antiguos dependían en forma directa de los recursos naturales. En la actualidad la actividad con mayor auge es la agricultura para la producción de granos y forraje. Estas acciones han propiciado cambios drásticos en el uso del suelo. Hoy en día, en los valles que forman parte de Yagul nos muestra el predominio de los cultivos agrícolas sobre la vegetación original, que se estructura por Selva Baja Caducifolia y Caducifolia Espinosa.

Todavía se emplean especies vegetales originales como cercos vivos. Esta condición en cierto modo ha protegido algunas especies en su hábitat. En Yagul, los grados de perturbación para la vegetación difieren entre las diferentes partes del ANP. Las de buen grado de conservación se ubican en zonas de formaciones rocosas. Pero, la vegetación original se encuentra bajo una amenaza por el nivel de presión y uso que le dan las poblaciones que se encuentran cercanos al área.

## **2.6. Biodiversidad**

El término biodiversidad incluye la diversidad en todos los niveles de organización biológica, esto es, la comunidad, las especies, el organismo y el gen. Éstos forman el eslabón entre el pasado evolutivo y la sobrevivencia futura, de lo que resulta una adaptación y evolución continua o la declinación y extinción (Frankel *et al.*, 1995).

Una de las primeras fases del estudio de comunidades es la descripción de la composición de especies (llamada también listados florísticos o riqueza de especies). La composición florística es un listado de nombres científicos de especies vegetales presentes en un área determinada, ya sea

por familias (Araceae, Betulaceae, etc.) o de gremios (arbóreas, arbustivas, etc.); en general incluye algún estimador de la proporción o frecuencia de las especies. Un listado de especies de una comunidad nos da información muy valiosa y es la base de cualquier gestión dirigida a la producción o conservación de un área determinada. Nadie puede manejar algo que no conoce con un enfoque de sostenibilidad (Sánchez-Velásquez y Pineda, 2000). Además, son la base para cálculos de diversidad.

De acuerdo con los niveles y los patrones de diversidad genética, los ecólogos y conservacionistas han categorizado a la biodiversidad en alfa, beta y gama. Halffter y Ezcurra (1992) y Whittaker (1960) describen estos conceptos y los definen de la siguiente manera:

Diversidad alfa. Esta categoría de biodiversidad se refiere a la riqueza de especies de un hábitat determinado, es decir, se trata del número de especies de una comunidad particular.

Diversidad beta. Esta es una medida del grado de partición del ambiente en parches o mosaicos biológicos; esto es, mide la continuidad de hábitats diferentes en el espacio. En otras palabras, es la diversidad que existe entre comunidades.

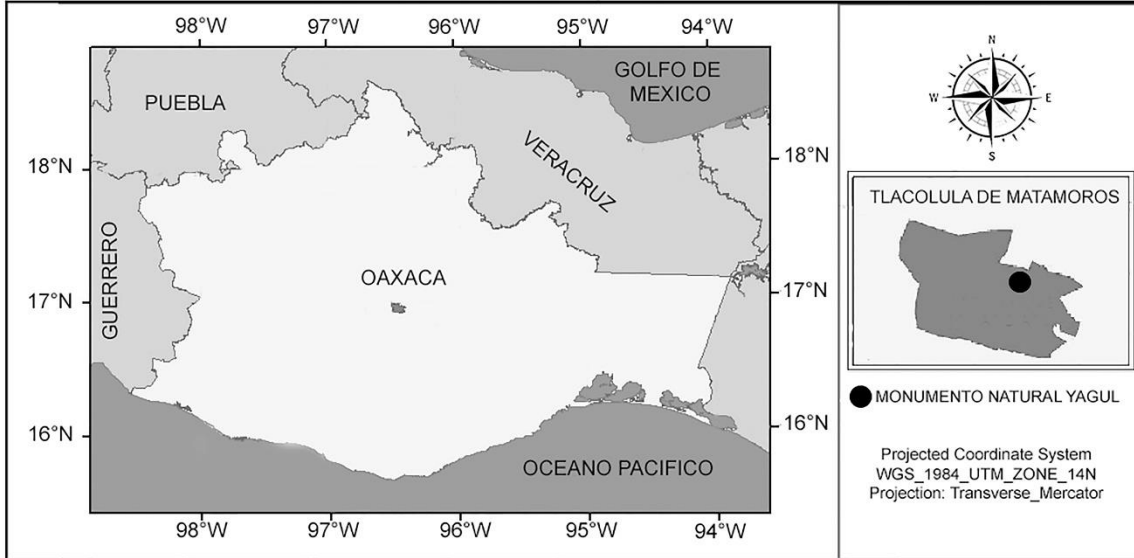
Si las especies de dos zonas diferentes son semejantes, entonces hay homogeneidad ambiental, pero si tienen diferentes especies indica que el ambiente es heterogéneo. Los estimadores más comunes se basan en los índices de similitud o disimilitud como Jaccard, Sorensen (evalúan a través de presencia-ausencia) (Halffter *et al.*, 2001).

Diversidad gama. Se refiere a la diversidad o recambio en la composición de ecosistemas en una región determinada, es decir, es la diversidad total de especies en un conjunto de comunidades.

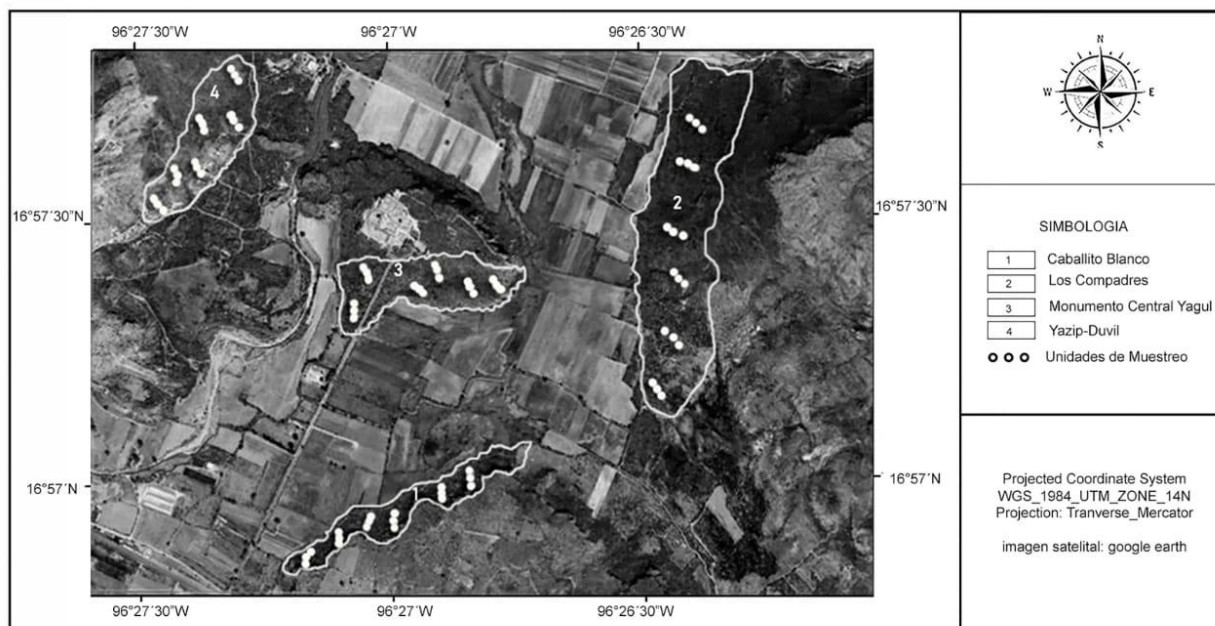
### 3. ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1. Ubicación geográfica

El estudio se llevó a cabo en el Monumento Natural Yagul (MNY), situado en el municipio de Tlacolula de Matamoros, estado de Oaxaca. El área natural protegida colinda al norte con el ejido de Villa de Díaz Ordaz, al este con terrenos ejidales de Unión Zapata, al Oeste con la colonia Tres Piedras, al sur colinda con pequeñas propiedades del municipio de Tlacolula de Matamoros y el ejido Tanivet (Figura 1 y 2). Abarca una superficie de 1076 hectáreas. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son 16°58'26" y 16°55'56" latitud Norte. 96°28'17" y 96°25'51" longitud Oeste, a una altura promedio de 1640 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 1.** Zona de estudio, Monumento Natural Yagul, Tlacolula, Oaxaca.



**Figura 2.** Mapa de las Unidades de Muestreo 1) Caballito Blanco 2) Los Compadres 3) Monumento Central Yagul y 4) Yazip-Duvil. Google maps. Recuperado el 3 de noviembre, 2018.

### 3.2. Clima

El clima de Yagul es Semiseco-Semicálido (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000). La Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO, 1998) lo establece como Semiárido templado cálido (BS1kw). La precipitación es de 559 mm y la temperatura promedio anual es de 15°C (Comisión Nacional del Agua, 2003).

### 3.3. Geología y suelos

En el área de Yagul, existen rocas de origen volcánico del terciario (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000). En cuanto al suelo, es el Feozem Háplico que contiene una alta concentración de materia orgánica. Otro tipo de suelo que se encuentra es el Litosol, principalmente en lomas y formaciones rocosas de Caballito Blanco, Yazip-Duvil y Los Compadres. Por último, el Vertisol pélico, presenta un alto contenido de arcilla, estos se localizan en el Monumento Central Yagul (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 1974).

### 3.4. Vegetación

Los tipos de vegetación en Yagul son: Selva Baja Caducifolia, Selva Baja Caducifolia Espinosa y Popal-Tular (Miranda y Hernández, 2013).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Unidad de muestreo**

Las unidades discretas que se utilizan en el muestreo de un estudio ecológico de plantas varían en forma y tamaño. Las formas más utilizadas son cuadros, rectángulos y círculos. La variación puede ser menor cuando se utilizan rectángulos y círculos; sin embargo, esto depende del patrón espacial de los individuos (distribución de los individuos en el espacio: azar, agregado o regular) y la forma de crecimiento de los mismos (Matteuci y Colma, 1982). Matteuci y Colma recomiendan, por su facilidad, los rectángulos.

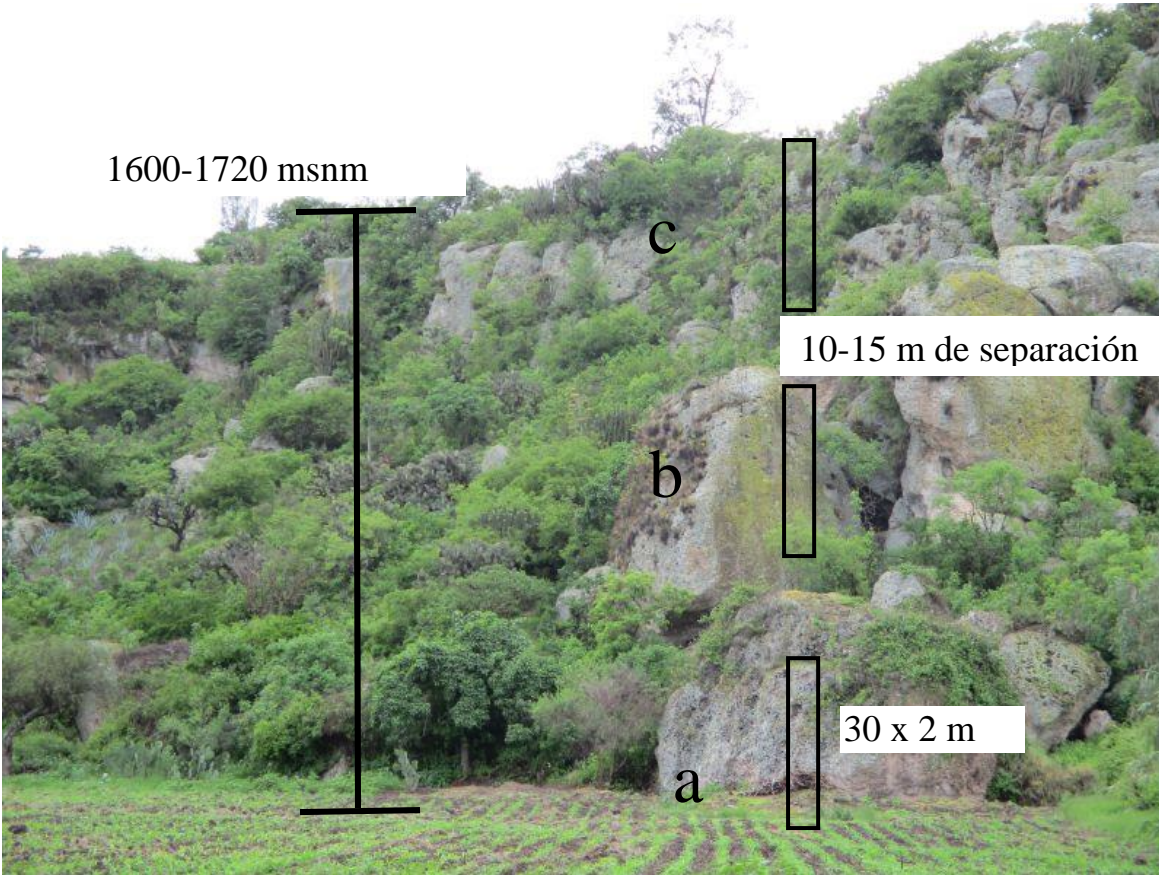
Se seleccionaron cuatro laderas, éstas se ubicaron por muestreo preferencial, con base al reglamento del área que permitía determinados sitios debido a que éste se encuentra en la categoría de Área Natural Protegida en el estatus de Monumento Natural. Las unidades de muestreo (UM) abarcaron, un gradiente altitudinal desde los 1600 hasta los 1720 msnm. Los sitios fueron: Monumento Central Yagul (orientación sur), Caballito Blanco (orientación norte), Los Compadres (orientación oeste) y Yazip-Duvil (orientación este).

#### **4.1.1. Tamaño de la unidad de muestreo**

Los tamaños de las unidades de muestreo en estudios de vegetación son muy variados y dependen de los objetos de estudio. El tamaño y la forma de la unidad de muestreo guardan una relación estrecha. El patrón de distribución espacial y el tamaño de los individuos pueden determinar la forma y el tamaño de la unidad de muestreo (Sánchez-Velásquez y Pineda, 2000).

Se estudió la riqueza, composición y estructura de las poblaciones de suculentas en diferentes laderas. En cada ladera (Anexo d, coordenadas geográficas de una ladera), con orientaciones al norte, sur, este y oeste, se establecieron seis unidades de muestreo (UM), cada una constituida por tres transectos de 30 x 2 m (Figura 3), distribuidos en la parte baja, media y alta de la ladera, para un total de 18 transectos por ladera y 72 para toda el área de estudio. En estos se midió la densidad, cobertura, frecuencia y altura de suculentas. La distancia aproximada entre los diferentes puntos fue de 10 metros.





**Figura 3.** Esquema representativo de una Unidad de Muestreo (UM), constituida por tres transectos de 30 x 2 m; a) Parte baja de ladera; b) Parte media de ladera y c) Parte alta de ladera. Sitio “Caballito Blanco”.

#### 4.1.2. Descripción de los sitios de muestreo

**Monumento Central Yagul.** Existen formaciones rocosas sobre suelos someros, pedregosos, pobres en materia orgánica y con buen drenaje. Presenta dos estratos, el superior lo forman árboles de 4 a 10 metros de altura y el segundo estrato (inferior) lo conforman las suculentas que predominan dicho sitio. Las rocas de este sitio son de color café claro mezclado con un tono rosado y verde. Los minerales que lo componen en su mayoría, son el cuarzo y las plagioclasas. A estas rocas se les conoce como piedra cantera.

**Los Compadres.** En esta zona se encuentran suelos profundos y arenosos donde el sustrato rocoso es de tipo sedimentario. En algunas partes esta intercalado con sembradíos, lo que ha permitido la subsistencia de manchones de selva baja espinosa que son usados como setos o cercos vivos. Se compone por dos estratos. El primer estrato lo forman árboles espinosos que no pasan de los 6 metros de altura y dominan especies leguminosas espinosas tales como: *Acacia farnesiana*, *Prosopis laevigata* (mezquite), así como de la familia Burseraceae, especies como: *Bursera*

*glabrifolia*, *Bursera bipinnata* (copales) entre otras. El segundo estrato es arbustivo, con una altura de 2 a 4 metros de altura (Figura 4b). Las rocas de la zona, se estructuran de cuarzo, plagioclasas y micas.

**Caballito Blanco.** En las partes bajas de la ladera, se localiza una comunidad de plantas acuáticas de 80 centímetros hasta 2.5 metros de altura. Este tipo de vegetación está dominado por la especie *Typha* sp. (tule) y algunas especies del género *Cyperus* (tulillo), aunque también hay manchones de *Arundo donax* (carrizo). En esta zona de Yagul, están presentes rocas de origen volcánico del terciario.

**Yazip-Duvil.** Esta área se ubica en suelos someros, es decir, se encuentran en formaciones rocosas después de los 25 centímetros de profundidad (Figura 4a). El uso de estos suelos es pecuario. Presenta vegetación de selva baja caducifolia.

#### 4.1.3. Muestreo de vegetación

El trabajo de campo se hizo en un período de agosto de 2017 a mayo de 2018 con salidas de cuatro días al mes. Se recolectaron muestras de material botánico, el cual fue procesado mediante las técnicas convencionales (Lot y Chiang, 1986). Para cada especie se registraron datos morfológicos y ecológicos en campo. También se llevó al cabo un registro fotográfico de las suculentas; las fotografías fueron usadas como apoyo para la observación de los caracteres morfológicos que no fue posible conservar en los especímenes herborizados.

En cada superficie de muestreo se registraron los ejemplares de suculentas. La frecuencia consistió en el número de veces en que apareció una especie por unidad de muestreo. La densidad se registró con un recuento de individuos dentro de la unidad muestreada. Se midió la parte ancha y angosta de cada planta y, mediante una fórmula del área del círculo, se obtuvo la cobertura de cada especie. Con los datos relativos de estos atributos se estimó el Índice de Valor de Importancia (IVI).

Para la toma de datos en campo se utilizó: bitácora de campo (Anexo c), prensa botánica, cinta métrica, flexómetro, GPS, etc. La información obtenida en campo se organizó en una base de datos en el programa Microsoft Office (2007).



**Figura 4.** Sitios muestreados; a) Yazip-Duvil y b) Los Compadres.

#### 4.1.4. Identificación de especies

Se identificaron las especies con el apoyo de bibliografía especializada (claves y descripciones de floras regionales así como de revisiones y monografías de grupos taxonómicos). También se contó con el apoyo de expertos de cada una de las familias botánicas incluidas en este estudio. El material biológico colectado fue depositado en el Herbario-Hortorio (CHAPA) del Colegio de Postgraduados. La nomenclatura taxonómica se cotejó en el sitio Tropicos del Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>) y la asignación de las familias fue con base en la clasificación APG, Grupo para la Filogenia de las Angiospermas (*Angiosperm Phylogeny Group*) (IV, 2016).

#### 4.1.5. Estimación de variables ecológicas

Se estimaron las variables cuantitativas de las suculentas del sitio con las siguientes fórmulas (Sánchez-Velásquez y Pineda, 2000):

*Densidad absoluta.* Refleja el número de individuos por unidad de superficie (por lo regular el número de individuos promedio por hectárea). La densidad de una especie *i*,  $D_i$ , se estimó de la siguiente manera:

$$D_i = \frac{(N_m)(10,000)}{S_m}$$

Donde  $N_m$  es el número total de individuos registrados de la especie *i* y  $S_m$  la suma total de las superficies de las unidades de muestreo.

Densidad relativa de una especie  $i$ ,  $D_{ri}$  se obtiene con:

$$D_{ri} = \frac{D_i}{D_t} \times 100$$

Donde  $D_t$  es la densidad total de todas las especies.

Cobertura. Para cada individuo se registraron dos radios (máximo y mínimo) en el que se obtuvo un radio promedio. A partir de este se estimó la superficie de la copa proyectada al suelo de cada planta. Se asumió que la copa era más o menos circular y se aplicó trigonometría básica para inferir la superficie de un círculo, esto es:

$$A_i = \pi r^2_i$$

Donde  $A_i$  es el área del individuo  $i$ ,  $\pi$  es la constante 3.1416... y  $r$  es el radio promedio de la copa del individuo  $i$ . Con esto se pudo estimar la cobertura para cada una de las especies.

Cobertura absoluta.

$$Ca = \frac{\text{Cobertura de una especie}}{\text{Número de muestreos por ladera}}$$

Cobertura relativa.

$$Dom. R = \frac{\text{Cobertura de una especie}}{\text{Cobertura total de las especies}} \times 100$$

Frecuencia absoluta

$$Fa = \frac{\text{Núm. de registros de una especie}}{\text{Núm. total de sitios muestreados}}$$

Frecuencia relativa

$$Fr = \frac{\text{Frecuencia de una especie}}{\text{Frecuencia total de las especies}} \times 100$$

Valor de importancia

$$V.I. = (Dr + Dom.R + Fr)$$

## **4.2. Influencia de factores edáficos en las comunidades de suculentas**

### **4.2.1. Análisis del suelo de las laderas estudiadas**

El análisis del suelo se hizo para analizar la influencia de variables físico-químicas en los patrones de distribución de las suculentas en el área de estudio. En este caso, se extrajeron 24 muestras, cada una conformada por tres submuestras compuestas obtenidas de los tres transectos que constituyeron la UM, distribuidos en la parte baja, media y alta de las laderas. Cabe aclarar que las profundidades no fueron uniformes debido a que en la parte baja eran suelos profundos y en la parte alta era suelo somero y pedregoso.

### **4.2.2. Preparación del suelo**

Las muestras se secaron a temperatura ambiente y se tamizaron (malla de 2 mm). Las variables edáficas consideradas y el método para su medición fueron: textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos; pH, con un potenciómetro en relación suelo-agua; materia orgánica, por el método de Walkley y Black (1934); Fósforo se obtuvo con el método Olsen; conductividad eléctrica (CE) se midió en una suspensión de agua del suelo (Norma Oficial Mexicana, NOM, 2000), nitrógeno total con el método Kjeldahl; para ello, una muestra de suelo se digirió con ácido sulfúrico-salicílico, seguido de un análisis colorimétrico (Bremner y Mulvaney, 1982); potasio (K) y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se extrajeron con agua destilada y su concentración se determinó por titulación ácida. Todas las determinaciones se hicieron en el laboratorio del área de Fertilidad del Posgrado de Edafología del Colegio de Postgraduados.

## **4.3. Análisis estadístico**

### **4.3.1. Análisis de semejanza florística**

El análisis de agrupamiento es un procedimiento para identificar, de manera objetiva, grupos de unidades de muestreo o especies que son semejantes en composición o comportamiento, con base en una perspectiva de distancia absoluta; se usa para identificar grupos o explorar la relación dentro de grupos. Con base en lo anterior, se procedió a efectuar un análisis de agrupamiento de dos vías (Peck, 2010) el cual permite de forma simultánea asignar unidades de muestreo y especies en grupos al construir dos análisis de agrupamiento separados: uno sobre la matriz normal, búsqueda de grupos dentro de hileras (en este caso unidades de muestreo) y uno sobre la matriz transpuesta (especies). Los datos para este análisis se basaron en el registro de 21 especies de suculentas en laderas orientadas en cuatro diferentes puntos cardinales.

La base de datos se elaboró con el registro de presencia (1) o ausencia (0) de las especies en las diferentes laderas. En estas, cada unidad de muestreo (UM) consistió de tres transectos de 30 x 2 m), por lo que cada ladera estuvo constituida por seis UM para un total de 24. Así, la matriz de datos se formó de 24 hileras (UM) y 21 columnas (especies).

El análisis de las afinidades florísticas entre laderas inició con la estimación del índice de semejanza mediante el coeficiente de Jaccard. Con base en los valores de semejanza entre UM, se formaron los grupos con el método Flexible Beta, los cuales se representaron después en un dendrograma. Este análisis se llevó al acabo con el programa PC-ORD versión 6 (McCune y Mefford, 2011).

#### **4.3.2. Procedimiento de permutación de respuesta múltiple**

Se aplicó el procedimiento de permutación de respuesta múltiple para probar diferencias estadísticas en la composición florística entre laderas. Este análisis se llevó a cabo para probar diferencias entre los grupos formados por el análisis de agrupamiento de dos vías (McCune y Grace, 2002), bajo la hipótesis nula de que no existen diferencias entre laderas con respecto a la composición florística. Detalles del procedimiento de permutación de respuesta múltiple (MRPP, por sus siglas en inglés) se encuentran en Mielke (1991), Mielke y Berry (1976), y Zimmerman *et al.* (1985). Se usó el índice de Jaccard para calcular distancias entre grupos. El estadístico T resultante describe la separación entre los grupos; si T es más negativo entonces las diferencias entre los grupos serán mayores (Lesica *et al.*, 1991, McCune y Grace, 2002). El cálculo se hizo con el programa PC-ORD versión 6.0 (McCune y Mefford, 2011).

### **4.4. Ordenación de las comunidades vegetales**

#### **4.4.1. Datos**

La evaluación de la influencia de factores edáficos en la composición florística de las laderas, se llevó a cabo mediante análisis de ordenación. En tal caso se elaboraron dos matrices de datos. Una matriz consistió de las 24 UM y los valores de densidad de las 21 especies registradas; una segunda matriz incluyó a las mismas unidades de muestreo y las variables edáficas analizadas. Con la primera matriz se llevó al cabo un análisis de correspondencia rectificado (AC) con el propósito de reconocer los patrones de asociación entre las UM y especies.

Después, ambas matrices fueron relacionadas mediante un Análisis Canónico de Correspondencia (ACC), de acuerdo con el procedimiento de Ter Braak (1986). El propósito fue examinar la relación entre las UM y las variables edáficas, y analizar la influencia de esas variables en la composición florística de las laderas del área de estudio. Este análisis se hizo con el programa PC-ORD versión 6 (McCune y Mefford, 2011).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Riqueza florística

Se registraron tres familias de suculentas en el área de estudio, con 11 géneros, 21 especies y 1646 individuos. La familia con mayor número de especies (11) fue Cactaceae con 1033 individuos, le siguen las familias Asparagaceae con 6 especies y Bromeliaceae con 4 especies. Destacan su presencia fuera de los puntos de muestreo, especies como: *Tillandsia achyrostachys*, *T. ionantha*, *Stenocereus marginatus*. Las especies con mayores índices relativos de valor de importancia fueron *Opuntia pubescens* y *Hechtia pringlei* en la ladera norte, *O. pubescens* y *O. pilifera* en la sur, *Myrtillocactus schenckii* y *O. pubescens* en el este, *O. pubescens* y *M. schenckii* en la oeste. Los géneros con mayor número de especies fueron *Agave*, *Stenocereus* y *Opuntia* con 5, 3 y 3, respectivamente; el resto de los géneros presentaron una o dos especies.

### 5.2. Caracterización ecológica de las laderas

#### 5.2.1. Ladera con orientación norte

En ésta se registraron 13 especies de suculentas, de las cuales, *Opuntia pubescens* y *Myrtillocactus schenckii*, constituyen el 57% de la cobertura. Las que presentaron mayores índices relativos de valor de importancia (IVI) fueron *Opuntia pubescens* (Figura 5) y *Hechtia pringlei* con 86.79 y 53.60 (Cuadro 1). En esta ladera, hubo mayor ausencia de especies que se encontraron en las otras laderas. También se observó la presencia de dos epífitas: *Tillandsia fasciculata* y *Tillandsia dasyliriifolia* que tienen la preferencia de crecer sobre los garambullos (*Myrtillocactus schenckii*) y también en formaciones rocosas.

El *Agave convallis* tenía un IVI de 37.66, más alto que en las demás laderas, los valores fueron menos de 4. Incluso hubo puntos de muestreos donde se llegaron a ver grandes poblaciones sobretodo en partes medias de la ladera. Esto, hace suponer que se encuentra en buenas condiciones ecológicas. Se encontró un individuo de *Agave angustifolia* en la parte baja de la ladera, posiblemente fue un hijuelo de un campo abandonado de agaves. Las suculentas globosas en particular presentaron valores de importancia muy bajos. Sólo se registró *Mammillaria karwinskiana* con un valor de importancia de 7.06.

**Cuadro 1.** Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación norte del sitio “Caballito Blanco”.

<b>Especie</b>	<b>Densidad absoluta</b> # ind./ # muestr.	<b>Frecuencia absoluta</b> # ocurrencia/ # muestr	<b>Cobertura absoluta</b>	<b>Densidad relativa</b> %	<b>Frecuencia relativa</b> %	<b>Cobertura relativa</b> %	<b>IVI</b>
<i>Opuntia pubescens</i>	38.00	0.88	3252161.14	33.48	17.58	35.72	86.79
<i>Hechtia pringlei</i>	26.25	0.72	1473905.37	23.12	14.28	16.19	53.60
<i>Myrtillocactus schenckii</i>	4.75	0.72	2008713.95	4.18	14.28	22.06	40.53
<i>Agave convallis</i>	13.00	0.44	1586021.09	11.45	8.79	17.42	37.66
<i>Tillandsia dasyliriifolia</i>	9.25	0.50	113242.50	8.14	9.89	1.24	19.28
<i>Tillandsia fasciculata</i>	7.75	0.38	59525.64	6.82	7.69	0.65	15.17
<i>Opuntia velutina</i>	3.00	0.38	252166.45	2.64	7.69	2.77	13.10
<i>Opuntia pilifera</i>	2.75	0.33	313625.97	2.42	6.59	3.44	12.46
<i>Hechtia</i> sp.	4.25	0.16	30276.69	3.74	3.29	0.33	7.37
<i>Mammillaria karwinskiana</i>	3.00	0.22	2131.09	2.64	4.39	0.02	7.06
<i>Stenocereus pruinosus</i>	0.75	0.16	393.79	0.66	3.29	0.004	3.96
<i>Agave karwinskii</i>	0.50	0.05	607.55	0.44	1.09	0.006	1.54
<i>Agave angustifolia</i>	0.25	0.05	9313.27	0.22	1.09	0.10	1.42





**Figura 5.** *Opuntia pubescens* (“Tibishio”) en floración.

### **5.2.2. Ladera con orientación sur**

Se documentaron 15 especies. Los valores de importancia más altos, pertenecieron a las especies *Opuntia pubescens* con 94.56 seguida de *Opuntia pilifera* 62.06, éstas constituyen el 64% de la cobertura (Cuadro 2). La última especie tuvo un IVI bajo en la ladera con orientación norte. Así mismo se notó la presencia de *Agave karwinskii* con IVI de 34.50, en la parte baja, en los límites de la selva con los terrenos de sembradíos, donde formó parte de cercos vivos. Su IVI relativamente alto contrastaba con la ladera norte donde obtuvo uno de los valores más bajos. Una forma biológica que se presentó con frecuencia en esta ladera eran las cactáceas columnares y candelabrifórmes que daban una fisonomía característica a las comunidades y que eran más conspicuas durante la temporada seca. Se registró un solo ejemplar joven de *Ferocactus latispinus* (Figura 6), en una pequeña roca lo que fue un medio para su sobrevivencia ya que su población tiene preferencia sobre formaciones rocosas que fueron vistas en otras laderas.

*Opuntia pilifera* era dominante en general; también había algunos manchones dominados por los taxa *Opuntia velutina* y *Myrtillocactus schenckii*.

**Cuadro 2.** Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación sur del sitio “Monumento Central Yagul”.

<b>Especie</b>	<b>Densidad absoluta</b> # ind./ # muestr.	<b>Frecuencia absoluta</b> # ocurrencia/ # muestr.	<b>Cobertura absoluta</b>	<b>Densidad relativa</b> %	<b>Frecuencia relativa</b> %	<b>Cobertura relativa</b> %	<b>IVI</b>
<i>Opuntia pubescens</i>	36.75	0.94	1701973.59	44.95	19.76	29.84	94.56
<i>Opuntia pilifera</i>	8.75	0.77	2000728.49	10.7	16.27	35.08	62.06
<i>Agave karwinskii</i>	13.50	0.33	628077.22	16.51	6.97	11.01	34.50
<i>Opuntia velutina</i>	6.00	0.66	475311.00	7.33	13.95	8.33	29.62
<i>Myrtillocactus schenckii</i>	1.75	0.33	801086.66	2.14	6.97	14.04	23.16
<i>Mammillaria karwinskiana</i>	7.00	0.61	15188.76	8.56	12.79	0.26	21.61
<i>Tillandsia dasyliriifolia</i>	3.25	0.22	43284.96	3.97	4.65	0.75	9.38
<i>Stenocereus stellatus</i>	1.00	0.16	23507.72	1.22	3.48	0.41	5.12
<i>Tillandsia fasciculata</i>	1.00	0.16	867.47	1.22	3.48	0.01	4.72
<i>Coryphantha retusa</i>	1.00	0.16	238.93	1.22	3.48	0.004	4.71
<i>Agave convallis</i>	0.75	0.16	353.43	0.91	3.48	0.006	4.41
<i>Stenocereus treleasei</i>	0.25	0.05	9434.61	0.30	1.16	0.16	1.63
<i>Agave potatorum</i>	0.25	0.05	1745.33	0.30	1.16	0.03	1.49
<i>Hechtia pringlei</i>	0.25	0.05	807.04	0.30	1.16	0.01	1.48
<i>Ferocactus latispinus</i>	0.25	0.05	29.49	0.30	1.16	0.0005	1.46



**Figura 6.** *Ferocactus latispinus* (biznaga) sobre formación rocosa en el sitio “Monumento Central Yagul”.

### 5.2.3. Ladera con orientación este

Se encontraron 18 especies de suculentas y las dominantes por su valor de importancia fueron *Myrtillocactus schenckii* (89.41) y *Opuntia pubescens* con 85.20 y cubren el 92% de la superficie (Cuadro 3). En esta ladera fue donde se registraron más especies respecto a las otras tres laderas. Del grupo de las biznagas *Ferocactus latispinus* y *Coryphantha retusa* presentaron los IVI más elevados (10.57 y 9.46) en comparación a las otras áreas muestreadas. Se encontró un cacto columnar, *Neobuxbaumia* sp. en condición no muy abundante o al menos habría más existencia de estos pero en zonas restringidas que no se nos permitieron muestrear. Otra especie que se notó localmente fue *Yucca periculosa*, la cual no era muy abundante, sin embargo, se notó que su presencia era en lugares perturbados a consecuencia de las actividades humanas (Figura 7).

Se encontraron poblaciones numerosas de *Coryphantha retusa* en esta ladera en áreas muy específicas, intercaladas en las selvas bajas espinosas formadas por el género *Prosopis*.

**Cuadro 3.** Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación este del sitio “Yazip-Duvil”.

<b>Especie</b>	<b>Densidad absoluta</b> # ind./ # muestr.	<b>Frecuencia absoluta</b> # ocurrencia/ # muestr.	<b>Cobertura absoluta</b>	<b>Densidad relativa</b> %	<b>Frecuencia relativa</b> %	<b>Cobertura relativa</b> %	<b>IVI</b>
<i>Myrtillocactus schenckii</i>	10.50	1.00	9397836.38	8.62	15.25	65.53	89.41
<i>Opuntia pubescens</i>	52.00	1.00	3906880.94	42.71	15.25	27.24	85.20
<i>Mammillaria karwinskiana</i>	22.00	0.77	90855.46	18.06	11.86	0.63	30.56
<i>Agave potatorum</i>	11.25	0.61	468852.55	9.24	9.32	3.26	21.83
<i>Opuntia velutina</i>	4.50	0.55	55814.05	3.69	8.47	0.38	12.55
<i>Ferocactus latispinus</i>	3.50	0.50	11039.62	2.87	7.62	0.07	10.57
<i>Coryphantha retusa</i>	3.25	0.44	2218.76	2.66	6.77	0.01	9.46
<i>Opuntia pilifera</i>	3.75	0.33	179365.99	3.08	5.08	1.25	9.41
<i>Hechtia pringlei</i>	3.75	0.33	40212.48	3.08	5.08	0.28	8.44
<i>Agave marmorata</i>	1.75	0.27	14932.41	1.43	4.23	0.10	5.77
<i>Yucca periculosa</i>	1.25	0.16	146763.16	1.02	2.54	1.02	4.59
<i>Hechtia sp.</i>	1.25	0.11	7992.92	1.02	1.69	0.05	2.77
<i>Tillandsia fasciculata</i>	1.00	0.11	2555.34	0.82	1.69	0.01	2.53
<i>Tillandsia dasyliiriifolia</i>	1.00	0.11	377.38	0.82	1.69	0.002	2.51
<i>Neobuxbaumia sp.</i>	0.25	0.05	13199.08	0.20	0.84	0.09	1.14
<i>Agave convallis</i>	0.25	0.05	1008.10	0.20	0.84	0.007	1.05
<i>Agave karwinskii</i>	0.25	0.05	508.93	0.20	0.84	0.003	1.05
<i>Stenocereus pruinosus</i>	0.25	0.05	80.67	0.20	0.84	0.0005	1.05



**Figura 7.** *Yucca periculosa* (izote) en época de sequía.

#### **5.2.4. Ladera con orientación oeste**

En este sitio se registró una riqueza de 14 especies, de las cuales *Opuntia pubescens*, *Myrtillocactus schenckii* y *Agave karwinskii* eran dominantes, con valores de importancia (65.01, 49.82 y 42.94) (Cuadro 4). *Opuntia pubescens* dominó todos los sitios. Es importante recalcar que el género *Opuntia* se mantuvo constante en todas las unidades de muestreo. Se notó la presencia de un sólo cacto columnar tipo arborescente, *Stenocereus pruinosus* (Figura 8), en la parte baja de la ladera, resultado quizás de la destrucción de su hábitat ya que éste se encontraba a escasos metros de un canal de riego. A pesar de ciertas zonas específicas de la parte baja modificada por las prácticas agrícolas, era de las mejor conservadas, ya que durante los recorridos en trabajo de campo se observó una vegetación densa. Incluso hubo dificultades para entrar debido a que era en su mayor parte laderas rocosas.

Una especie que podemos resaltar por su presencia era el *Agave potatorum* en las laderas este y oeste, del que encontramos una preferencia por ambientes muy secos y suelos someros y pedregosos en diferentes altitudes. Posiblemente era una de las especies mejor adaptadas a la zona seca de Yagul.

**Cuadro 4.** Rasgos estructurales de suculentas en ladera con orientación oeste del sitio “Los Compadres”.

<b>Especie</b>	<b>Densidad absoluta</b> # ind./ # muestr.	<b>Frecuencia absoluta</b> # ocurrencia/ # muestr.	<b>Cobertura absoluta</b>	<b>Densidad relativa</b> %	<b>Frecuencia relativa</b> %	<b>Cobertura relativa</b> %	<b>IVI</b>
<i>Opuntia pubescens</i>	21.5	0.88	1956946.66	22.63	17.58	24.8	65.01
<i>Myrtillocactus schenckii</i>	6.50	0.72	2264465.97	6.84	14.28	28.69	49.82
<i>Agave karwinskii</i>	14.00	0.50	1445137.09	14.73	9.89	18.31	42.94
<i>Hechtia pringlei</i>	16.25	0.22	844933.33	17.10	4.39	10.70	32.20
<i>Agave marmorata</i>	11.00	0.33	284839.49	11.57	6.59	3.60	21.78
<i>Opuntia pilifera</i>	4.00	0.38	699180.92	4.21	7.69	8.86	20.76
<i>Opuntia velutina</i>	3.75	0.44	227520.44	3.94	8.79	2.88	15.62
<i>Agave potatorum</i>	5.25	0.38	124031.93	5.52	7.69	1.57	14.79
<i>Mammillaria karwinskiana</i>	4.50	0.33	5014.38	4.73	6.59	0.06	11.39
<i>Tillandsia fasciculata</i>	4.25	0.16	27925.33	4.47	3.29	0.35	8.12
<i>Ferocactus latispinus</i>	2.00	0.27	5467.95	2.10	5.49	0.06	7.66
<i>Stenocereus pruinosus</i>	0.75	0.16	1089.26	0.78	3.29	0.01	4.09
<i>Coryphantha retusa</i>	0.75	0.11	11.17	0.78	2.19	0.0001	2.98
<i>Agave convallis</i>	0.50	0.11	4302.07	0.52	2.19	0.05	2.77



**Figura 8.** *Stenocereus pruinosus* (pitayo) en su hábitat y detalle de sus frutos.

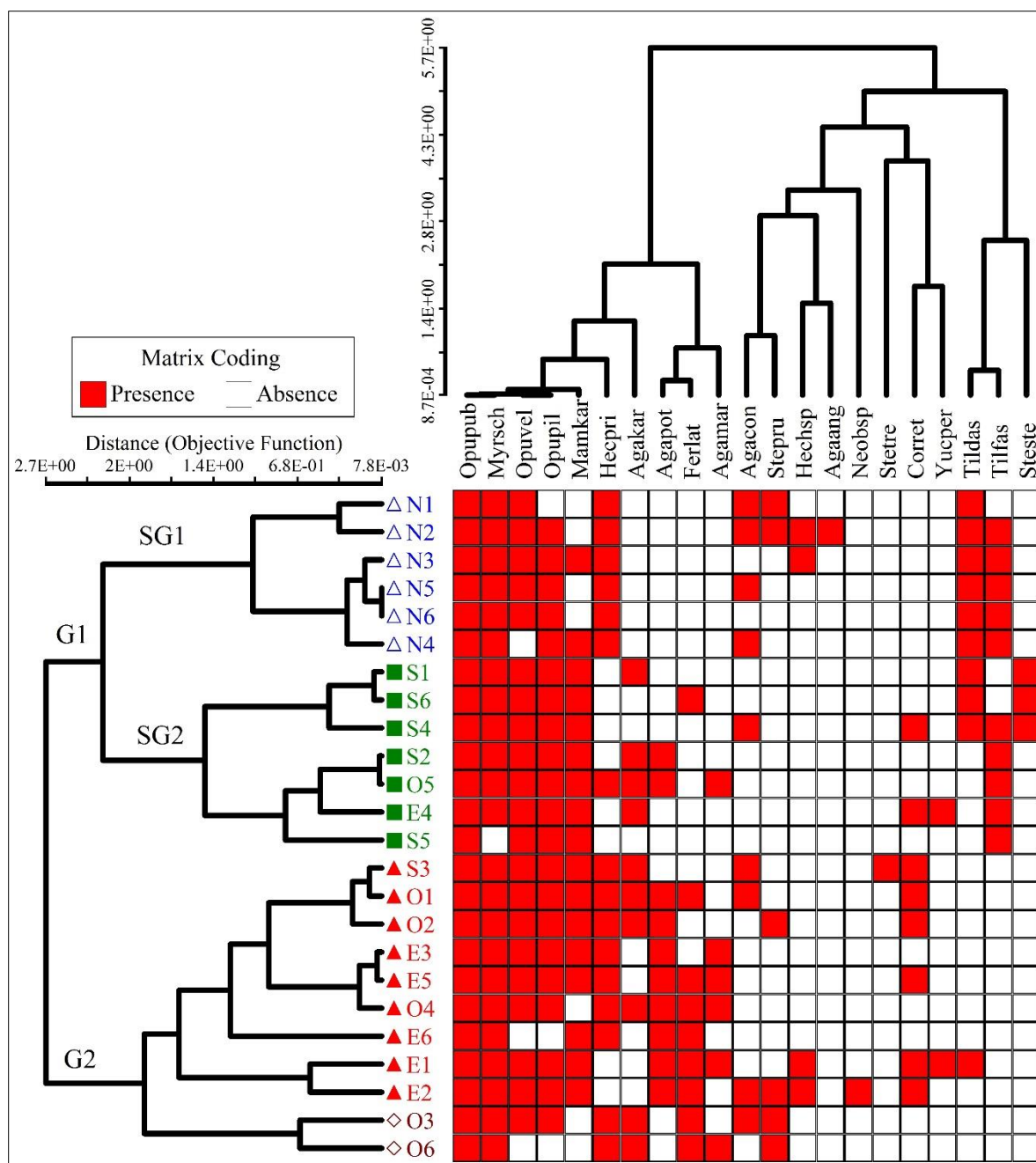
Las familias Cactaceae y Asparagaceae fueron las de mayor riqueza por ladera. La primera siempre estuvo presente en todas las unidades de muestreo.

### 5.3. Semejanza florística entre laderas

#### 5.3.1. Análisis de agrupamiento

El análisis de semejanza florística entre laderas diferenció dos grupos (G) principales (Figura 9). El primer grupo (G1) incluye las laderas norte y la mayor parte de las orientadas al sur. Cabe hacer notar dentro de este grupo la estrecha asociación de todas las UM orientadas al norte (SG1), en el cual las especies que lo caracterizan eran: *Opuntia pubescens*, *Myrtillocactus schenckii*, *Opuntia velutina*, *Opuntia pilifera*, *Hechtia pringlei*, *Agave convallis* y son notables, dos epífitas *Tillandsia fasciculata* y *Tillandsia dasyliriifolia*. Es importante recalcar la separación de las UM de la ladera norte con respecto al resto de las laderas y, aun cuando las UM del norte se incluyen en un grupo mayor con UM de otras laderas, la semejanza florística con estas es baja a juzgar por la distancia entre ellas.

El segundo subgrupo (SG2) estuvo formado por cinco de seis UM ubicadas en la ladera sur, junto a una tanto del este como del oeste, donde algunas de las especies más comunes eran: *Opuntia pubescens*, *Myrtillocactus schenckii*, *Opuntia velutina*, *Opuntia pilifera*, *Hechtia pringlei*. Este subgrupo comparte con el anterior diversas especies de las ya mencionadas, pero una diferencia está dada por la presencia de *Stenocereus stellatus* y la ausencia de las especies *Stenocereus pruinosus*, *Hechtia* sp. y *Agave angustifolia* en SG2.



**Figura 9.** Agrupamiento de 24 unidades de muestreo y 21 especies de Yagul, Tlacolula, Oaxaca, con base en el índice de semejanza de Jaccard. Agaang= *Agave angustifolia*, Agacon = *A. convallis*, Agakar = *A. karwinskii*, Agamar = *A. marmorata*, Agapot = *A. potatorum*, Yucper = *Yucca periculosa*, Hecpri = *Hechtia pringlei*, Hechsp = *Hechtia* sp., Tildas = *Tillandsia dasyliiriifolia*, Tilfas = *T. fasciculata*, Corret = *Coryphantha retusa*, Ferlat = *Ferocactus latispinus*, Mamkar = *Mammillaria karwinskiana*, Myrsch = *Myrtillocactus schenckii*, Neobsp = *Neobuxbaumia* sp., Opupil = *Opuntia pilifera*, Opupub = *O. pubescens*, Opuvel = *O. velutina*, Stepru = *Stenocereus pruinosus*, Steste = *S. stellatus*, Stetre = *S. treleasei*.



El G2 integra a las UM de laderas orientadas al este y oeste, éstas comparten muchas de las especies encontradas en otras laderas como: *Opuntia pubescens*, *Myrtillocactus schenckii*, *Opuntia velutina*, *Opuntia pilifera*, *Hechtia pringlei*, *Agave karwinskii*, *Agave potatorum*. Diferencias notables respecto a otras laderas principalmente del norte, fue la presencia de *Agave karwinskii*, *Agave potatorum*, *Agave marmorata* y poblaciones importantes de *Ferocactus latispinus*. Es de llamar la atención que en este grupo *Yucca periculosa* y *Tillandsia dasyliriifolia* fueron muy escasas, además *Tillandsia fasciculata* y *Stenocereus stellatus* no se encontraron.

### 5.3.2. Prueba de Permutación de Respuesta Múltiple

La prueba de permutación de respuesta múltiple indicó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la composición de especies entre laderas (Cuadro 5). Las diferencias más notables se aprecian entre las laderas este-oeste, norte-este y norte-sur. Con base en lo anterior, se rechaza la hipótesis de no diferencias entre laderas, es decir, es diferente la composición de especies entre ellas. El estadístico T nos muestra la separación entre los grupos; entre más negativo sea T, las diferencias son mayores entre los grupos.

**Cuadro 5.** Comparación entre laderas de Yagul.

Comparación	T	P
LN vs. LS	-3.63175012	0.00881255
LN vs. LE	-4.28326324	0.00467124
LN vs. LO	-3.34558746	0.00793756
LS vs. LE	-2.51918161	0.02940735
LS vs. LO	-3.39406777	0.00816338
LE vs. LO	-6.38719802	0.00028646

## 5.4. Análisis de ordenación

### 5.4.1. Análisis de correspondencia rectificado

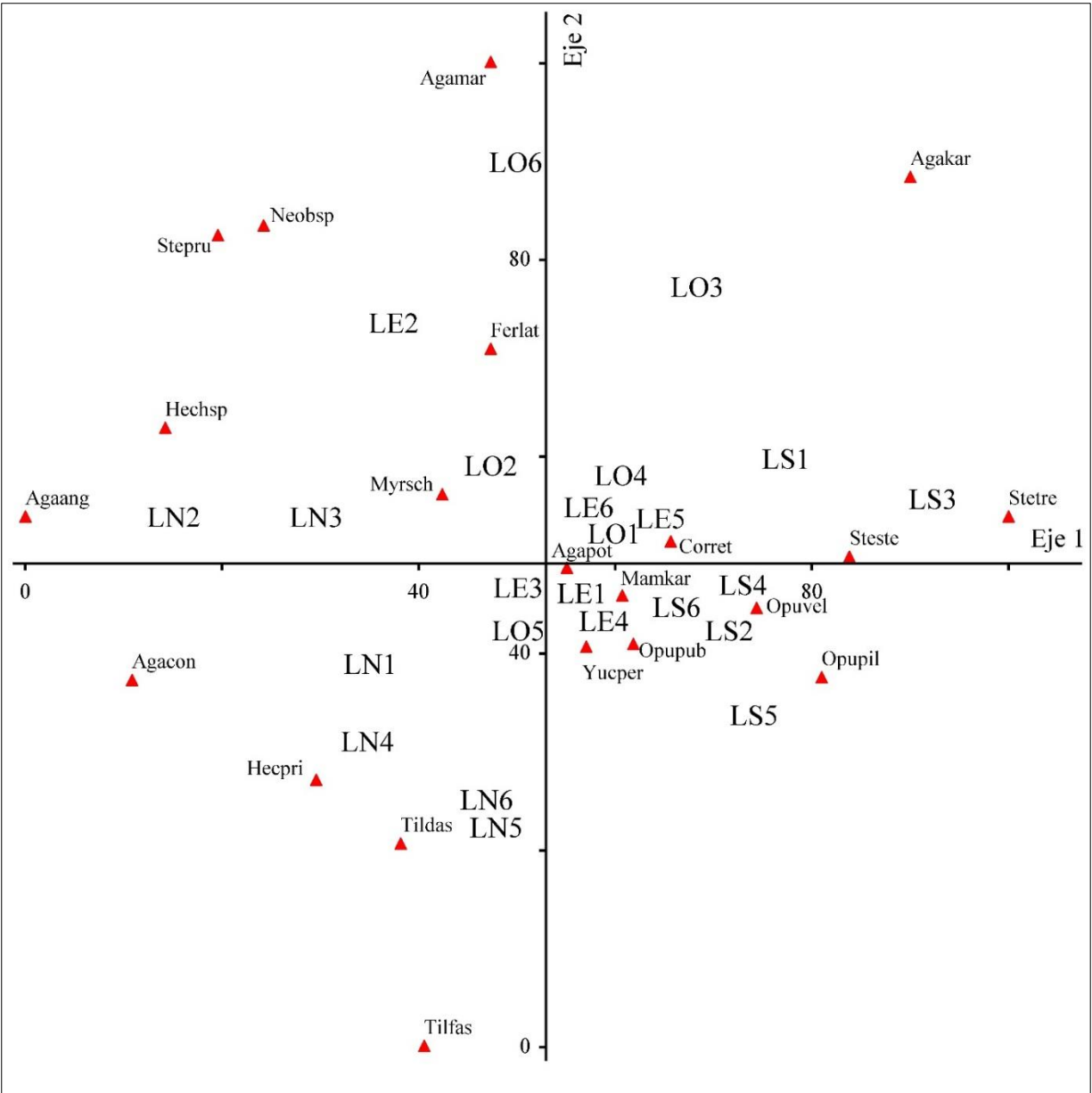
La asociación de los sitios y especies se presenta en la Figura 12. Los tres primeros ejes de la ordenación explican el 43% de la varianza total; la longitud del gradiente (LG) del eje 1 fue de 3.82 lo que indica diferencias en la composición de especies entre laderas (Hill y Gauch, 1980), caso semejante para el eje 2 con una LG de 3.15; el eje 3, con LG de 1.99 contribuye en menor grado a la diferenciación de las laderas. La gráfica derivada de este análisis confirma en cierta medida la asociación obtenida con la clasificación, principalmente en lo que corresponde a las

laderas con orientación norte, las cuales muestran una diferenciación en el eje 1 asociadas principalmente a especies de *Agave*, *Hechtia* y *Tillandsia*, entre otras (Figura 11). También cabe mencionar la asociación entre las laderas este y sur, se debe básicamente a la presencia de cactáceas de diferentes especies de *Opuntia* y *Stenocereus* (Figura 10). Por otro lado, observamos que las especies *Agave marmorata* y *Agave karwinskii* se distribuyen en laderas oeste.

La fisonomía se caracteriza por elementos rosetófilos; en el estrato superior se observan plantas arborescentes como *Yucca periculosa* (izotes) con alturas hasta de 6 m y *Agave convallis*, que en algunas partes de ladera se presentan en grandes poblaciones. Entre todas las especies del matorral, las predominantes son del género *Opuntia* (Cactaceae) tales como: *Opuntia pubescens*, *O. velutina*, *O. pilifera* en laderas con exposición sur, por lo cual mantienen una amplia cobertura en el área de estudio.



**Figura 10.** Ladera sur, parte baja “Caballito Blanco”. Asociación de *Opuntia pilifera* (nopal) y *Stenocereus treleasei* (tunillo).



**Figura 11.** Análisis de Correspondencia de 24 unidades de muestreo y 21 especies de Yagul, Tlacolula, Oaxaca. Agaang= *Agave angustifolia*, Agacon = *A. convallis*, Agakar = *A. karwinskii*, Agamar = *A. marmorata*, Agapot = *A. potatorum*, Yucper = *Yucca periculosa*, Hecpri = *Hechtia pringlei*, Hechsp = *Hechtia* sp., Tildas = *Tillandsia dasyliiriifolia*, Tilfas = *T. fasciculata*, Corret = *Coryphantha retusa*, Ferlat = *Ferocactus latispinus*, Mamkar = *Mammillaria karwinskiana*, Myrsch = *Myrtillocactus schenckii*, Neobsp = *Neobuxbaumia* sp., Opupil = *Opuntia pilifera*, Opupub = *O. pubescens*, Opuvel = *O. velutina*, Stepru = *Stenocereus pruinosus*, Steste = *S. stellatus*, Stetre = *S. treleasei*.

### 5.4.2. Análisis Canónico de Correspondencia (ACC)

En el procesamiento de los datos, se excluyó del análisis a la textura del suelo por presentar poca variación. Así, el análisis se basó en siete variables edáficas (pH, CE, MO, Nt, P, K, CaCO<sub>3</sub>), 21 especies y 24 UM. El ACC que relacionó las poblaciones de suculentas con las variables edáficas, indica que los tres primeros ejes de ordenación explican el 30.3% de la variación total.

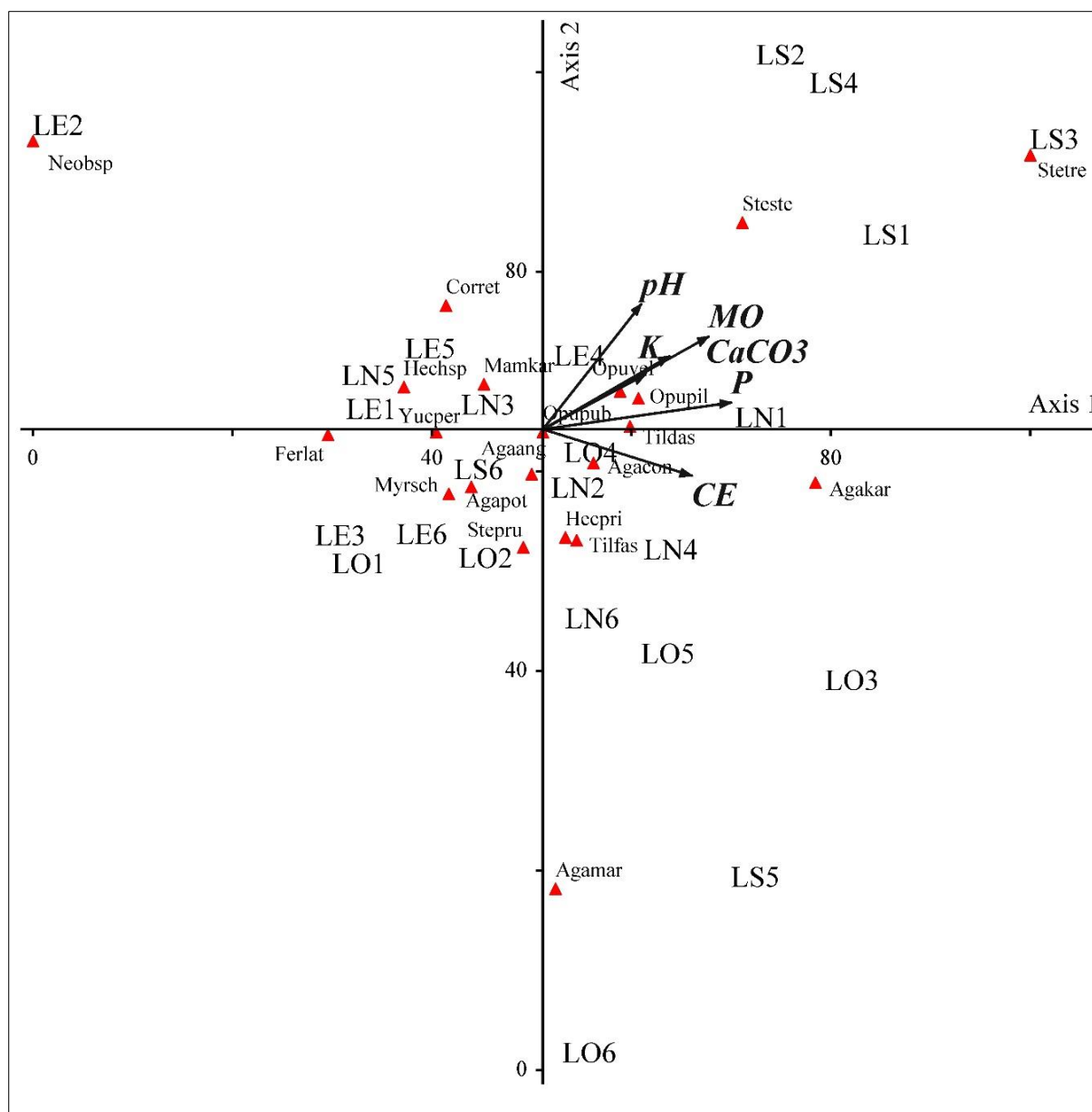
El primer eje es un gradiente definido por el contenido de fósforo (0.745), materia orgánica (0.655) y conductividad eléctrica (0.591), mientras que el eje dos estuvo definido por el pH (0.546) (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Resultados del análisis de correspondencia canónica entre variables edáficas y datos de comunidades vegetales de 24 UM en laderas de Yagul, Tlacolula, Oaxaca.

<b>Ejes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Inercia total</b>
Valor propio	0.561	0.434	0.358	4.4661
Varianza/Datos/Especie				
Varianza explicada (%)	12.6	9.7	8	
Varianza explicada acumulada (%)	12.6	22.3	30.3	
Correlación Especies-Ambiente	0.948	0.905	0.893	
correlación de variables con los ejes				
CE	0.591	-0.196	<b>-0.595</b>	
pH	0.387	<b>0.546</b>	-0.365	
MO	<b>0.655</b>	<b>0.404</b>	0.127	
Nt	0.171	0.123	-0.353	
P	<b>0.745</b>	0.116	0.007	
K	0.403	0.242	<b>0.541</b>	
CaCO <sub>3</sub>	0.502	0.321	-0.084	

Variables: CE = conductividad eléctrica, pH, MO = materia orgánica, Nt = nitrógeno total, P = fósforo, K = potasio, CaCO<sub>3</sub> = carbonato de calcio.

Nota: se resaltan los coeficientes de las variables con mayor ordenación en cada eje.



**Figura 12.** Diagrama de ordenación obtenido con el método de análisis canónico de correspondencias de Yagul, Tlacolula, Oaxaca. Agaang= *Agave angustifolia*, Agacon = *A. convallis*, Agakar = *A. karwinskii*, Agamar = *A. marmorata*, Agapot = *A. potatorum*, Yucper = *Yucca periculosa*, Hecpri = *Hechtia pringlei*, Hechsp = *Hechtia sp.*, Tildas = *Tillandsia dasylyriifolia*, Tilfas = *T. fasciculata*, Corret = *Coryphantha retusa*, Ferlat = *Ferocactus latispinus*, Mamkar = *Mammillaria karwinskiana*, Myrsch = *Myrtillocactus schenckii*, Neobsp = *Neobuxbaumia sp.*, Opubil = *Opuntia pilifera*, Opub = *O. pubescens*, Opuvel = *O. velutina*, Stepru = *Stenocereus pruinosus*, Steste = *S. stellatus*, Stetre = *S. treleasei*.

El diagrama de ordenación entre las 24 UM y los factores ambientales (Figura 12), mostró que el primer eje de ordenación correlacionó positivamente con fósforo (0.745) y materia orgánica (0.655); los ejes 2 y 3 mostraron bajos valores de correlación con las variables mencionadas. La gráfica de ordenación mostró el efecto de la orientación de los sitios en la distribución de las especies; los sitios ubicados en el cuadrante superior derecho se asociaron con especies de las zonas más secas de Yagul, en general, con una exposición sur, tales como *Opuntia velutina*, *Opuntia pilifera*, *Opuntia pubescens* y dos especies de cactus columnares, *Stenocereus stellatus*, *Stenocereus treleasei*.

Las correlaciones entre las variables y los ejes de ordenación, indican que el eje uno diferencia las laderas con orientación sur pues son las que tienen un mayor contenido de fósforo y materia orgánica, con valores promedio de 22.12 y 3.21 en relación a las otras laderas, cuyo contenido de ambos elementos fue, para fósforo Ladera Norte=7.59, Ladera Este=6.97 y Ladera Oeste=16.16, en tanto que para materia orgánica el contenido fue Ladera Norte=2.80, Ladera Este=1.12 y Ladera Oeste=0.31.

Las condiciones edáficas mencionadas para la ladera sur parecen ser las adecuadas para *Stenocereus stellatus* y *S. treleasei*. El eje dos se correlacionó principalmente con el pH y los mayores valores se alcanzaron en las laderas sur ( $X=6.72$ ) y este ( $X=6.50$ ), donde coexisten diversas especies de *Opuntia*.

Para finalizar este apartado, de acuerdo con el compromiso que se estableció con las autoridades de Yagul, se elaboró un catálogo de suculentas, en el cual consistió en un inventario florístico, integrado por número de familias, géneros y especies (Anexo a).

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Riqueza florística

La mayoría de las especies encontradas en todos los sitios de Yagul pertenecían a Cactaceae y en segundo lugar a la familia Asparagaceae, lo cual es concordante con otros estudios en la región mixteca. Paredes-Flores *et al.* (2007) y Martínez-Cortés *et al.* (2017) reportan a las Cactaceae como la familia más numerosa, de igual forma se menciona a dicha familia en otros sitios de estudios, de acuerdo con registros de Estrada-Castillón *et al.* (2005), González-Rodríguez *et al.* (2010), Alanís-Rodríguez *et al.* (2015), Mata-Balderas *et al.* (2015), Encina-Domínguez *et al.* (2013) y Martorell y Ezcurra, (2002).

En Yagul se registraron 12 especies de Cactaceae, cifra cercana a los informes de López (2008) en Huajuapán de León, Oaxaca, Solano (2009) en Asunción, Cuyotepeji, Oaxaca y Guízar *et al.* (2005) en Tehuacán, Puebla, que fue menos de 17 especies. De la misma forma, Medina-Guillén *et al.* (2017), reportan a Cactaceae con 5 especies como la más sobresaliente en un estudio hecho en Coahuila, una riqueza inferior a la de Yagul. En contraste, al número de especie de Cactaceae en el área de Yagul, Reyes (1993) encontró en San Juan Mixtepec, Oaxaca, 14 especies de cactáceas. Otra cifra mayor, Tovar-Romero (2005) menciona 19 especies de Cactaceae para la región de Nizanda, Oaxaca. En la región de la Mixteca Alta, Oaxaca, se resalta una mayor riqueza de Cactaceae, en específico para Nochixtlán, que cuenta con 26, según informes de Aquino-García y Arias (2010), un dato elevado al de Yagul. También, Graciano-Ávila *et al.* (2018) encontraron en la parte noreste de México (Nuevo León) 17 especies de la familia Cactaceae, mayor al número reportadas para Yagul. Otro caso similar es el que se da en Tehuantepec, Oaxaca, donde Acosta *et al.* (2003) resaltan nueve familias botánicas entre ellas la Cactaceae. Se documenta, una particularidad para la distribución de la familia Cactaceae, debido a que es, un grupo de plantas con patrones complejos de distribución en Tehuantepec, Oaxaca. Según registraron Pérez-García *et al.* (2001), solo unas cuantas especies de cactus están ampliamente distribuidas en la región; esto mismo ocurre en Yagul con especies como *Myrtillocactus schenckii*, *Stenocereus pruinosus*, *Opuntia pubescens*, etc. Yagul se encuentra en un punto intermedio entre Cuicatlán y Tehuantepec, los cuales según Arias-Montes (1993) son los dos sitios de mayor riqueza de cactáceas en Oaxaca.

El valor de importancia de las especies de Yagul es concordante con el estudio de Medina-Guillén *et al.* (2017) que nos describe características típicas de la vegetación de matorral xerófilo que incluyen especies suculentas.

La fisonomía de las formas biológicas columnares y arborescentes de *Myrtillocactus schenckii*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus stellatus*, *Stenocereus treleasei*, *Neobuxbaumia* sp. permiten diferenciar con claridad las comunidades vegetales de otras en Yagul, a pesar de que sus coberturas son reducidas. La única excepción es *Myrtillocactus schenckii*, conocido como “garambullo”, que

tiene amplias poblaciones a lo largo de las laderas. Dicha fisonomía Valiente-Banuet *et al.* (2000) la reconocen como bosque de cactus columnares arborescentes. Se puede hacer una comparación de *Myrtillocactus schenckii* y *Myrtillocactus geometrizans*. Este último forma comunidades muy dispersas con elementos de selva baja caducifolia, según informes de López-Galindo *et al.* (2003). Lo cual se observó en las diferentes altitudes de las laderas de Yagul, incluso en algunos puntos de muestreo con mayor pendiente.

Un caso que destaca es la *Opuntia pubescens* en la zona de Yagul. De acuerdo con Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1978) los tallos cilíndricos, más bien delgados y muy leñosos, le permiten soportar los efectos de la sequía extrema. Dicha especie se encontró en rocas, en partes bajas, medias, altas de las laderas sin importar las condiciones del ambiente. Los cladodios de *Opuntia pubescens* poseen numerosas espinas por lo que es una especie no consumida por fauna o ganado y es probable que las poblaciones de este taxon no se encuentran amenazadas. Durante los muestreos se observaron sitios que realmente se conservaban en buen estado debido a la mayor densidad y cobertura de la mencionada especie. *Ferocactus latispinus*, otra especie resistente a las condiciones ambientales ya que se encontró a lo largo de las laderas de Yagul, es un caso similar, lo cual apoya las observaciones de Aquino-García y Arias (2010) en Nochixtlán, Oaxaca.

Otro factor es el disturbio en las partes bajas de las laderas de Yagul, lo que quizás favorezca el crecimiento de algunas cactáceas, como *Opuntia pubescens*, *Mammillaria karwinskiana* y *Opuntia pilifera*. Es una situación parecida a la de Nochixtlán, Oaxaca, según indican Aquino-García y Arias (2010); estas especies son favorecidas en su distribución por la perturbación.

Otra población en la que se debe hacer énfasis es la de *Coryphantha retusa* (biznaga partida mocha). Es un taxón restringido en ciertos sitios. La especie se observó en las partes bajas de los cerros, en la zona de lomeríos y terrenos planos y en suelos profundos derivados de rocas sedimentarias y pedregosas. Por consiguiente, las características son similares a las del entorno ambiental, mencionadas por Guízar *et al.* (2005).

Las especies presentes en la zona estudiada de Yagul, tienen mayor afinidad con la Mixteca Alta (García-Mendoza *et al.*, 1994). Ambas zonas comparten ocho especies de Cactaceae: *Coryphantha retusa*, *Ferocactus latispinus*, *Mammillaria karwinskiana*, *Myrtillocactus schenckii*, *Opuntia pilifera*, *Opuntia pubescens*, *Opuntia velutina* y *Stenocereus stellatus*.

Con respecto a los valores de importancia y riqueza, fueron significativos en las poblaciones de las especies de Asparagaceae que, se distribuían en la selva baja caducifolia de Yagul. Esto concuerda con Torres *et al.* (2010) con la aseveración de que Asparagaceae forma parte de este tipo de vegetación.

Se registraron especies de Asparagaceae en Yagul, como *Agave marmorata*, *A. karwinskii* y *A. potatorum*. Estos mismos fueron documentados por Carballar-Hernández (2009) y Carballar-Hernández *et al.* (2013) en los Valles Centrales de Oaxaca. Para el caso particular de *Agave karwinskii*, conocido como “madrecuishe”, se observaron grandes poblaciones silvestres en las



laderas de Yagul. Posee distintas variedades y formas biológicas. Esta especie se caracteriza por tener un tallo y es utilizada para la producción de mezcal en varias partes de Oaxaca (García-Mendoza *et al.*, 2004; Vázquez-Pérez, 2015). Lo anterior contrasta con lo que ocurre en la zona de estudio porque no son aprovechados para ese fin, sino utilizados como leña. El otro uso es para cercos vivos, lo que nos hace pensar que no se encuentra amenazada en esta región.

Otro maguey, *Agave potatorum* (“tobalá”) es de gran importancia para el sitio de estudio. De acuerdo con los registros, se encuentra distribuido en casi toda la zona. Tal afirmación es apoyada por Vázquez (2006) y García-Mendoza (2010) quienes argumentan que ésta especie tiene preferencia por climas muy secos y secos. Para la región de Yagul la condición de este taxón, se considera que es buena, debido a que se encuentra protegida en esta Área Natural, donde no se hace ningún tipo de extracción. Su población es abundante, lo cual resalta la importancia de las áreas naturales protegidas para su conservación. En contraste, se han documentado reducciones drásticas en el tamaño poblacional de *A. potatorum*, en las últimas décadas en extinciones locales (Torres, 2009) en otras zonas de Oaxaca.

En el área de estudio, las epífitas eran abundantes con el dominio del género *Tillandsia*. Formaban unos verdaderos jardines verticales en las formaciones rocosas con sus llamativos colores. Lo anterior, se puede comparar a un estudio de Campos-Villanueva y Villaseñor (1995) en Miahuatlán, Oaxaca. En este sitio, también resaltaba la distribución de dicho género. Las especies que se comparten en ambas zonas son: *Mammillaria karwinskiana* y *Stenocereus pruinosus*.

Varias especies suculentas de Yagul presentan un patrón de distribución restringida, entre ellas *Yucca periculosa*, *Coryphantha retusa* y *Tillandsia dasyliriifolia*. Esto se asemeja a un estudio de Miguel-Talonia *et al.* (2014) en Tehuacán, Puebla, donde las especies tenían su distribución en menos del 10% de la superficie del mencionado sitio. *Yucca periculosa* (“izote”) es un elemento vegetal que comparte Yagul con el Valle de Tehuacán. Resalta como un elemento dominante de una asociación vegetal (izotal) (Valiente-Banuet *et al.*, 2000). La mencionada especie se distribuye en las partes bajas de las laderas de la región de Yagul, situación que también reporta López-Galindo *et al.* (2003) en Zapotitlán, Puebla.

En Yagul, se registraron, dos géneros *Opuntia* y *Stenocereus*, que tuvieron un número importantes de especies distribuidos en la zona. En contraste, Hernández y Gómez-Hinostrosa (2011) documentaron a Tehuacán, Puebla como una de las zonas con mayor concentración de especies de Cactaceae, a pesar de no incluir géneros con abundantes especies. Entonces, se observan fenómenos distintos en regiones relativamente cercanas y con el mismo tipo de vegetación general (selva baja caducifolia). Apoya la observación de Campos-Villanueva y Villaseñor (1995) al comparar floras entre distintas regiones del país, que existen diferencias marcadas en cuanto a su composición florística, aunque presenten un mismo tipo de vegetación.

## 6.2. Caracterización ecológica de las laderas

La pendiente altitudinal de Yagul está escasamente pronunciada en comparación con otras laderas. Se determinó que existen diferencias florísticas entre las unidades de muestreo (UM) ubicadas a mayor altitud, en comparación con aquellas a menor altitud. Esto concuerda con lo encontrado con Sánchez-González y López-Mata (2003) quienes mencionaron que la estructura y el patrón de distribución de las especies existentes, están definidos por el gradiente de altitud.

Se ha reportado que, en las laderas sur, la frecuencia de formas rosetófilas aumenta lo cual coincide en cierta medida con esta orientación en la región de Yagul con este tipo de plantas (Valverde-Padilla, 2002).

La mayoría de las investigaciones previas comparan las exposiciones norte y sur de las laderas. En este trabajo se agregan las del este y oeste para evaluar que tanto influyen dichas orientaciones en la estructura florística de las suculentas de Yagul. En las laderas del sitio estudiado se registró el mayor número de especies vegetales para las que estaban orientadas hacia el este y oeste. Esto es similar a un estudio de la cobertura de ciertas especies leñosas que fueron mayores en la ladera oeste que en la del este, y señalan que la exposición es uno de los factores que modifica la estructura florística de la vegetación (Torres *et al.*, 2012). Las variaciones en la composición y cobertura de las suculentas reportadas en Yagul, en las diferentes posiciones geomorfológicas tenían una estrecha relación con las especies, debido a que las laderas de Yagul orientadas hacia el este por el tiempo de exposición al sol probablemente favorece la diversidad de suculentas tales como *Myrtillocactus schenckii*, *Ferocactus latispinus*, *Coryphantha retusa*, *Opuntia pubescens* y *Yucca periculosa* (Pirela, 2006).

En Yagul, las especies se ubicaban a mayores altitudes en laderas de exposición este. Por ejemplo el *Agave potatorum*, fue el único maguey que se encontró en lo más alto de las laderas de esta orientación. Era notable que sus dimensiones aumentaban en comparación a las que se encontraban en la parte media de las laderas, lo mismo ocurrió con *Ferocactus latispinus*. En contraste con laderas orientadas hacia el oeste, se registraron especies como *Agave karwinskii* y *Stenocereus pruinosus* que tenían preferencia por las partes bajas. Esto concuerda con un estudio en Mt. Wilhelm en Papua Nueva Guinea, en diferentes altitudes similares a la zona de estudio, se encontró que las especies tienden a alcanzar mayores altitudes en laderas de exposición este (Smith, 1977).

## 6.3. Manejo histórico de la tierra en Yagul

El deterioro de los ecosistemas en Yagul en la parte de los valles es notorio. Se observa la fragmentación de la Selva Baja Caducifolia y Selva Baja Caducifolia Espinosa junto con la Popal-Tular. Casi toda la zona está ocupada por parcelas agrícolas. Las especies originales que se observan están en los límites de los sembradíos, usados como cercos vivos. Esta situación es similar en la región de la Mixteca que presenta una erosión de los suelos y sus ecosistemas perturbados (Guízar *et al.*, 2005). Rzedowski y Calderón (1987) documentaron que en la región

del Bajío, en un sitio de estudio, se ha perdido el 95% de la vegetación original que era Selva Baja Caducifolia y que después predominó vegetación de arbustos, hecho que se da en los valles de Yagul, donde quedan pocos elementos del estrato arbóreo (*Prosopis* sp.) en esa zona.

#### 6.4. Semejanza florística entre laderas

El caso del Monumento Natural Yagul, advierte diferencias en la composición florística en las UM del Norte, con mayor humedad y con especies como *Tillandsia fasciculata*, *Tillandsia dasyliriifolia*. En esta ladera se notaron poblaciones importantes de *Agave convallis* en las partes medias y sobre formaciones rocosas. Para el caso de laderas sur, se notó una presencia importante de suculentas del género *Opuntia* y una menos conspicua población de *Agave karwinskii* en las partes bajas. Esto último coincide con lo mencionado por Romero-Manzanares *et al.* (2014) quienes encontraron mayor densidad de *Agave* spp. y diversas de suculentas en laderas sur, más secas. Así, la humedad es un factor importante que determina el establecimiento de algunas especies para el caso de Yagul.

Los cactos columnares y candelabrifformes en las otras laderas que no fueran las del norte como *Stenocereus pruinosus*, *Myrtillocactus schenckii* y *Stenocereus treleasei* aumentaron sus poblaciones en los sitios más secos del área, caso similar al mencionado por Rzedowski (1978) en el bosque tropical caducifolio.

Se notó la presencia de dos cactos globosos en la ladera sur de Yagul, *Mammillaria karwinskiana* y *Coryphantha retusa*. Se registraron varias especies de agaves; *Agave karwinskii*, *Agave potatorum*, *Agave marmorata* y *Agave convallis*. Así, al ser más intensa las condiciones de sequía en las laderas sur, las especies vegetales típicas de matorral xerófilo son favorecidas. En las laderas norte con menor incidencia solar, la humedad del suelo es mayor y las plantas tienen menor pérdida de humedad; mientras que la radiación solar tiene mayor incidencia en las laderas orientadas al sur, por lo que resulta en un incremento de la temperatura del suelo (Ackerly *et al.*, 2002). Esto explica las diferencias florísticas encontradas en Yagul, entre las unidades de muestreo orientadas al norte y sur con respecto a las del este y oeste. Cabe mencionar que las plantas epífitas *Tillandsia fasciculata*, *Tillandsia dasyliriifolia* y *Tillandsia achyrostachys* son escasas en laderas con exposición sur y oeste. En tanto, se encuentran con cierta abundancia en ladera con exposición norte consideradas zonas con más humedad.

En general los individuos de rosetófilas están dispersos en las comunidades vegetales de las diferentes laderas del área con diferentes números de especies, ya sean mayores o menores, lo que coincide con un estudio de Valiente-Banuet *et al.* (2000). De igual manera sobresalen individuos de suculentas globosas, pertenecientes a los taxones *Coryphantha retusa*, *Mammillaria karwinskiana* y *Ferocactus latispinus*, algo similar en suculentas encontradas en un estudio por Guízar *et al.* (2005).

## 6.5. Análisis de ordenación

La presente investigación prueba la importancia de los factores edáficos en la variabilidad de los patrones de composición florística de las comunidades en las laderas de Yagul.

Tanto la exposición de ladera como la profundidad del suelo son variables cuya importancia se ha manifestado en otros entornos similares a Yagul (Nyssen *et al.*, 2001; Sternberg y Shoshany, 2001; Huerta-Martínez y García-Moya, 2004). Por otro lado, la sequía de Yagul se debe por el efecto de sombra orográfica de la sierra norte, caso semejante al de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, que es provocada por el efecto de sombra orográfica de la sierra Zongolica (Miguel-Talonia *et al.*, 2014).

La zona de estudio, caracterizada por laderas rocosas es una condición semejante a lo que ocurre en otras zonas donde las suculentas y otras especies de ambientes secos del noroeste de México, se distribuyen en micrositios sin suelo, por ejemplo, acantilados, cavidades o fisuras en las rocas (Bashan *et al.*, 2002; López *et al.*, 2009; Bárcenas-Argüello *et al.*, 2010).

Guízar *et al.* (2005) reportaron matorral rosetófilo sobre laderas pedregosas y suelos someros. Los elementos florísticos se encuentran dispersos y en un gradiente de sequía que disminuyen o aumentan en los diferentes sitios dentro del área, algo similar ocurrido en las laderas que se muestrearon en Yagul. También se da algo parecido en Zapotitlán, Salinas, Puebla, desde el punto de vista edáfico donde los suelos son someros y pedregosos en la mayor parte del área, con diferentes niveles de alcalinidad y salinidad producto de la influencia de los diferentes substratos geológicos presentes en el sitio (López-Galindo *et al.*, 2003) situación que se observó en la zona de Yagul.

Diversos estudios sobre las cactáceas han mencionado preferencia por crecer en suelos de tipo regosol con alto contenido de yeso (Gómez-Hinostrosa y Hernández, 2000; Martínez-Ávalos y Jurado, 2005), esto concuerda con el tipo de suelos que se observaron en distintos sitios de muestreos en Yagul. Los Regosoles retienen poca humedad lo cual no favorece la presencia de plantas con mayor biomasa como los arbustos densos y altos. Por el contrario, permite el desarrollo de individuos de portes bajos y adaptados a una sequía mayor como las plantas suculentas (Porta *et al.*, 2003). Este tipo de suelo es característico de lomeríos y elevaciones rocosas predominantes en el área de investigación, estos se encontraron en su mayoría en laderas de Caballito Blanco, Yazip-Duvil y Los Compadres. Otra de sus características es que se encuentran limitados por roca y en consecuencia tienen un porcentaje muy bajo de tierra fina. Los suelos tienen un papel importante en la abundancia y composición florística, además de otros factores físicos como el clima, la elevación y la exposición. Es evidente que los suelos de tipo regosol son preferidos por las cactáceas, porque permiten un mayor drenaje que favorece un hábitat adecuado para estas especies (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2015). Esta idea se ha hecho notar en otros informes, algunos

de los cuales han puesto de manifiesto la importancia de las características del suelo (Abd, 2000; Gallego, 2003; Rankin *et al.*, 2007; Santibáñez-Andrade *et al.*, 2009).

El análisis canónico de correspondencia destacó la importancia de materia orgánica y fósforo, en la diferencia de las UM de Yagul y la flora asociada, principalmente de las laderas sur. Esto apoya resultados previos de Sánchez-Soto *et al.* (2016) quienes obtuvieron esos mismos nutrientes en algunos sitios de su área de estudio y que estos influyen en la distribución de las especies. Otro estudio en matorrales ubicados en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México, por García-Sánchez *et al.* (2012), destacaron la importancia de materia orgánica así como del fósforo, entre otros, fueron mayores en el suelo, lo cual se asemeja a las condiciones de Yagul por su sequía. También, Montaña-Arias *et al.* (2006) documentaron que las concentraciones de nutrientes en el suelo de un ecosistema seco del Valle del Mezquital, entre ellos, el fósforo, el cual fue sobresaliente en nuestra área de estudio, puede deberse al aporte del mencionado nutriente a partir de la descomposición de la materia orgánica, otro de los nutrientes esenciales para las especies suculentas de Yagul.

Una combinación de elementos edáficos que se presentó en las laderas de Yagul fue la relación pH-materia orgánica, puesto que alcanzaron coeficientes de correlación mayores con los ejes de ordenación. De acuerdo con Frías-Hernández *et al.* (1999), a una mayor cantidad de materia orgánica, el pH se acidifica un poco, lo cual le confiere un mejor funcionamiento físico, químico y biológico al suelo alcalino y por ende a las plantas. De manera similar, Flores *et al.* (2007) reportaron éstas mismas variables para un estudio en el altiplano central (Aguascalientes y el norte de Jalisco) los cuales tienen una influencia positiva en las especies vegetales. Los mayores porcentajes de materia orgánica, podrían atribuirse a la acumulación de biomasa entre las rocas y en la grietas a nivel de la superficie del suelo (Mazzola *et al.*, 2008).

Por último, con respecto a las especies registradas en el área de Yagul que se incluyen en el Plan de Manejo se pueden complementar con las que se encontraron en los muestreos en campo tales como *Tillandsia achyrostachys*, *Tillandsia dasyliriifolia*, *Tillandsia ionantha*, *Hechtia pringlei*, *Ferocactus latispinus*, *Stenocereus marginatus* y *Sedum oaxacantum*.

## 7. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la orientación de la ladera puede ser un elemento clave que influye en el crecimiento vegetal del área estudiada. Otros factores ambientales también son limitantes para la distribución de suculentas en las laderas de Yagul, Oaxaca.

El análisis de ordenación de la comunidad indicó que las variables asociadas al sustrato donde crecen las suculentas, interactúan con la exposición de las laderas de Yagul y son determinantes en la distribución de las especies estudiadas. Esto resalta la necesidad de estudiar más a detalle estas laderas, que ocupan superficies importantes en grandes partes de México, con la finalidad de evaluar su contribución a la riqueza florística.

Los resultados obtenidos mediante los métodos multivariantes de ordenación y clasificación de la vegetación proponen que, en Yagul el patrón de distribución de las suculentas se ha definido por la exposición de ladera, la materia orgánica y el fósforo.

El presente estudio señala que la composición y estructura de las poblaciones de suculentas varía en sitios cercanos con condiciones topográficas parecidas pero que difieren entre ellas debido a su orientación.

El listado de especies registradas en el Plan de Manejo de Yagul es complementado con especies reportadas durante los muestreos de este trabajo de investigación con lo que se pretende ser usado como una herramienta de divulgación.

El presente trabajo pretende ser un punto de partida, para investigaciones posteriores relacionadas con la distribución de las demás comunidades vegetales de la región de Yagul vinculado a diferentes variables ambientales.

## **8. RECOMENDACIONES**

Compartir los resultados de este estudio con las autoridades de Yagul, a través de reuniones y talleres informativos.

Facilitar la participación del sector académico, público y privado en la generación de investigación y nuevos conocimientos para el Área Natural Protegida.

Fomentar el conocimiento sobre la biodiversidad de Yagul con fines de conservación que involucre a los usuarios y visitantes del Monumento Natural.

Incrementar los inventarios de los diferentes grupos taxonómicos y así poder establecer un programa que dé seguimiento a las especies de mayor importancia biológica.

## 9. LITERATURA CITADA

- Abd El-Ghani, M. M. (2000). Floristics and environmental relations in two extreme desert zones of western Egypt. *Global Ecology and Biogeography*, 9(6), 499-516.
- Acosta, S., Flores, A., Saynes, A., Aguilar, R., y Manzanero, G. (2003). Vegetación y flora de una zona semiárida de la cuenca alta del río Tehuantepec, Oaxaca, México. *Polibotánica*, (16), 125-152.
- Ackerly, D., Knight, C., Weiss, S., Barton, K., y Starmer, K. (2002). Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130(3), 449-457.
- Alanís-Rodríguez, E., Mora-Olivo, A., Jiménez-Pérez, J., González-Tagle, M. A., Yerena-Yamallel, J. I., Martínez-Ávalos, J. G., y González-Rodríguez, L. E. (2015). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el Noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*, 110, 105-117.
- Aquino-García, D. A., y Arias, S. (2010). Cactáceas del Distrito de Nochixtlán, Oaxaca, México. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 3, 68-84.
- Arias-Montes, S. (1993). Cactáceas: conservación y diversidad en México. *Diversidad Biológica en México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 44, 109-115.
- Bárceñas-Argüello, M. L., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Terrazas, T., y López-Mata, L. (2010). Rock-Soil Preferences of Three *Cephalocereus* (Cactaceae) Species of Tropical Dry Forests. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 1374-1382.
- Bashan, Y., Li, C. Y., Lebsky, V. K., Moreno, M., y De-Bashan, L. E. (2002). Primary colonization of volcanic rocks by plants in Arid Baja California, Mexico. *Plant Biology*, 4, 392-402.
- Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, R. (1978). *Las Cactáceas de México*. (No. C/583.470972 B7/v. 1/1978) 2da. ed. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Bravo-Hollis, H. y Scheinvar, L. (1999). *El Interesante Mundo de las Cactáceas*. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México.
- Bremner, J. M., y Mulvaney, C. S. (1982). Total nitrogen. Part 1 Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties. *The American Society of Agronomy (ASA)*. Madison, Wisconsin, USA. 595-624.
- Caballero, J., Cortés, L., Martínez-Alfaro, M. A., y Lira-Saade, R. (2004). Uso y Manejo de la Diversidad. García-Mendoza, A.J.; M. de J. Ordoñez, y M. Briones-Salas (Eds.). *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund. México. pp. 541-564.
- Campos-Villanueva, A., y Villaseñor, J. L. (1995). Estudio florístico de la porción central del municipio de San Jerónimo Coatlán, Distrito de Miahuatlán (Oaxaca). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56, 95-120.
- Carballar-Hernández, S. (2009). Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrízico en especies silvestres de *Agave* en Oaxaca. Tesis de



- maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional (IPN). Oaxaca, México. 72 p.
- Carballar-Hernández, S., Palma-Cruz, F. J., Hernández-Cuevas, L., y Robles, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal potential and mycorrhizal fungi diversity associated with *Agave potatorum* Zucc. in Oaxaca, Mexico. *Ecological Research*, 28(2), 217-226.
- Castilla, M., del Castillo, R. F., Tejero-Diez, D., Trujillo-Argueta, S., y Velázquez, A. R. (1979). Composición y Estructura de una Comunidad Vegetal en una Zona Semidesértica: Querétaro. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 14, 51-61.
- Codron, J. C. (2011). Las Plantas del Desierto: Adaptación y Oportunismo. URL: <http://ocw.unican.es/cienciassociales-y-juridicas/biogeografia/materiales/tema-5/5.2.1-las-plantas-del-desierto-adaptación-y>
- Comisión Nacional del Agua (2003). Estudio de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea, Acuífero de Valles Centrales, Estado de Oaxaca. [En línea]. <https://www.gob.mx/conagua>. [Acceso: 15 febrero 2018]. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1998). Climas (clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García). Escala 1:1, 000,000. [En línea]. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xml&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/clima1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xml&_indent=no). [Acceso: 15 junio 2018]. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2008). Capital Natural de México, vol. Catálogo Taxonómico de Especies de México. [En línea]. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html>. [Acceso: 12 marzo 2018]. México.
- Del Castillo, R. F. (1987). Efectos del Disturbio y la Orientación de Ladera en *Ferocactus histrix*. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, 32, 8-16.
- Del Castillo, R. F. (2000). Composición y Estructura de una Nopalera Bajo Situaciones Contrastantes de Exposición de Ladera y Herbivoría. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 65, 5-22.
- Encina-Domínguez, J.A., Meave, J. A., y Zárate-Lupercio, A. (2013). Structure and woody species diversity of the *Dasyllirion cedrosanum* (Nolinaceae) rosette scrub of central and southern Coahuila state, Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 91(3): 335-347.
- Espejo-Serna, M. A., y López-Ferrari, A. R. (2011). Diversidad y Distribución de las Bromeliaceae. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). La Biodiversidad en Veracruz. Estudio de Caso. Volumen II Diversidad de Especies: Conocimiento Actual. México: CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. pp. 177-189.
- Espejo-Serna, A. (2012). El Endemismo en las Liliopsida Mexicanas. *Acta Botánica Mexicana*, (100), 195-257.
- Estrada-Castillón, E., Villarreal Quintanilla, J. A., y Jurado, E. (2005). Leguminosas del norte del estado de Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana*, (73), 1-18.

- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (Por sus siglas en inglés). (1974). Programa de manejo del Monumento Natural Yagul (2013). Primera Edición. Tlacolula de Matamoros, Oaxaca.
- Flores, E., Frías, J., Jurado, P., Olalde, V., de Dios Figueroa, J., Valdivia, A., y García, E. (2007). Efecto del gatuño sobre la fertilidad del suelo y la biomasa herbácea en pastizales del centro de México. *Terra Latinoamericana*, 25(3), 311-319.
- Flores, M., y Granados, C. (2011). Listado de Bromelias. *Diversidad florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). pp. 310-351.
- Flores, G. J. A., y Macías, C. G. V. (2008). Importancia de las Cactáceas Como Recurso Natural en el Noreste de México. *CIENCIA-UANL*, 11(1), 1.
- Frankel, O. H., Brown, A. H., y Burdon, J. J. (1995). *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge University Press.
- Frías-Hernández, J. T., Aguilar-Ledezma, A. L., Olalde-Portugal, V., Cinvestav-Ipn, Balderas-López, J. A., Gutierrez-Juarez, G., y Dendooven, L. (1999). Research note soil characteristics in semiarid highlands of central Mexico as affected by mesquite trees (*Prosopis laevigata*). *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 3, 305-312.
- Gallego Fernández, J. B. (2003). Distribución de especies de matorral en suelos ácidos y básicos de la Sierra de Grazalema, sur de España. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 60 (1), 51-62.
- García-Mendoza, A. (2002). Distribution of *Agave* (Agavaceae) in Mexico. *Cactus and Succulent Journal*. 74(4): 177-187.
- García-Mendoza, A.J. (2010). Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (Agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*, (91), 71-93.
- García-Mendoza, A. J., Ordóñez, M. J., y Briones-Salas, M. (2004). Biodiversidad de Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza (FOCN) y World Wildlife Fund (WWF). Cd. Mx., México. 609 p.
- García-Mendoza, A. J., Tenorio, P., y Reyes, J. (1994). El endemismo en la flora fanerogámica de la Mixteca Alta, Oaxaca-Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, 27, 53-73.
- García-Sánchez, R., Camargo-Ricalde, S. L., García-Moya, E., Luna-Cavazos, M., Romero-Manzanares, A., y Montaña, N. M. (2012). *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae), jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 87-103.
- Godínez-Álvarez, H., Valiente-Banuet, T., Ortega-Baes, P. (2003). Demographic Trends in the Cactaceae. *The Botanical Review*. 69, 173-203.
- Gómez-Hinostrosa, C., y Hernández, H. M. (2000). Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 9(3), 403-418.

- González-Durán, A., Riojas-López, M. E. y Arreola-Nava, H.J. (2001). El género *Opuntia* en Jalisco. Guía de campo. Universidad de Guadalajara-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco, México. 135 p.
- González, M.F., (2012). Las Zonas Áridas y Semiáridas de México y su Vegetación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México DF. 194 p.
- González-Medrano, F., y Chiang, F. (1988). Diversidad Florística y Fitogeográfica de las Zonas Áridas del Centro y Sur de México. Resumen de ponencias. Simposio sobre diversidad biológica de México, Oaxtepec. pp. 34-36.
- González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., y Uvalle-Sauceda, J. I. (2010). Composición y estructura de la vegetación en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, (29), 91-106.
- Graciano-Ávila, G., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, O. A., González-Tagle, M. A., Rubio-Camacho, E. A., y Mata Balderas, J. M. (2018). Caracterización y estructura florística de un grupo funcional vegetal del matorral espinoso tamaulipeco. *Gayana Botánica*, 75(1), 512-523.
- Granados, S. D. (1999). Los Agaves en México. 1ª reimpresión. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, estado de México. 252 p.
- Guízar Nolasco, E., Mota Cruz, C., y Ortega Paczka, R. (2005). Vegetación y plantas útiles en la subregión Filo de Tierra Colorada, Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán, México. *Revista de Geografía Agrícola*, (35), 67-90.
- Halffer, G. y Ezcurra, E. (1992). La Diversidad Biológica de Iberoamérica I. Ed. Instituto de Ecología. Veracruz, México, 389 p.
- Halffer, G., Moreno, C. y Pineda, E. (2001). Manual Para la Evaluación de la Biodiversidad en Reservas de la Biosfera. Manuales y Tesis SEA. Vol. 2 (2001), 80.
- Hernández, H. M., y Gómez-Hinostrosa, C. (2011). Mapping the cacti of Mexico. Their geographical distribution based on referenced records. *Succulent Plant Research*, Volume Seven. dh books, Milborne Port, England. ISBN 978-0-9538134-8-3. 128 p.
- Hill, M. O., y Gauch, H. G. (1980). Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. In *Classification and ordination*. Springer, Dordrecht. pp. 47-58.
- Holland, P. G., y Steyn, D. G. (1975). Vegetational Responses to Latitudinal Variations in Slope Angle and Aspect. *Journal of Biogeography*, 179-183.
- Huerta-Martínez, F. M., y García-Moya, E. (2004). Diversidad de Especies Perennes y su Relación con el Ambiente en un Área Semiárida del Centro de México: Implicaciones Para su Conservación. *Interciencia* 29, 435-441.
- Huerta-Martínez, F. M., Vázquez-García, J. A., García-Moya, E., López-Mata, L., y Vaquera-Huerta, H. (2004). Vegetation Ordination at the Southern Chihuahuan Desert (San Luis Potosí, Mexico). *Plant Ecology*, 174(1), 79-87.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000). Carta de uso actual del suelo y vegetación. Serie III, Escala 1:250,000. México. [En línea]. <https://docplayer.es/11686796->

- Instituto-nacional-de-estadistica-y-geografia.html. [Acceso: 15 agosto 2018]. Aguascalientes. Aguascalientes, México.
- Lesica, P., McCune, B., Cooper, S. y Hong, W. (1991). Differences in lichen and bryophyte communities between old-growth and managed second-growth forests in the Swan Valley, Montana. *Canadian Journal of Botany*, 69, 1745-1755.
- López, M. J. (2008). Estudio etnobotánico en el municipio de Santo Domingo Yodohino, distrito de Huajuapán de León, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp. 220.
- López, B. R., Bashan, Y., Bacilio, M., y De la Cruz-Agüero, G. (2009). Rock-colonizing Plants: Abundance of the Endemic Cactus *Mammillaria fraileana* related to Rock Type in the Southern Sonoran Desert. *Plant Ecology*, 201, 575-588.
- López-Galindo, F., Muñoz-Iniestra, D., Hernández-Moreno, M., Soler-Aburto, A., Castillo-López, M. C., y Hernández-Arzate, I. (2003). Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56(1), 19-41.
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E., y Cano-Santana, Z. (2012). Efecto de la Orientación de la Ladera Sobre la Estructura Poblacional y Ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (Cactaceae). *Botanical Sciences*, 90(4), 453-457.
- Lot, A. y Chiang, F. (1986). Manual de Herbario. Administración y Manejo de Colecciones, Técnicas de Recolección y Preparación de Ejemplares Botánicos. Consejo Nacional de la Flora de México, México D.F.
- Martínez-Avalos, J. G., y Jurado, E. (2005). Geographic distribution and conservation of Cactaceae from Tamaulipas Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 14(10), 2483-2506.
- Martínez-Cortés, M., Manzanero-Medina, G. I., y Lustre-Sánchez, H. (2017). Las plantas suculentas útiles de Santo Domingo Tonalá, Huajuapán, Oaxaca, México. *Polibotánica*, (43), 321-348.
- Martorell, C., y Ezcurra, E. (2002). Rosette scrub occurrence and fog availability in arid mountains of Mexico. *Journal of Vegetation Science*, 13(5), 651-662.
- Mata-Balderas, J. M., Treviño Garza, E. J., Jiménez Pérez, J., Aguirre Calderón, O. A., Alanís Rodríguez, E., y Mora Olivo, A. (2015). Estructura y composición florística del matorral desértico rosófilo del noreste de México. *Ciencia UANL*, 18(75), 67-74.
- Mata-González, R., Pieper, R. D., y Cárdenas, M. M. (2002). Vegetation Patterns as Affected by Aspect and Elevation in Small Desert Mountains. *The Southwestern Naturalist*, (47), 440-448.
- Matteuci, S.D., y Colma, Y. A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Organización de Estados Americanos. Serie de biología. Monografía n. 2, 162 p.
- Mazzola, M. B., Kin, A. G., Morici, E. F., Babinec, F. J., y Tamborini, G. (2008). Efecto del Gradiente Altitudinal Sobre la Vegetación de las Sierras de Lihue Calel (La Pampa, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 43(1-2), 103-119.

- McCune, B. y Mefford, M. J. (2011). PC-ORD v. 6. Multivariate Analysis of Ecological Data. MjM Software Design, Glenden Beach, Oregon.
- McCune, B., Grace, J.B. (2002). Analysis of Ecological Communities. Glenden Beach, Oregon, USA. : MjM Software Design.
- Medina-Guillén, R., Cantú-Silva, I., Estrada-Castillón, E., González-Rodríguez, H., y Delgadillo-Villalobos, J. A. (2017). Estructura y diversidad del matorral desértico rosetófilo rehabilitado con rodillo aireador, Coahuila, México. *Polibotánica*, (44), 95-107.
- Mendoza, A. J. G., y Meave, J. A. (2011). Diversidad Florística de Oaxaca: de musgos a angiospermas, colecciones y lista de especies. Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF. 352 p.
- Mielke, P. W. (1991). The application of multivariate permutation methods based on distance functions in the earth sciences. *Earth-Science Reviews*, 31(1), 55-71.
- Mielke, P.W. y Berry, K.J. (1976): Multi-response permutation procedures for a priori classifications. *Communications in Statistics-Theory Methods*, 5(14), 1409 – 1424.
- Miguel-Talonia, C., Téllez-Valdés, O., y Murguía-Romero, M. (2014). Las Cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: estimación de la calidad del muestreo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(2), 436-444.
- Milchunas, D. G., y Noy-Meir, I. (2002). Grazing Refuges, External Avoidance of Herbivory and Plant Diversity. *Oikos*, (99), 113-130.
- Miranda, F. y Hernández, X. (2013). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Edición conmemorativa 1963-2013. Sociedad Botánica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo de la Cultura Económica. 217 p.
- Mondragón, C. D., Morillo, I. M. R., Cruz, M. F., y García-Franco, J. G. (2011). La Familia Bromeliaceae en México. SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, SINAREFI, Sistema Nacional de Recursos Filogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. 98 p.
- Montaño-Arias, N. M., García-Sánchez, R., Ochoa-de la Rosa, G., y Monroy-Ata, A. (2006). Relación entre la vegetación arbustiva, el mezquite y el suelo de un ecosistema semiárido en México. *Terra latinoamericana*, 24(2), 193-205.
- Nobel, P. S., Miller P. M., y Graham, E. A. (1992). Influence of Rocks on Soil Temperature, Soil Water Potential, and Rooting Patterns for Desert Succulents. *Oecologia* 92, 90-96.
- NOM. (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-REC-NAT-2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Norlex internacional, Edición electrónica de leyes, México.
- Niering, W. A., Whittaker, R. H., y Lowe, C. H. (1963). The saguaro: a population in relation to environment. *Science* 142(3588), 15-23.

- Nyssen, J., Haile, M., Poesen, J., Deckers, J., y Moeyersons, J. (2001). Removal of rock fragments and its effect on soil loss and crop yield, Tigray, Ethiopia. *Soil Use and Management*, 17(3), 179-187.
- Palma, F. D. J. (1991). El Género *Agave* L. y su Distribución en el estado de Oaxaca. (Doctoral dissertation, Tesis en Biología). Universidad Autónoma de México. ENEP Iztacala. México, DF. 161 p.
- Paredes-Flores, M., Lira Saade, R., y Dávila Aranda, P. D. (2007). Estudio etnobotánico de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Acta Botánica Mexicana*, (79), 13-61.
- Parker, K. C. (1991). Topography, Substrate, and Vegetation Patterns in the Northern Sonoran Desert. *Journal of Biogeography*, 18, 151-163.
- Peck, M. F. (2010). *Multivariate analysis for community ecologists: Step by step using PC-ORD*. Glenden Beach, Oregon, USA: MjM Software Design.
- Pérez-García, E. A., Meave, J., y Gallardo, C. (2001). Vegetación y flora de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Acta Botánica Mexicana*, (56), 19-88.
- Peters, E. M., Martorell, C., y Ezcurra, E. (2008). Nurse Rocks are More Important Than Nurse Plants in Determining the Distribution and Establishment of Globose Cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 72, 593-601.
- Pirela, M. (2006). Análisis Funcional de la Comunidad de Plantas en tres unidades geomorfológicas del Páramo de Mucubají. Trabajo especial de grado. Universidad de los Andes. Venezuela, Mérida.
- Porta, J., López-Acevedo, M., y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 849.
- Rankin, M. O., Semple, W. S., Murphy, B. W., and Koen, T. B. (2007). Is there a close association between soils and vegetation? A case study from central western New South Wales. *Cunninghamia*, 10(2), 199-214.
- Reyes-Agüero, J.A., Aguirre, R. J. R., y Carlín, C. F. (2004). Análisis Preliminar de la Variación Morfológica de 38 Variantes Mexicanas de *Opuntia-ficus-indica* (L.) Miller. El Nopal, Tópicos de actualidad, Esparza, G., R. Valdez, y Méndez, J. G. (eds.) Universidad Autónoma Chapingo y Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 21-47.
- Reyes Olivas, A., García Moya, E., Terrazas Salgado, T., López Mata, L., Vaquera Huerta, H., y Valiente Banuet, A. (2002). Patrones Espaciales de Cactáceas en el Desierto Costero de Topolobampo. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Recursos Naturales.
- Reyes, J. (1993). Estudio florístico y fitogeográfico en el municipio de San Juan Mixtepec, distrito de Juxtlahuaca, Oaxaca. Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, Distrito Federal.
- Reyes, S. (2009). *Manual Práctico de Conservación y Restauración de Cactáceas y otras Plantas Suculentas*. Comisión Nacional Forestal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 108 p.

- Romero, A., Luna, M. y García, E. (2014). Factores físicos que influyen en las relaciones florísticas de los piñonares (Pinaceae) de San Luis Potosí, México. *Revista de Biología Tropical* 62(2), 795-808.
- Rzedowski, J., (1978). *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México, DF, México.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Primera edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D. F. 504 p.
- Rzedowski, J., y Calderón, G. (1987). El bosque tropical caducifolio de la región mexicana del Bajío. *TRACE* 12, 12-21.
- Sánchez-González, A., y López-Mata, L. (2003). Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 74(1), 47-71.
- Sánchez, H., Guadalupe, J., Espinosa, T., González, B., y Miguel, A. (2010). La Sociedad de Cactáceas y Suculentas de Nuevo León, AC. *Ciencia UANL*, 13(3), 226-229.
- Sánchez-Soto, B. H., García-Moya, E., Reyes-Olivas, Á., Romero-Manzanares, A., y Luna-Cavazos, M. (2016). Factores topográficos y edáficos que influyen en la estructura de especies perennes de islas de la costa de Sinaloa, México. *Botanical Sciences*, 94(1), 63-73.
- Sánchez-Velásquez, L. R., y Pineda, M. (2000). *Ecología Cuantitativa en Plantas*. Universidad de Guadalajara. 142 p.
- Santibáñez-Andrade, G., Castillo-Argüero, S., Zavala-Hurtado, J. A., Martínez Orea, Y., y Hernández Apolinar, M. (2009). La heterogeneidad ambiental en un matorral xerófilo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (85), 71-79.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1999). Programa de Manejo Monumento Natural Yagul (2013). Primera Edición. Tlacolula de Matamoros, Oaxaca, México. 142 p.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (1999). Documento Técnico Justificativo Para la Creación de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Hidalgo). SEMARNAP. México.
- Solano, H. L. (2009). Importancia ecológica y cultural de los recursos vegetales de Asunción Cuyotepeji, Oaxaca, México. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Oaxaca. México. pp. 156.
- Smith, C. (1965). Agriculture Tehuacan Valley. *Fieldiana Botany*. 31:50-100.
- Smith, J. M. B. (1977). Vegetation and microclimate of east and west-facing slopes in the grasslands of Mt Wilhelm, Papua New Guinea. *Journal of Ecology*, 65(1), 39-53.
- Smith, L. B., y Downs, R. T. (1977). Tillandsioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropical Monograph*, Vol. 14, n. 2, pp. 666-1069.
- Sternberg, M., y Shoshany, M. (2001). Influence of slope aspect on Mediterranean woody formations: comparison of a semiarid and an arid site in Israel. *Ecological Research*, 16, 335-345.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.

- Toledo, A. A. A., Valdés, M. T. V., y Santiago, J. R. (2001). Las Plantas de la Región de Zapotitlán Salinas, Puebla. Instituto Nacional de Ecología. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 80 p.
- Torres, I. (2009). Dinámica poblacional de dos morfos de *Agave potatorum* Zucc. en el Valle de Tehuacán: bases para su manejo sustentable. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Torres, E., Schwarzkopf, T., Fariñas, M., y Aranguren, A. (2012). ¿Es la orientación de la pendiente un factor modificador de la estructura florística en la alta montaña tropical andina?. *Ecotrópicos*, 25, 61-74.
- Torres, W., Méndez, M., Dorantes, A. y Durán, R. (2010). Estructura, Composición y Diversidad del Matorral de Duna Costera en el Litoral Yucateco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (86), 37-51.
- Tovar-Romero, H. A. (2005). Morfología y distribución de las cactáceas en el paisaje complejo de Nizanda (Oaxaca). Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF, México.
- Tropicos, Botanical information system at the Missouri Botanical Garden. Sitio web. <http://www.tropicos.org> [Acceso: diciembre 2017 agosto 2018].
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., del Coro Arizmendi, M., y Ramírez, J. O. (2000). The Vegetation of the Valley of Tehuacan-Cuicatlán. *Botanical Sciences*, (67), 25-74.
- Valverde-Padilla, P. L. (2002). Cambios en la Abundancia, Dominancia y Diversidad de Formas de Vida Vegetales entre Laderas Norte y Sur en el Valle Semiárido de Zapotitlán, Puebla. *ContactoS*, (45), 45-50.
- Vásquez, G. (2006). Aprovechamiento integral del maguey pulquero (*Agave salmiana*) en Santa María Tlahuitoltepec Mixe Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
- Vázquez-Pérez, N. (2015). Variación morfológica y genética de *Agave karwinskii* (Agavaceae) en los estados de Oaxaca y Puebla. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 81 p.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the Native Vascular Plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(3), 559-902.
- Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, vol. 37, 1, 29-38.
- Whittaker, R.H. (1960). Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecology Monographs*. 30, 279-338.
- Woodhouse, R. M., Williams, J. G., y Nobel, P. S. (1980). Leaf Orientation, Radiation Interception and Nocturnal Acidity Increases by the CAM plant *Agave deserti* (Agavaceae). *American Journal of Botany*, 61(8), 1179-1185.



- Zegbe, J. A., y Mena-Covarrubias, J. (2010). Postharvest Changes in Weight Loss and Quality of Cactus Pear Fruit Undergoing Reproductive Bud Thinning. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 12, 1-11.
- Zimmerman, G.M., Goetz, H. y Mielke, P.W. (1985): Use of an improved statistical method for group comparisons to study effects of prairie fire. *Ecology*, 66, 606 – 611.

## ANEXOS

a) Listado de especies, géneros y familias registradas en Yagul

Nombre científico	Nombre común
<b>ASPARAGACEAE</b> (Agavaceae)	
<i>Agave angustifolia</i> Haw.	Magüey Espadín
<i>Agave convallis</i> Trel.	Magüey Jabalí
<i>Agave karwinskii</i> Zucc.	Magüey Madrecuishe
<i>Agave marmorata</i> Roez. l.	Magüey Tepeztate
<i>Agave potatorum</i> Zucc.	Magüey Tobilá
<i>Yucca periculosa</i> Baker	Izote
<b>BROMELIACEAE</b>	
<i>Hechtia pringlei</i> B.L. Rob. & Greenm.	Lechugilla
<i>Hechtia</i> sp.	Guapilla
<i>Tillandsia achyrostachys</i> E. Morren ex Baker*	Magüeyito
<i>Tillandsia dasyliirifolia</i> Baker	Bromelia
<i>Tillandsia fasciculata</i> Sw.	Magüeyito
<i>Tillandsia ionantha</i> Planch.*	Gallinita
<b>CACTACEAE</b>	
<i>Coryphantha retusa</i> (Pfeiff.) Britton & Rose	Biznaga partida mocha
<i>Ferocactus latispinus</i> (Haw.) Britton & Rose	Biznaga
<i>Mammillaria karwinskiana</i> Mart.	Chilillo
<i>Myrtillocactus schenckii</i> (J.A. Purpus) Britton & Rose	Garambullo
<i>Neobuxbaumia</i> sp.	Viejito
<i>Opuntia pilifera</i> F.A.C. Weber	Nopal
<i>Opuntia pubescens</i> H.L. Wendl. ex Pfeiff.	Tibishio
<i>Opuntia velutina</i> F.A.C. Weber	Nopal
<i>Stenocereus marginatus</i> (DC.) A. Berger & Buxb.*	Órgano u organillo
<i>Stenocereus pruinosus</i> (Otto ex Pfeiff.) Buxb.	Pitayo
<i>Stenocereus stellatus</i> (Pfeiff.) Riccob.	Tunillo
<i>Stenocereus treleasei</i> (Vaupel) Backeb.	Tunillo
<b>CRASSULACEAE</b>	
<i>Sedum oaxacanum</i> Rose*	Floreçilla

\*Especies ubicadas fuera de las unidades de muestreo (UM)

b) Suculentas de Yagul

**ASPARAGACEAE (Agavaceae)**

*Agave angustifolia* Haw.



*Agave convallis* Trel.



*Agave karwinskii* Zucc.



*Agave marmorata* Roezl



*Agave potatorum* Zucc.



*Yucca periculosa* Baker



**BROMELIACEAE**

*Hechtia pringlei* B.L. Rob. & Greenm.



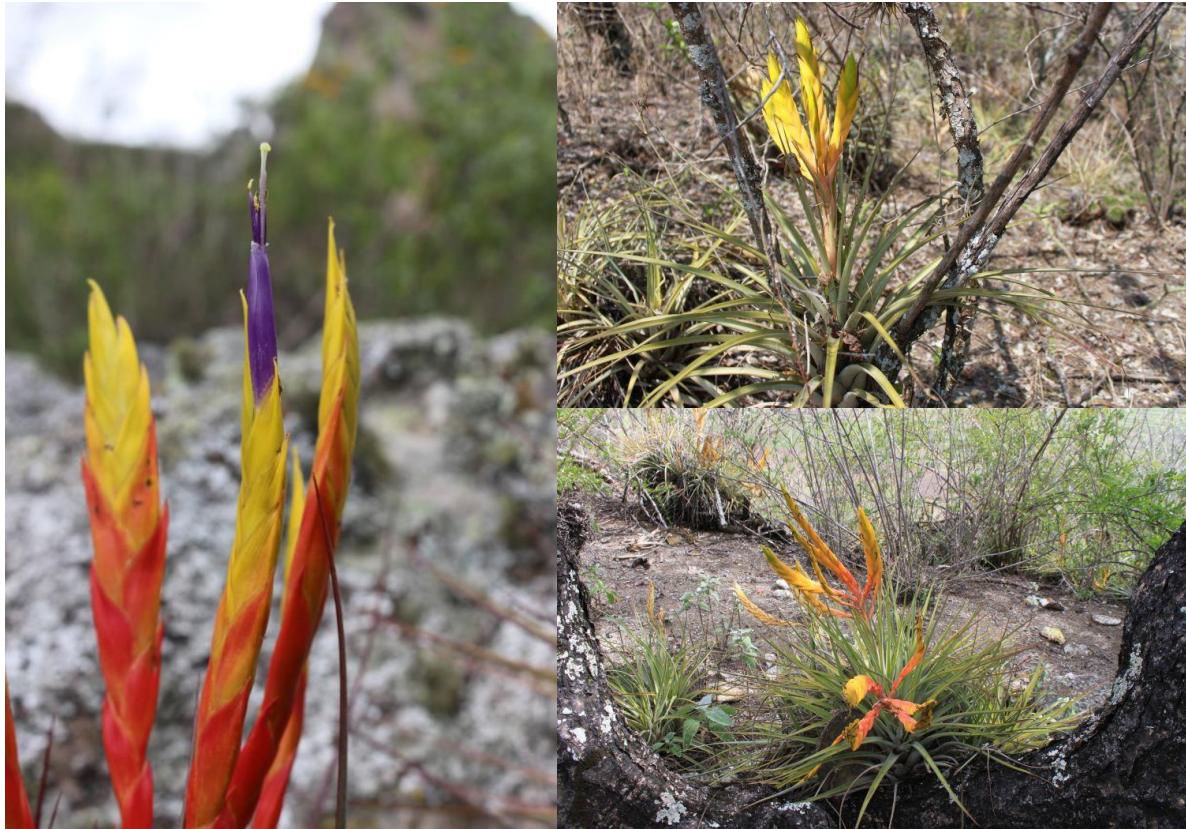
*Tillandsia achyrostachys* E. Morren ex Baker



*Tillandsia dasyliriifolia* Baker



*Tillandsia fasciculata* Sw.



*Tillandsia ionantha* Planch.



*Coryphantha retusa* (Pfeiff.) Britton & Rose



*Ferocactus latispinus* (Haw.) Britton & Rose



*Mammillaria karwinskiana* Mart.



*Mytillocactus schenckii* (J. A. Purpus) Britton & Rose





*Opuntia pilifera* F.A.C. Weber



*Opuntia pubescens* H.L. Wendl. ex Pfeiff.





*Opuntia velutina* F.A.C. Weber



*Stenocereus pruinosus* (Otto ex Pfeiff.) Buxb.



*Stenocereus marginatus* (DC.) A. Berger & Buxb.



*Stenocereus treleasei* (Vaupel) Backeb.



**CRASSULACEAE**

*Sedum axacanam*





Localidad: Yagul, Tlacolula, Oax. Fecha:  
División: Especie:

Sitio: Transecto:

Coordenadas:

Altitud:

Suelo:

Vegetación:

Especies asociadas:

Clima:

### Caracteres morfológicos

Hábito: terrestre ( ) epífita ( ) arbórea ( ) arbustiva ( ) herbácea ( ) erecta ( ) rastrera ( )  
trepadora ( ) colgante ( ) columnar ( ) simple ( ) ramificada ( ) globosa ( ) rosetófila ( )

Generalidades: olor ( ) látex ( ) exudados ( )

d) Coordenadas de un sitio de muestreo.

Coordenadas del sitio "Monumento Central Yagul"	
16°57'22" N	96°26'59" O
16°57'24" N	96°26'56" O
16°57'25" N	96°26'54" O
16°57'26" N	96°26'52" O
16°57'23" N	96°26'53" O
16°57'26" N	96°26'47" O
16°57'28" N	96°26'55" O
16°57'30" N	96°26'55" O
16°57'24" N	96°26'44" O
16°57'21" N	96°26'50" O
16°57'22" N	96°26'49" O
16°57'22" N	96°26'44" O
16°57'31" N	96°26'53" O
16°57'25" N	96°27'02" O
16°57'23" N	96°27'01" O
16°57'22" N	96°26'50" O
16°57'22" N	96°26'48" O
16°57'22" N	96°26'54" O