



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**Caracterización edáfica y establecimiento de  
tres especies del género *Milla* Cav.  
(Themidaceae) en la cuenca del Río Balsas**

**T É S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**BIÓLOGA**

PRESENTA

Morales Sánchez Ma. Itzel Estefanía

DIRECTOR

M. en C. Jorge Alberto Gutiérrez Gallegos

Línea de investigación en Edafología y Fisiología de la  
Nutrición Vegetal.



México D.F. 2013



# Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a Dios y a mis padres **Lucia y Mario**, así como a mis **Abuelitos** por amarme y haberme criado con tanto amor, con su ayuda, apoyo y comprensión me alientan a lograr cada una de mis metas. **Los Amo!!**

A mis **tíos** (mis segundos **Padres**) por todo su apoyo y cariño, porque nunca me han dejaron sola, demostrándome día a día el gran valor que tiene la familia.

A mis hermanos **Malinaly, Alberto y Lily** por enseñarme que las diferencias entre las personas, enriquecen y nos impulsa a ser mejor.

A mi honorable **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme todo lo necesario para mi desarrollo profesional.

A la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza**, por ser mi segunda casa, por regalarme los mejores momentos de mi vida y el orgullo de ser **Bióloga**.

A mi Director de tesis **M. en C. Jorge Alberto Gutiérrez Gallegos** por confiar en mí, por todo su apoyo, comprensión y paciencia en momentos difíciles. Dándome consejos guiándome con sus conocimientos para la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales **Biól. Elvia García Santos y M. en C. Sonia Rojas Chávez** por los consejos brindados para mejora de la tesis; Al **M. en C. Ramiro Ríos Gómez** por las enseñanzas en campo y por su valiosas sugerencias a esta





*investigación. De igual manera al Dr. Gerardo Cruz Flores por darme la oportunidad y la facilidad de trabajar en el Laboratorio de nutrición vegetal, aportando sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo, por su sencillez y calidad humana.*

*A mis Amig@s: Mariana Ladrón de Guevara, Manuel Padilla, Gabriela Soriano, Karla Galicia, Elizabeth Zavala, Reinaldo Tiburcio, Yolanda García, Eliceo Quitzehuatl, Majib Vázquez, Víctor Manuel Macedonio, Marco Saavedra, Juan Montes de Oca, Daniel Romero, Moisés López, Edgardo Germán, Diana Jiménez, Tania Gonzales, Alejandro Rodríguez, por todos los momentos inolvidables, los retos que superamos y las alegrías que compartimos, le doy Gracias a Dios por darme la dicha de conocer personitas tan maravillosa, que durante todo este recorrido me demostraron y enseñaron que la amistad es uno de los valores más importantes e inigualables de la vida.*

*Y en especial a ti **nena** por estar en los momentos más difíciles de este recorrido, por prestarme tu hombro cuando más lo necesite, por a ver callado para así escucharme, las palabras de aliento, risa, enojos y felicidad. Por esto y muchas cosas más... espero que al final del recorrido encontremos lo que soñamos. J.G.M.*





# *Dedicatorias*

*A mi mejor amiga:*

*Por ser una mujer única y especial, porque no le importa si soy la mejor o la peor hija, por apoyarme en todas mis decisiones, por aquellas palabras de aliento que siempre me das, por enseñarme a madurar y demostrarme que no importa el tiempo, ni la edad para ser lo que uno quiere ser.*

*Gracias mummy por ser mi mejor ejemplo.*

*Amor de mi vida, Espero que hoy aprendas a cumplir todas tus metas, a que no importa que tan duro sea el camino o que tan sucio este, lo que te debe importar es como llegar a la meta y sentir la gran satisfacción de lograrlo. Pero nada se compara con la satisfacción que me da el tenerte a mi lado, eres el motor y mi razón de ser.*

*Te amo Gabriel.*



## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Características morfológicas de tres especies del género <i>Milla</i>	5
1.1.1 Descripción de <i>Milla filifolia</i> T.M. Howard	5
1.1.2 Descripción de <i>Milla magnifica</i> H.E. Moore	6
1.1.3 Descripción de <i>Milla mexicana</i> T.M. Howard	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Endemismo	9
2.2 Endemismo edáfico	9
2.3 Suelos ultramáficos y serpentinos	10
2.4 Rareza biológica	11
3. ANTECEDENTES	12
3.1 Endemismo de plantas vasculares en México	14
4. JUSTIFICACIÓN	16



5. HIPÓTESIS	17
6. OBJETIVOS	17
6.1 General	17
6.2 Particulares	17
7. MATERIAL Y MÉTODOS	18
7.1 Revisión de literatura	18
7.2 Revisión de herbario y bases de datos	18
7.3 Recolecta de semillas y muestreo de suelo	19
7.4 Análisis de suelo	20
7.5 Porcentaje de germinación	21
7.6 Establecimiento de plántulas de tres especies del género <i>Milla</i>	22
7.7 Análisis estadístico	24
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
8.1 Zona de estudio	24
8.2 Descripción de la cobertura vegetal	25
8.3 Descripción de perfiles de suelo	26

8.4 Propiedades físicas del suelo	37
8.5 Propiedades químicas del suelo	39
8.6 Germinación	43
8.7 Establecimiento	44
8.8 Desarrollo vegetativo: largo de hoja, diámetro y longitud del cormo y longitud de raíz	48
8.9 Análisis de Componentes Principales	55
8.9.1 <i>Milla filifolia</i>	55
8.9.2 <i>Milla magnifica</i>	56
8.9.3 <i>Milla mexicana</i>	57
9. CONCLUSIONES	59
10. LITERATURA CITADA	60
11. ANEXOS	



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1.	Técnicas utilizadas en el análisis físico y químico de los suelo.	22
2.	Diseño experimental que muestra el número de tratamientos para la germinación y establecimiento de tres especies del género <i>Milla</i> .	23
3.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece <i>Milla filifolia</i> en la presa el Abrevadero, Tenango, Edo. de Morelos.	27
4.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece <i>Milla filifolia</i> en la zona arqueológica de Chalcatzingo, Jonacatepec, Edo. de Morelos.	28
5.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece <i>Milla magnifica</i> en los Sabinos, Teloloapan, Edo. Guerrero.	30
6.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece <i>Milla magnifica</i> en el km 110, carretera Taxco-Iguala, Iguala, Edo. de Guerrero.	31
7.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece <i>Milla mexicana</i> en San Agustín, Tepexco, Edo. de Puebla.	33
8.	Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo	34

donde crece *Milla mexicana* en Huehuetlán el Chico, Chiautla de Tapia, Edo. de Puebla.

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| 9.  | Promedios generales de las propiedades físicas del suelo donde se desarrollan las especies del género <i>Milla</i> . | 39 |
| 10. | Promedios generales de propiedades químicas del suelo.   | 40 |
| 11. | Resultados de los cuatro componentes principales para <i>Milla filifolia</i> .                                       | 55 |
| 12. | Resultados de los cuatro componentes principales para <i>Milla magnifica</i> .                                       | 56 |
| 13. | Resultados de los cuatro componentes principales para <i>Milla mexicana</i> .  | 57 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	<i>Milla filifolia</i> T.M. Howard.	6
2.	<i>Milla magnifica</i> H.E. Moore.	7
3.	<i>Milla mexicana</i> T.M. Howard.	8
4.	Semillas de <i>Milla filifolia</i> , <i>M. magnifica</i> y <i>M. mexicana</i> .	19
5.	Apertura de perfil de suelo y caracterización edáfica de <i>Milla mexicana</i> .	20
6.	Análisis físico del suelo.	21
7.	Germinación de semillas en caja Petri.	21
8.	Localización de la zona de estudio.	25
9.	Zonas donde se desarrollan las especies de <i>Milla</i> .	26
10.	Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla <i>Milla filifolia</i> .	29
11.	Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla <i>Milla magnifica</i> .	32
12.	Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla <i>Milla mexicana</i> .	35
13.	Caracterización de <i>Milla</i> en campo.	36
14.	Germinación de semilla del género <i>Milla</i> .	43
15.	Curva de germinación del género <i>Milla</i> .	44
16.	Establecimiento de <i>Milla filifolia</i> .	45

17.	Establecimiento de <i>Milla magnifica</i> .	46
18.	Establecimiento de <i>Milla mexicana</i> .	47
19.	Porcentaje de supervivencia.	48
20.	Variación del desarrollo vegetativo del largo de la hoja.	50
21.	Variación del desarrollo vegetativo del diámetro y longitud de cormo.	52
22.	Variación del desarrollo vegetativo de largo de la raíz para las tres especies de <i>Milla</i> .	54

## RESUMEN

Las especies del género *Milla* son en su mayoría endémicas de México, se pueden encontrar en la mayor parte de la República Mexicana con excepción de la Península de Yucatán. Sin embargo, la distribución de algunas de sus especies es muy localizada. Conocer el tipo de suelo, requerimientos nutrimentales de las especies de *Milla* para su desarrollo, capacidad germinativa de sus semillas y establecimiento de plántulas en otros tipos edáficos diferentes a donde naturalmente se desarrollan, permitirá entender si las propiedades físicas y químicas del suelo son el factor que limita su distribución y son una causa de endemismo. Se recolectaron semillas de tres especies del género *Milla*, también se hizo un levantamiento edafológico con la apertura de un perfil de suelo por cada localidad. Se analizaron las propiedades físicas y químicas de cada uno de los sitios estudiados. Con la finalidad de evaluar su establecimiento, se colocaron en charolas de plástico de 15 x 15 cm 25 plántulas de cada una de las tres especies del género. Cada especie tuvo una unidad experimental testigo con el tipo de suelo en donde se desarrolla de forma natural. Las otras unidades se establecieron intercambiando el tipo de suelo y las semillas de las diferentes especies. Una vez establecidas las plántulas, se midieron estructuras vegetativas: diámetro y largo del tallo, longitud y número de raíces. Los resultados finales se sometieron a un análisis de varianza (GLM) con variables transformadas en log base 10, seguido de un análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ). El porcentaje germinativo para *Milla filifolia* fue de 96%, *M. magnifica* el 89% y *M. mexicana* un 91%. El establecimiento fue satisfactorio en todas las localidades excepto para la especie de *M. magnifica* en la localidad de Huehuetlán donde no se obtuvo establecimiento. Las tres especies del género *Milla* se distribuyen en



leptosoles, se encontró que *Milla filifolia* y *M. mexicana* crecen en suelos con características físicas y químicas semejantes en comparación con aquellas donde habita *M. magnifica*, caracterizadas por altos contenidos de Ca. Con base en los resultados, el suelo no es un factor que determine la distribución de la especie y posiblemente la distribución se debe a la interacción con polinizadores, dispersores o factores históricos.

## 1. INTRODUCCION

El género *Milla* Cav. fue propuesto por Cavanilles en 1793 y pertenece a la familia Themidaceae (Fay y Chase, 1996). *Milla Bessera*, *Dandya*, *Jaimehintonia* y *Petronymphe* conforman el clado *Milla* (Pires y Sytsma, 2002). Las especies del género *Milla* son plantas geófitas con presencia de cormo y rizomas, cubierto por hojas catáfilas membranosas; raíces fibrosas, contráctiles, algunas veces engrosadas; hojas basales 2 - 7, lineares, plano-convexas o fistulosas, lisas, rugosas o finamente denticuladas sobre las nervaduras; inflorescencia sostenida por un escapo, flores dispuestas en umbelas, con 4 brácteas cartáceas, deltoides, margen hialino que no encierran a las flores; flores en número 2-30, erectas, hipocraterimorfos, blancas, rosadas y azules, pedicelos con articulación presente o ausente, tubo del perianto con una longitud a la mitad o hasta seis veces más que el largo de los segmentos de la flor; estambres 6, anteras linear-oblongas o deltoides, basifijas a subbasifijas, introrsas; ovario súpero, trilocular, sostenido por un ginóforo, adnado al tubo del perianto, estilo frecuentemente exserto, estigma trilobado; fruto una cápsula loculicida; semillas numerosas, planas, irregulares y angulosas, negras, brillantes u opacas con presencia de fitomelano, finamente rugosas o granulosas (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Actualmente se reconocen diez especies del género *Milla* (Howard, 1999; Moore, 1953; Ravenna 1971). Con distribución principalmente en México, excepto *Milla biflora* que se encuentra desde el sur de Estados Unidos de América hasta Guatemala (Galván, 2001; Moore, 1953). Las nueve especies restantes tienen distribución restringida a México, y forman dos grupos. El primero se concentra en el Altiplano Mexicano y lo



conforman las especies *Milla bryanii*, *M. potosina* y *M. rosea*; el segundo, esta conformado por *Milla delicata*, *M. filifolia*, *M. magnifica*, *M. mexicana*, *M. mortoniana* y *M. oaxacana*, quienes se distribuyen en la cuenca del Río Balsas y los valles centrales de Oaxaca (Moore 1953; Howard, 1999).

Al hacer una revisión en los herbarios (CHAPA, ENCB, MEXU y UAMIZ) y en la base de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) se observó que la mayoría de las especies del género *Milla* tienen una distribución restringida. Además, sus poblaciones son discontinuas, situación que permite suponer la influencia de factores corológicos como los responsables que determinar la distribución de dichas especies en el pasado reciente.

Es frecuente encontrar en la literatura estudios sobre las interacciones suelo-planta, que demuestran las adaptaciones de los vegetales a condiciones edáficas y microclimáticas que determinan la distribución de algunas plantas (Thuresson, 1922; Montognes y Vitt 1991; Sulton y Bazzaz, 1993; Vinton y Burke, 1995; Nobel, 1998; Escamilla, 2005; Martínez-Nava, 2009). Otros estudios mencionan que el suelo es un factor determinante en la especiación y distribución de especies vegetales (Johnson, 1941; Rzedowski, 1991b; Villarreal *et al.*, 1996; Villareal y Encina, 2005). Existen diversas especies que se restringen a tipos edáficos con altas concentraciones de carbonatos, sodio y sulfatos. Sin embargo, son escasos los estudios experimentales que ayuden a entender la distribución de especies con límites geográficos restringidos (Raven, 1964; Baskin y Baskin, 1988; Rajakaruna y Bohm, 1999; Rajakaruna, 2004; Harrison *et al.*, 2009). Es por ello que en este estudio se analizan las características

edáficas donde se distribuyen las especies del género *Milla*, su respuesta germinativa y establecimiento en las diferentes localidades, lo anterior podría ayudar a comprender la distribución de las especies en el tiempo reciente y explicar su ecobiogeografía.

Las especies del género *Milla* merecen atención especial por ser endémicas de México, son plantas con potencial ornamental (Hannon, 1993) y se les atribuyen propiedades medicinales como afecciones respiratorias (Martínez, 1944). El conocer su capacidad germinativa, desarrollo y establecimiento en las diferentes localidades, ayudará a entender algunas adaptaciones estructurales y fisiológicas que estas han desarrollado en su ambiente. Además, contribuirá a generar conocimiento para posteriores estrategias de conservación y aprovechamiento de forma sostenida.

## **1.1 Características morfológicas de tres especies del género *Milla*.**

### **1.1.1 Descripción de *Milla filifolia* T.M. Howard**

Cormo solitario, 1-1.5 cm diámetro, por 1 cm alto, catáfilas de color pardo; hojas basales 4-6, 20-26 cm largo, 1 mm ancho, filiformes, minutamente canaladas adaxialmente, convexas abaxialmente, laxas, extensas, verde claras; escapo 10-23 cm alto, 1-1.5 mm diámetro, púrpura en la base; brácteas 67-69 mm largo. Umbela 1-6 flores; pedicelos 10-30 mm largo, desiguales; articulaciones no siempre diferenciadas. Flores blancas con líneas verdes, a veces con tintes púrpuras abaxialmente, fragantes, apertura al mediodía permaneciendo abierta durante varios días y noches; tubo del periantio de 4-7 cm largo, con tres cavidades nectaríferas entre el ginóforo y el tubo hasta la base, 2 mm ancho, garganta de 3 mm ancho más o menos constreñida,

segmentos de 1.5-2.5 cm largo, tépalos externos elípticos, 6 mm de ancho, los internos 8 mm ancho, blancos sobre la superficie superior, con 3 nervios en el envés; filamentos sublobulados, blancos, lisos, más corto que las anteras, 1 mm largo, anteras 2-6 mm largo, polen amarillo, ovario de 5-8 mm largo, sostenido por un ginóforo, 5.5-12 mm largo, estilo más largo que las anteras, capitado. Cápsula elipsoide, 13 mm largo, 8 mm diámetro; semillas numerosas, negras mate, apretadamente granuladas.  $2n = 18$  (Howard, 1999).



Figura 1. *Milla filifolia* T.M. Howard.

### 1.1.2 Descripción de *Milla magnifica* H.E. Moore

Cormo de 3.5 cm diámetro, 2.8 cm alto; 1-3 hojas, erectas, postrada en la antesis, sólidas y canaladas adaxialmente. En la base, subteretes o teretes y fistulosas hasta 150 cm largo; escapo hueco por encima de la base a 110 cm alto, 11 mm diámetro en la base, 5 mm de diámetro en umbela; brácteas de 10-15 mm largo, deltoides, agudas, marchitas en la antesis; umbela 15 a 30 flores, pedicelos desiguales, 1-5 cm largo; tubo periantico 13-15 cm largo, 4 mm de ancho en la base, 6-7 mm ancho, ligeramente ventrículo en la garganta, blanco con 6 rayas verdes, segmentos con 3-ranuras en la superficie interior indistintamente con nervaduras, franja verde en la parte exterior, claramente 5-nervadas,

tépalos externos 8-10 mm ancho, márgenes enteros, internos 10-13 mm ancho, emarginado en el ápice; estambres con filamentos subalados, proyectados hacia afuera, de 4 mm de largo, blanco, anteras 3 mm de largo, azuladas y dehiscentes, polen blanco, ovario 10-15 mm de largo, ginóforo 11.5 cm largo, estilo 1.5 cm largo, apenas superior a las anteras, estigmas papilados, suave en el centro: cápsula elipsoide, 4.2 cm alto, 11 mm diámetro; semillas color negro, brillante, finamente granuladas (Moore, 1953).



Figura 2. *Milla magnifica* H. E. Moor

### **1.1.3 Descripción de *Milla mexicana* T.M. Howard.**

Cormo solitario, o formando grupos, 2-2.5 cm diámetro, 1.5-2 cm alto, rizomas basales formados de yemas laterales con un cuello 2.4 cm alto, túnicas color pardo, membranosas, en el exterior diminutas fibras paralelas. Rizomas sólidos, articulados, a veces ramificados, 4-20 cm largo, con vainas de 5-6 mm largo, que terminan en un cormo latente. Hojas 3-4 (7), 2-4 mm diámetro, 50 cm largo, erectas, scabridusculas, con diminutos nervios crenulados, teretes o subteretes, glaucescentes obscuramente azul-verdosas, aplanadas adaxialmente, redondeadas abaxialmente, volviéndose postradas en



antesis; escapo 30-55 cm alto, liso, 2-5 mm diámetro, glaucescente verde claro. Bráctea espatacea 3-7, deltoide, 1-2 cm longitud, marchitas en antesis. Umbela 2 (3-7) 11 flores, pedicelos articulados con el tubo del perianto, 1-10 cm de largo, desiguales, los más externos generalmente más pequeños. Flores nocturnas, fragantes, tubo del perianto con lagunas entre las adnaciones del ginóforo, hasta la base, 12-18 cm de largo, 2 mm de ancho en la base, verdoso, 4-5 mm de ancho; segmentos externos 2.5-3 cm largo y 7-8 mm de ancho, segmentos internos 8-9 mm ancho, elípticos, blancos abaxialmente, 7-nervaduras en una línea verde, adaxialmente con tintes de color marrón-rojizo; filamentos 1.5-4 mm largo, sublobulados, lisos, blancos; anteras azuladas o verdosas, 4 mm de largo, polen blanquecino, ovario 1-1.2 cm largo, sostenido por un ginóforo 11-17 cm largo; estilo 1.5 cm largo, más largo que los estambres, estigma papiloso en los márgenes, liso en el centro; cápsula 2-2.4 cm de largo, 7-10 mm diámetro, elipsoide; semillas arrugadas, negro, brillante.  $2n = 54$  (Lenz, 1971).



Figura 3. *Milla mexicana* T.M. Howard.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Endemismo

De acuerdo con Zunino y Zullini (2003), una especie endémica es “un taxón exclusivo de un territorio dado, independientemente de su extensión y de los parámetros (geográficos u otros) que lo definen”. Una especie endémica puede estar confinada a cierta área por razones históricas, ecológicas o fisiológicas. También puede estar restringida a una fracción de su rango histórico debido a disturbios causados por el ser humano. Debido a que las especies endémicas tienen rangos naturales restringidos, a menudo son más susceptibles a la extinción por causas de fragmentación o pérdida del hábitat, contrario a las especies con mayor área de distribución. Por ésta razón, a las especies con distribución restringida se les da prioridad para su conservación (Young, 2007).

### 2.2 Endemismo edáfico

El clima establece los límites para la biota. Sin embargo, la discontinuidad geológica enriquece la diversidad de hábitats (Jenny, 1941). Según Rajakaruna (2004), las clásicas generalizaciones sobre la distribución de las plantas fueron planteadas por Cain (1944), quien propuso al suelo en segundo lugar después del clima, como factor para el establecimiento de los vegetales.

Cuando las propiedades físicas y químicas están distribuidas de forma discontinua aumenta la probabilidad de encontrar diferentes especies y se pueden presentar eventos que conducen a la especiación (Kruckeberg, 1986). Las islas edáficas



de afloramientos de piedra caliza, depósitos de guano y residuos mineros dan lugar a patrones de distribución de plantas localizadas. Estos patrones proporcionan un modelo de ajuste para estudiar el papel del factor edáfico en la evolución de las plantas (Rajakaruna y Whitton, 2004).

El suelo es el sustrato sobre el cual la planta crece, le provee de nutrimentos minerales y agua. Las adaptaciones que desarrollen los vegetales son determinantes en su establecimiento y adaptación sobre suelos con características particulares. Estos tipos edáficos funcionan como islas biogeográficas, que causan especiación ecogeográfica, diferenciación ecotípica, hibridación con o sin aloploidia y explican el endemismo o especialización edáfica (Rajakaruna, 2004).

### **2.3 Suelos ultramáficos y serpentinos**

De acuerdo con Fiedler (1985), estos suelos son sustratos con rocas alteradas caracterizados por bajos niveles de calcio y sílice, cantidades relativamente altas de magnesio y hierro. Sin embargo, los niveles de calcio y magnesio (macronutrimentos) pueden variar considerablemente (Lyon *et al.*, 1968; Ramp, 1978).

Los elementos característicos en este tipo de suelos, son: níquel, cromo, cobalto y cobre. Los suelos “Serpentinas” son una pequeña clase de mineral en suelos ultramáficos. Es frecuente encontrar otros minerales como el olivino, peridotita, homblenda y piroxenos, ortorrómbico y monoclinica son comunes en suelos y rocas ultramáficas. El nombre de serpiente es considerado un nombre genérico para todas las

rocas ultramáficas y sustratos en apoyo de una flora inusual y altamente endémica (Brooks 1987).

## 2.4 Rareza biológica

Se entiende por rareza biológica o especies raras a todas aquellas que se encuentran en números suficientemente bajos como para representar un problema de conservación y en algunos casos, por encontrarse en amenaza de extinción (Halffter y Ezcurra, 1992).

Rabinowitz *et al.* (1986) propusieron que la rareza ecológica de las especies se debe a varias causas entre las que destacan las siguientes. Rareza biogeográfica: hace referencia aquellas especies que solo crecen en regiones muy específicas y forman endemismos biogeográficos. Rareza de hábitat: son especies muy específicas en cuanto al hábitat, pero no son endémicas a nivel biogeográfico. También se les conoce como especies estenoecas o de hábitat restringido, a diferencia de las especies euriecas o de distribución amplia. Rareza demográfica: considera especies demográficamente raras, es decir, que presentan densidades bajas en toda el área de distribución, aunque ésta sea amplia y no estén asociadas a hábitats específicos.

Los casos más raros corresponden a especies que tienen las tres características, es decir son raras en el nivel biogeográfico, estenoecas en su hábitat, y presentan poblaciones poco densas. Con base en las colecciones de herbario y registros en las bases de datos, posiblemente las especies *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana* cumplan con alguna de estas rarezas.



### 3. ANTECEDENTES

La naturaleza de las especies raras tienen su origen en el siglo XVI, cuando Caesalpino (1583) describe a la naturaleza geográficamente limitada de especies ultramáficas al señalar que *Lunaria quarta alias Alysson* (*Alysson bertolonii*), se limita a ciertas rocas negras en Tuscany. Su anotación es el primer registro de una planta de serpentina. A pesar de la naturaleza local de las especies endémicas, estas fueron reconocidas muy pronto en la historia de la ciencia. No fue hasta principios del siglo XX que los estudios ecológicos y químicos sobre la flora, característica del sustrato ultramáficos, serpentinos y otros se iniciaron en el mundo.

Fiedler (1985) investigó el suelo y la química de tejidos vegetales de cinco especies del género *Calochortus* (Liliaceae), para determinar su hiperacumulación de níquel u otros metales pesados que favorezcan que sean una especie con una distribución geográfica restringida. Obtuvo que solo tres especies se consideren endémicas ultramáficas, poseen altas concentraciones de níquel y cobre, tanto en el bulbo como en las hojas. Pero no son lo suficientemente altos para ser consideradas hiperacumuladoras. Trazas moderadas de cobalto y cromo también fueron detectadas en tejido vegetal. Los valores de calcio y magnesio fueron bajos en suelos ultramáficos, hojas y tejido de bulbo, y diez veces mayor en tejido foliar. *Calochortus* es un género que tolera los metales pesados, característica que mejora la condición física de la especie.

Bradshaw *et al.* (1998) demostraron la tolerancia e intolerancia a los metales pesados en dos especies de pastos que crecen sobre minas. Ellos señalaron la importancia que

tienen estas hierbas reproductivamente aisladas, para adaptarse a distintos hábitats microedáficos.

Rajakaruna (2004), hizo una recopilación sobre estudios relacionados al endemismo y especiación edáfica. Ornduff (1965; 1966) y Vasey (1985) estudiaron el género *Lasthenia* endémico de la Provincia Florística de California. Este género se compone de varios taxa edáficamente restringidos. Por ejemplo, *L. menores* y *L. minar* crecen en hábitats alcalinos sobre acantilados costeros, márgenes de estanques y sitios perturbados. Por otro lado *L. maritima* se limita casi exclusivamente a zonas rocosas de islas ricas en depósitos de guano con alto contenido de nitrógeno y pH ácido, donde descansan y anidan aves marinas de alta mar. Estos vegetales se han adaptado y evolucionado en suelos donde difícilmente puede desarrollarse vida vegetal, condición que provoca una alta especificidad en el desarrollo de las plantas, en estos tipos edáficos.

Chan *et al.* (2001) hicieron un estudio de carácter ecológico y filogenético, donde analizaron los factores climáticos y su influencia en mecanismos de aislamiento cigótico o fisiológico. Otra especie mencionada por Rajakaruna (2004), con posible evolución y especiación causada por factores edáficos es *Lasthenia californica* (Asteraceae) que crece y desarrolla sobre suelos ricos en oro.

MacNair y Christie (1983); Christie y MacNair (1987); MacNair *et al.* (1989); MacNair y Gardner (1998); Gardner y MacNair (2000), estudiaron el factor edáfico como causante de especiación en el complejo *Mimulus guttatus* (Phrymaceae). Estos autores sugieren que el aislamiento reproductivo puede efectuarse por una adaptación fisiológica a las condiciones inusuales del suelo. Por ejemplo, *M. nudatus* y *M. pennel-*



*pardalis* son endémicas de suelos serpentinos mientras que, *M. cupriphilus* y *M. guttatus* se limitan a suelos ricos en cobre. Esta adaptación en los tipos de suelo, reducen las posibilidades de flujo genético entre el progenitor y las especies derivadas. El aislamiento genético ha provocado una diferenciación en el tamaño de la flor y una especialización para polinizadores de cada especie. Los cuatro taxa se encuentran en poblaciones naturales que han evolucionado en un tipo edáfico determinado, esto proporciona una barrera importante para evitar la hibridación.

La especialización de los vegetales en suelos específicos se da en diferentes órganos o secciones de estos. Por ejemplo, se ha demostrado que la concentración del cobre en el pistilo puede contribuir a la incompatibilidad del polen entre individuos de diferentes poblaciones lo que genera aislamiento cigótico. Esto significaría que las condiciones edáficas, específicamente las cantidades altas de cobre disponible para la planta, es translocado en concentraciones elevadas al pistilo. Condición que puede tener un efecto directo en el aislamiento reproductivo entre distintos individuos.

### 3.1 Endemismo de plantas vasculares en México

De acuerdo con Rzedowski (1991b), la flora fanerogámica endémica del país se estima en 9,300 especies. Si se considera la región que comprende Megaméxico 3, la cifra sería de 12,900, este número de especies corresponde entre un 52 y 72 por ciento del total de la flora. Los endemismos en el nivel de especie son muy frecuentes, en particular en las regiones templadas subhúmedas y zonas áridas y semiáridas. Entre estos destacan vegetales con distribución geográfica restringida o que tienen rareza de hábitat. La distribución de ciertos linajes es causada por factores fisiográficos, geológicos y edáficos

del territorio mexicano. Generalmente la abundancia de endemismos en el nivel de familia y género es favorable, esta se correlaciona con la aridez de la vegetación xerófila. En el nivel de especie, los bosques de coníferas y de encino, son los más ricos en endemismos. Mientras que los bosques tropicales subcaducifolios, caducifolios y espinosos, tienen un 40%. Por último los bosques tropicales perennifolios tienen menos especies exclusivas y son superados por la vegetación acuática y subacuática con un 15% aproximadamente, así como la vegetación ruderal y arvense donde se estima un 20%. Con estos valores, se puede apreciar la importancia del territorio mexicano como centro de evolución de un gran número de linajes vegetales (Rzedowski, 1991a).



#### 4. JUSTIFICACIÓN

Las especies del género *Milla* son en su mayoría endémicas de México, se pueden encontrar en la mayor parte de la República Mexicana con excepción de Tamaulipas y Yucatán. Sin embargo, la distribución de algunas de sus especies es muy localizada, es decir, presentan rareza geográfica. Conocer el tipo de suelo, requerimientos minerales para su desarrollo, capacidad germinativa y establecimiento en otros tipos edáficos diferentes a donde naturalmente se desarrollan, permitirá entender si las propiedades físicas y químicas del suelo son el factor que limitan su distribución y son un factor de endemismo.

La distribución de las especies del complejo *Milla* posiblemente obedezca a condiciones edáficas particulares donde se han adaptado a las mismas, al desarrollar la capacidad de acumular grandes cantidades de elementos traza como el níquel, cobalto, cromo, entre otros. O bien al modificar mecanismos fisiológicos comunes en la mayoría de las plantas para absorber nutrimentos esenciales. Los estudios sobre la naturaleza del endemismo edáfico no son nuevos (Whittaker, 1954; Tatros, 1957; Raven, 1964; Fiedler, 1985; Kruckeberg y Rabinobitz, 1985; Baskin y Baskin, 1988; Rajakaruna y Bohm, 1999; Rajakaruna, 2004; Harrison *et al.*, 2009). En varios estudios se ha permitido explicar la ecofisiología, procesos adaptativos y evolutivos. Posiblemente estas adaptaciones son la base para que ocupen nichos ecológicos particulares. Es por ello que se plantean las siguientes preguntas: ¿Los componentes físicos y químicos del suelo son el factor que determinan la distribución de *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana*? ¿Las propiedades físicas y químicas de suelos diferentes en donde se desarrollan cada

una de las especies afectan su germinación y desarrollo? Para responder estas preguntas se propone la siguiente hipótesis y objetivos.

## 5. HIPÓTESIS

Cada especie vegetal se desarrolla en estrecha relación con su ambiente edáfico, al ser este la fuente primaria de recursos nutrimentales y agua. Esta relación puede ser específica como resultado de un proceso evolutivo, que genera endemismo edáfico.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Evaluar la germinación y establecimiento de plántulas de tres especies del género *Milla* endémicas de la cuenca de Balsas.

### 6.2 Objetivos particulares

Analizar las propiedades físicas y químicas del suelo de dos localidades donde se distribuyen cada una de las especies estudiadas del género *Milla*.

Determinar el porcentaje de germinación de las tres especies.

Evaluar el establecimiento de las plántulas en los diferentes tipos de suelo.

Identificar los suelos con base en la WRB versión 2007



## 7. MATERIAL Y MÉTODO

### 7.1 Revisión de literatura

Se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva sobre las interacciones suelo-planta y endemismo edáfico en otras especies vegetales, que sirvan de fuente para explicar la importancia del suelo en la distribución de plantas vasculares.

### 7.2 Revisión de herbario y bases de datos

Con el propósito de localizar el área de distribución de las tres especies del género *Milla* en la cuenca del Río Balsas se consultaron las descripciones originales de las especies *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana*. Estas especies están poco recolectadas y en ocasiones ausentes en los herbarios nacionales.

Además de la distribución mencionada en las publicaciones donde proponen las especies como taxa nuevos. También, se consultaron las colecciones de los herbarios CHAPA (Herbario Hortorio del Colegio de Postgraduados), ENCB (Herbario de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN), FEZA (Herbario de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM), MEXU (Herbario Nacional de México, UNAM), UAMIZ (Herbario Metropolitano, UAM-I) y las colecciones extranjeras donde están depositados los tipos nomenclaturales. Lo anterior con la finalidad de revisar posibles nuevas localidades de las especies. Con base en esta información se planearon las fechas de recolecta y los sitios de muestreo.

### 7.3 Recolecta de semillas y muestreo de suelo

Una vez localizada las comunidades donde se distribuyen las especies, se registraron todos los datos que corresponden a una recolección científica y se ubicaron geográficamente con la ayuda de un geoposicionador. Los ejemplares botánicos se prensaron de acuerdo a la metodología convencional con cinco duplicados por cada localidad. Las semillas se almacenaron en bolsas de papel estraza debidamente etiquetada (Figura 4).



Figura 4. Semillas de (A) *M. filifolia*, (B) *M. magnifica*, (C), *Milla mexicana* y

Para la recolección del suelo en cada una de las poblaciones de *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana*, primero se realizó su caracterización ecológica al registrar la pendiente del terreno, grado de erosión, tipos de roca, vegetación, uso actual del suelo y exposición por medio de observación directa; el clima se revisó a través del Servicio Meteorológico Nacional (Anónimo, 2011).

Se realizó un levantamiento edafológico con la apertura de un perfil de suelo en cada localidad. Cada perfil se describió morfológicamente al utilizar los criterios establecidos por Cuanalo (1975). Posteriormente, se identificaron los horizontes de diagnóstico superficiales, subsuperficiales y se determinaron los suelos con base en la

Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) por sus siglas en inglés, versión 2007. De cada horizonte genético de los perfiles se tomó una muestra colocándola en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas y transportadas al laboratorio de Investigación en Edafología y Fisiología de la nutrición vegetal de la FES Zaragoza (Figura 5).



Figura 5. (A) Apertura de perfil de suelo y (B) caracterización edáfica de *Milla mexicana*.

#### 7.4 Análisis del suelo

Las muestras de suelo fueron secadas a la intemperie, posteriormente se molieron y tamizadas con una malla del número 10 (2 mm), enseguida se inició la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo (Figura 6). El análisis consistió en las siguientes determinaciones: textura, densidad aparente (DA), color en seco y húmedo, pH, materia orgánica, carbono orgánico y conductividad eléctrica. Los métodos empleados se indican en el cuadro 1. Finalmente, con ésta información y la clave de la WRB, se corroboró el nombre del suelo que se asignó en campo. Además, a cada muestra de suelo se le cuantificaron los nutrimentos N total, P disponible, Ca, K, Na y Mg cationes intercambiables.

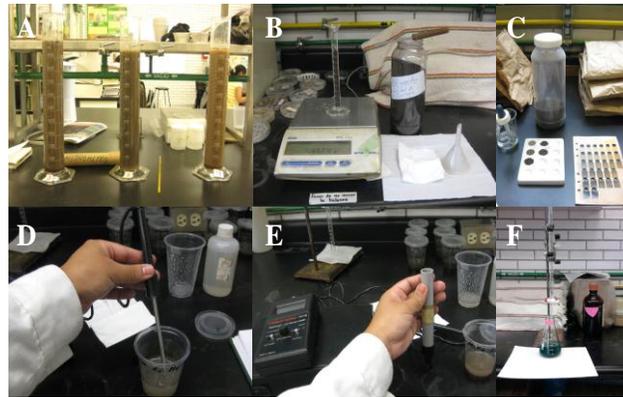


Figura 6. Análisis físicos de suelo. (A) textura, (B) densidad aparente, (C) color en seco y húmedo, (D) pH, (E) conductividad eléctrica y (F) materia orgánica.

### 7.5 Porcentaje de germinación

Las semillas fueron sometidas a un tratamiento pregerminativo mediante lixiviación en remojo con agua destilada por 24 h a temperatura ambiente y posteriormente, se depositaron en cajas de Petri con cama de algodón húmedo, figura 7 (Camacho, 1994).

El porcentaje de germinación se determinó mediante la siguiente ecuación

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{No. de semillas germinadas}}{\text{No. de semillas totales}} \times 100$$

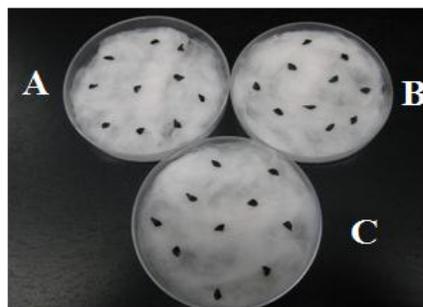


Figura 7. Germinación de semillas en caja Petri. (A) *Milla filifolia*, (B) *M. magnifica* y (C) *M. mexicana*.



Cuadro 1. Técnicas utilizadas en el análisis físico y químico de los suelo.

PARAMETROS	MÉTODO
Color	Comparación con tablas Munsell (en seco y húmedo) (Munsell, 1990).
Densidad Aparente	Método de la probeta (Braver, <i>et al.</i> , 1980).
pH	Potenciómetro relación 1:2 con H <sub>2</sub> O (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).
Textura	Bouyoucos (Gavande, 1979).
Materia orgánica	Walkley-Black (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).
Carbono orgánico.	Calculado con la fórmula % de C = % MO en el suelo / 1.724
Conductividad eléctrica	Conductímetro relación 1:3 (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).
Fósforo extractable	Método Olsen (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).
Nitrógeno	Método semimicro-kjeldahl modificado para incluir nitratos (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).
Cationes intercambiables Ca <sup>2</sup> , Mg <sup>2</sup> , Na <sup>+</sup> y K <sup>+</sup>	Extracción con CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> 1 N pH7. Y cuantificación por espectrofotometría de absorción atómica (Etchevers, <i>et al.</i> , 1994).

La identificación del suelo se realizó por medio del catálogo de clasificación de suelo, según la WRB, versión 2007.

### 7.6 Establecimiento de plántulas de tres especies del género *Milla*

Con la finalidad de evaluar el endemismo edáfico, se colocó en las charolas de plástico cada uno de los suelos donde crece *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana* en cada uno de ellas se transplantaron plántulas de cada una de las especies del género. Las charolas midieron 15 x 15 cm, con una profundidad de 5 cm por cada especie se contó con una unidad experimental testigo con el tipo de suelo en donde se desarrolla de

manera natural. Las otras unidades se establecieron intercambiando el tipo de suelo y las semillas de las diferentes especies. Las unidades experimentales constaron de 25 semillas por especie (Cuadro 2). Una vez trasplantadas las plántulas, las unidades experimentales se sometieron a riego con agua de lluvia hasta capacidad de campo cada tercer día. Se dejó pasar un tiempo aproximado de dos semanas, con el fin de que las plántulas comenzarán a establecerse. Una vez establecidas se midió semanalmente longitud de hoja cotiledonar y número de hojas. Después de 90 días se extrajeron diez plantas por unidad experimental y se midió el largo y número de raíces, largo y ancho del cormo.

**Cuadro 2.** Diseño experimental que muestra el número de tratamiento para la germinación y establecimiento de tres especies del género *Milla*. Pr= presa el Abrevadero, Za= zona arqueológica, Sb= los Sabinos, Km= Km 110, Sa= San. Agustín, Hh= Huehuetlán y 25= Número de semillas.

Suelo	<i>M. filifolia</i>		<i>M. magnifica</i>		<i>M. mexicana</i>	
Semillas	Pr	Za	Sb	Km	Sa	Hh
<i>M. filifolia</i>	Testigo		25	25	25	25
<i>M. magnifica</i>	25	25	Testigo		25	25
<i>M. mexicana</i>	25	25	25	25	Testigo	

### 7.7 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos al evaluar cada una de las variables biológicas de las plántulas fueron analizadas por el programa SAS (Statistical Analysis System); se agruparon por la diferencia entre medidas de cada variable, usando un análisis de varianza (GLM) con



variables transformadas en log (base 10), seguido de un análisis de comparación de medias de tukey ( $p < 0.05$ ) y por último un Análisis de Componentes Principales (ACP) para conocer los parámetros más importantes en este estudio.

## 8. RESULTADOS y DISCUSIÓN

### 8.1 Zona de estudio

Se realizó el muestreo en seis sitios, que correspondieron a dos zonas por cada especie. Para *Milla filifolia* en la presa el Abrevadero, municipio de Tenango ( $18^{\circ}38'50''$  N,  $98^{\circ}45'03''$  W) y zona arqueológica de Chalcatzingo, municipio de Jantetelco ( $18^{\circ}40'26''$  N,  $98^{\circ}46'24''$  W), ambas en el estado de Morelos. *M. magnifica* se localizó en los Sabinos, municipio de Teloloapan ( $18^{\circ}25'55''$  N,  $99^{\circ}45'04''$  W) y Km 110 de la carretera Taxco-Iguala ( $18^{\circ}25'36''$  N,  $99^{\circ}33'18''$  W) en el estado de Guerrero. *M. mexicana* se encontró en San Agustín, municipio de Tepexco ( $18^{\circ}39'05''$  N,  $98^{\circ}42'15''$  W) y alrededores de Huehuetlán a 1.5 km al sur-este de la cabecera municipal de Huehuetlán el Chico, hacia Chiautla ( $18^{\circ}20'58''$  N,  $98^{\circ}38'57''$  W) en el estado de Puebla. Se observó en todas las localidades que el tipo de vegetación es bosque tropical caducifolio, con diferentes grados de perturbación (Figura 8).

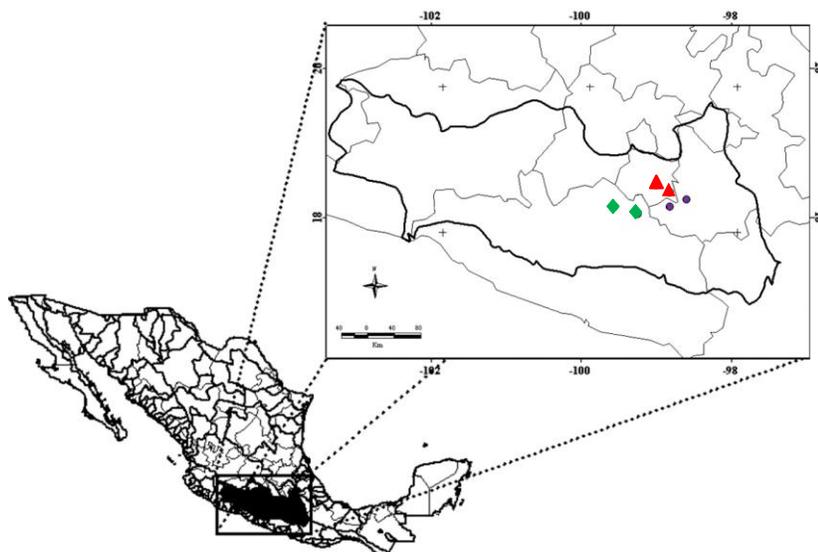


Figura 8. Localización de la zona de estudio ▲ *Milla filifolia*, ◆ *Milla magnifica* y ● *Milla mexicana*. Tomado y modificado de Feria-Arrollo (2004).

## 8.2 Descripción de cobertura vegetal

El bosque tropical caducifolio donde se desarrollan las especies de *Milla* estudiadas es un tipo de vegetación bien representado en la cuenca del Río Balsas. Su área de distribución se encuentra limitada entre los 0 y los 1,600 m de altitud; la temperatura media anual es de 20 a 31°C y la precipitación media anual varía entre los 600 y 1,200 mm. De acuerdo con los criterios propuestos por Rzedowski (1978), en estado natural o de perturbación este bosque es denso y su altura oscila entre los 5 y 12 m, donde los elementos arbóreos pierden sus hojas casi por completo en periodos de sequía, florece a fines de la época seca o bien a principios de la temporada de lluvias. La estructura de este tipo de vegetación corresponde a un estrato arbóreo, arbustivo y un herbáceo, su composición florística es muy diversa, sobresalen los géneros *Acacia*, *Bursera*, *Braea*, *Bromelia*, *Ceiba*, *Celidium*, *Crescentia*, *Euphorbia*, *Hipomoea* y *Opuntia* principalmente. Las especies de *Milla* estudiadas se desarrollan en el interior del bosque y forman parte



del estrato herbáceo. Sin embargo sus poblaciones, parecen ser más abundantes a orillas de carretera o zonas cercanas donde se practican actividades agrícolas y ganaderas. Lo anterior indica que requieren de buena iluminación para su desarrollo. (Figura 9).



Figura 9. Zonas donde se desarrollan las especies de *Milla*. (A) *Milla filifolia* alrededor de la presa el Abrevadero, municipio de Tepexco (uso pecuario). (B) *Milla mexicana* cerca de San Agustín-Tepexco, (área perturbada por ganadería) y (C) *Milla magnifica* a orilla de la carretera de los Sabino-Teloloapan.

### 8.3 Descripción de perfiles de suelo

En todas las localidades una vegetación de tipo bosque tropical caducifolio (cuadros 3, 4, 5, 6, 7 y 8). Los suelos son someros, con buen drenaje, textura predominantemente arcillo-arenosa y arenosa, con estructura poliédrica angular y subangular.

Cuadro 3. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla filifolia* en la presa el Abrevadero, Tenango, Edo. de Morelos.

**Fecha de descripción y muestreo:**

18-02-2011

**Localidad:**

Presas el Abrevadero a 1 km al oeste de la carretera hacia Tenango, Edo. de Morelos.

**Ubicación:**

Latitud norte: 18° 38' 50''  
Longitud oeste: 98° 45' 03''

**Altitud (m):** 1237

**Pendiente (%):** 3-5

**Uso del suelo:** agrícola y pecuario, entre los cultivos de sorgo.

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio.

**Suelo:** Leptosol



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A	0-12	Suelo seco 10YR 3/2 (castaño grisáceo muy oscuro), en húmedo 10YR 3/3 (castaño oscuro), textura arcillo-arenosa con pedregosidad del 30% piedras pequeñas de hasta 5 cm de diámetro, estructura moderadamente desarrollada granular, poliédrica y subangular con macro y microporosidad, macroporos entre agregados y los microporos dentro de agregados. Raíces comunes, finas menores a 1.0 mm de diámetro. Suelo bien drenado de permeabilidad rápida con un pH activo de 6.2 y un pH potencial de 5.3.
C	12-30	Suelo seco 10YR 5/3 (castaño), en húmedo 10YR 3/3 (castaño oscuro), con una pedregosidad de más del 50%, rocas intemperizadas y pequeñas. Estructura muy desarrollada, pocas raíces desde finas a delgadas que van desde 1 mm de diámetro. Suelo bien drenado con una permeabilidad rápida, pH activo de 7.2 y un pH potencial de 5.2.
R	-	Material conglomerado cementado por carbonato de calcio que forma el suelo.



Cuadro 4. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla filifolia* en la zona arqueologica de Chalcatzingo, Jonacatepec, Edo. de Morelos.

**Fecha de descripción y muestreo**

18-02-2011

**Localidad**

Zona arqueológica de Chalcatzingo, Jonacatepec, Edo. de Morelos.

**Ubicación**

Latitud norte: 18° 40' 26''  
Longitud oeste: 98° 46' 24''

**Altitud (m):** 1330

**Pendiente (%):** 70

**Uso actual:** ganadería y pecuario.

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio.

**Suelo:** Leptosol.



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A	0-15	Suelo seco 10YR 3/2 (castaño grisáceo muy oscuro), en húmedo 10YR 3/3 (castaño oscuro), textura arcillo-arenosa con pedregosidad del 30% piedras pequeñas de hasta 5 cm de diámetro, estructura moderadamente desarrollada granular, poliédrica y subangular con macro y microporosidad, macroporos entre agregados y los microporos dentro de agregados. Raíces comunes, finas menores de 1.0 mm de diámetro. Suelo bien drenado con permeabilidad rápida, pH activo de 6.2 y potencial de 5.3.
C	15-30	Suelo seco 10YR 5/3 (castaño), en húmedo 10YR 3/3 (castaño oscuro), con pedregosidad mayor del 50%, rocas intemperizadas y pequeñas. Estructura muy desarrollada, pocas raíces desde finas a delgadas de aproximadamente 1 mm de diámetro. Suelo bien drenado con una permeabilidad rápida, pH activo de 7.2 y potencial de 5.2.
R	-	Material conglomerado cementado por carbonato de calcio el cual forma el suelo.

## Jonacatepec , Morelos.

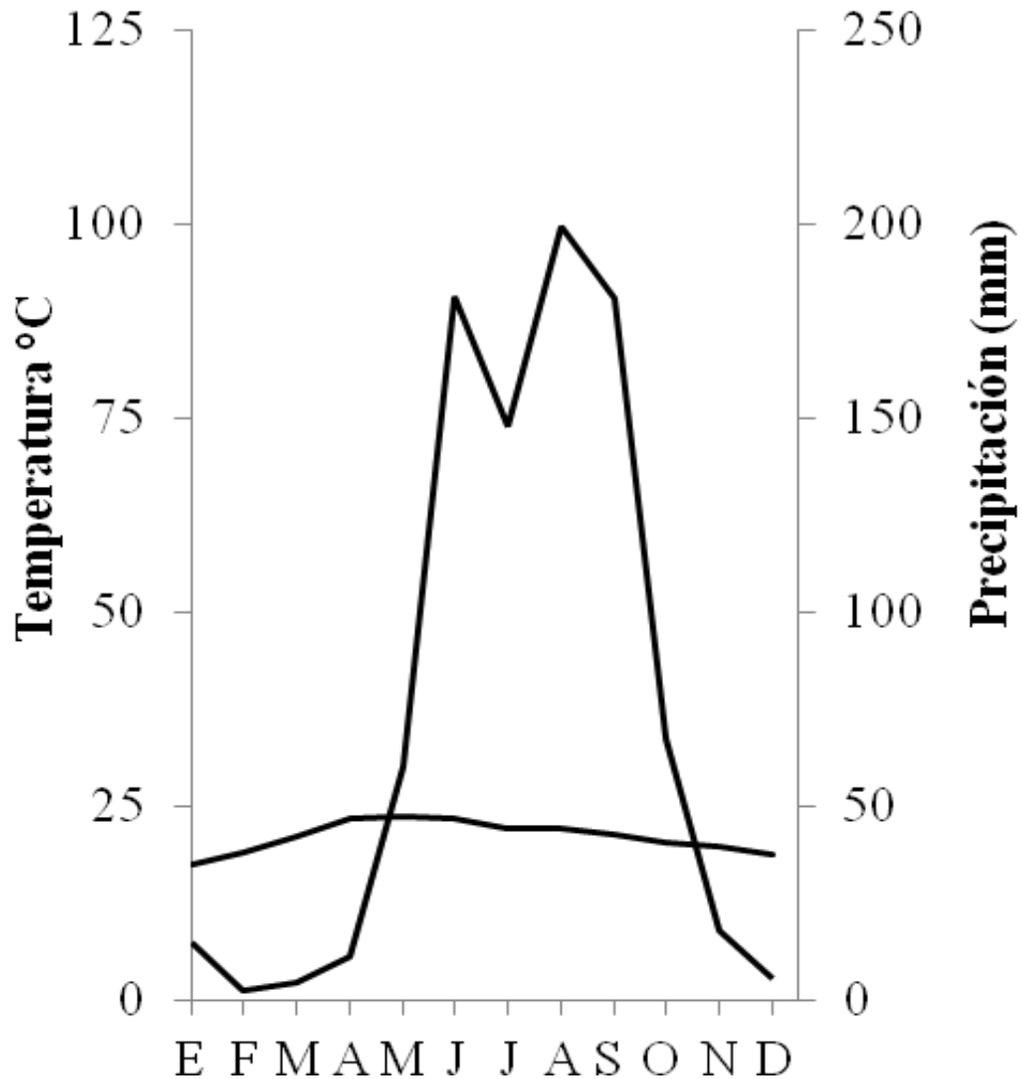


Figura 10. Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla *Milla filifolia*. Datos normales climatológicos a partir del año 1971 al 2000, Estación 00017028 Jonacatepec, Morelos, Servicio Meteorológico Nacional.



Cuadro 5. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla magnifica* en los Sabinos, Teloloapan, Iguala, Edo. de Guerrero.

**Fecha de descripción y muestreo**

20-02-2011

**Localidad:**

Los Sabinos entre el km 36-38 de la carretera hacia Teloloapan, Edo. de Guerrero.

**Ubicación**

Latitud norte: 18° 25' 55''  
Longitud oeste: 99° 45' 04''

**Altitud (m):** 1485

**Pendiente (%):** 30-35

**Uso de suelo:** forestal.

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio.

**Suelo:** Leptosol renzico.



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A <sub>1</sub>	0-17	Suelo seco 10YR 3/1 (gris muy oscuro) en húmedo 10YR 2/1 (negro), arcilloso de estructura poliédrica subangular, con pedregosidad al 30% piedras grandes 5-15 cm de diámetro, roca caliza (caliche) con microporos y macroporos, microporos entre agregados y macroporos fuera de agregados, orientación caótica intersticial y tubulares estos últimos formados por las raíces cuando mueren. Suelo bien drenado con permeabilidad rápida, raíces desde muy finas a gruesas de 15 mm de diámetro.
A <sub>2</sub>	17 -60	Estructura poliédrica subangular con algunas caras brillantes formadas por fuerzas de comprensión. Textura arcillosa (arcilla motmorillonítica) expandibles cuando están húmedas. Pedregosidad menor a 5% piedras pequeñas menores a 5 mm de forma angular y subangular. Suelo bien drenado con permeabilidad rápida (moderada cuando esta húmeda). Macroporos entre agregados y microporos dentro de agregados. Los poros internos son tubulares producto de la penetración de raíces. Intersticiales, cuando están fuera de los agregados. Raíces finas a gruesas aproximadamente de 10 mm diámetro.
C	60- >	Suelo seco 10YR 3/1 (gris muy oscuro) en húmedo 10YR 2/1 (negro), pedregoso con un 70% de piedras grandes moderadamente intemperizadas que pueden romperse con facilidad, estructura levemente desarrollada poliédrica, permeabilidad rápida, raíces pocas a frecuentes (20 dcm <sup>2</sup> ) finas a gruesas de 1 cm de diámetro aproximadamente.
R	-	Roca caliza dolomítica.

Cuadro 6. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla magnifica* en el Km 110, carretera Taxco-Iguala, Edo. de Guerrero.

**Fecha de descripción y muestreo**

20-02-2011

**Localidad:** Alrededores del naranjo, carretera Taxco-Iguala km. 110. Iguala, Edo. de Guerrero.

**Ubicación**

Latitud norte: 18° 25' 36''

Longitud oeste: 99° 33' 18''

**Altitud (m):** 118

**Pendiente (%):** 35

**Uso de suelo:** forestal.

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio.

**Suelo:** Leptosol.



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A	0-10	Color en seco 10YR 2/1 (negro) en húmedo 10YR 2/1 (negro). Suelo incluido entre el material parental de forma continua. Suelo seco de estructura grumosa moderadamente desarrollada, con pedregosidad del 60 al 70%, raíces abundantes, finas hasta gruesas de aproximadamente 30 mm de diámetro. Suelo bien drenado con permeabilidad rápida. Superficie del suelo con un espesor de 1-3 cm de hojarasca. La pedregosidad cubre cerca del 50% de la superficie del suelo. Las rocas son de 3 m de diámetro aproximadamente.
R	-	Terronítica (caliza).



## Iguala, Guerrero.

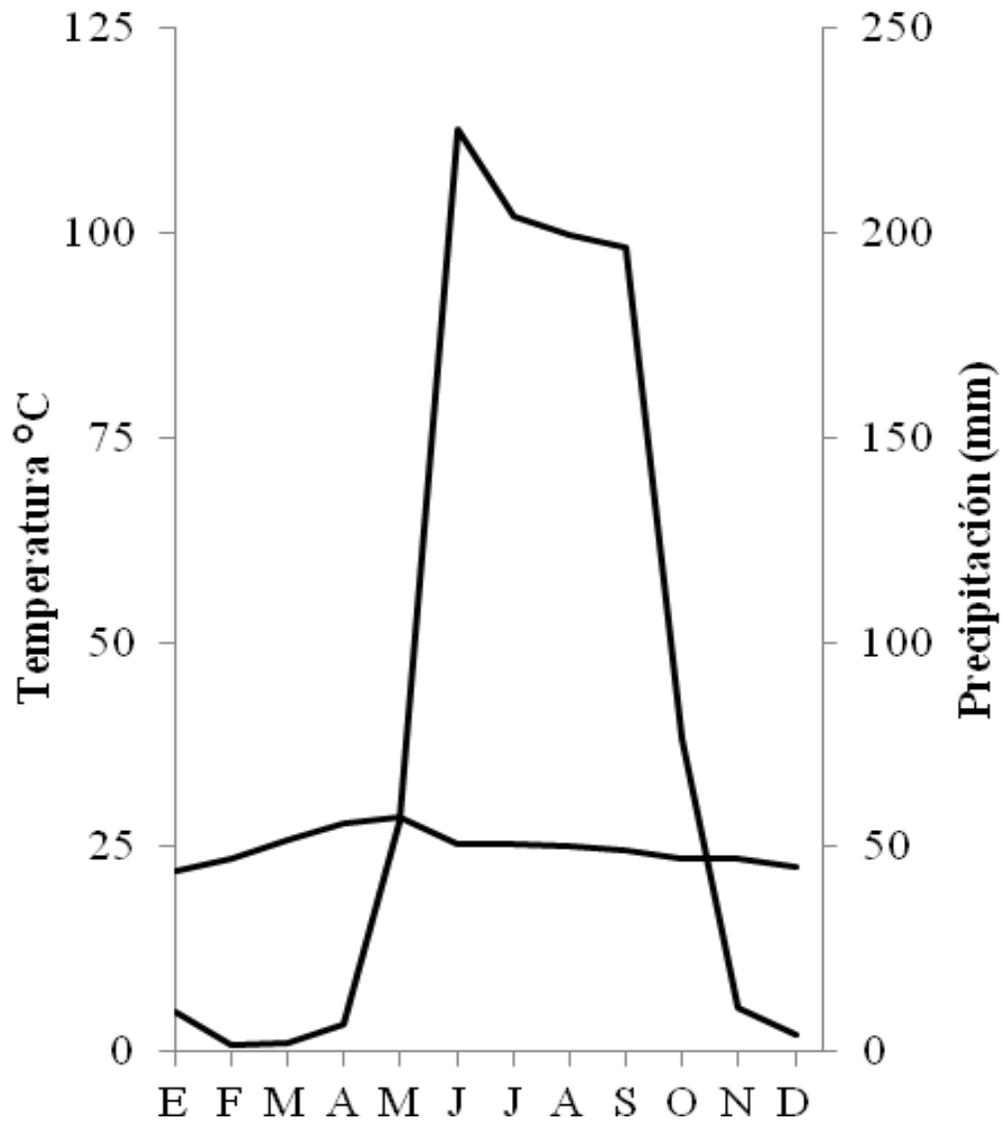


Figura 11. Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla *Milla magnifica*. Datos normales climatológicos a partir del año 1971 al 2000. Estación 00012047 Iguala, Guerrero. Servicio Meteorológico Nacional.

Cuadro 7. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla mexicana* en San Agustín, Tepexco, Edo. de Puebla.

**Fecha de descripción y muestreo**

18-02-2011

**Localidad:**

San Agustín-Tepexco, Km 105 sobre la carretera Cuautla-Izucar de Matamoros a 3 Km después de la frontera entre Morelos y Puebla. Edo. de Puebla.

**Ubicación:**

Latitud norte: 18° 39'05''

Longitud oeste: 98° 42'15''

**Altitud (m):** 1215

**Pendiente (%):** 05

**Uso del suelo:** forestal con actividad pecuaria limitada.

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio

**Suelo:** Leptosol.



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A	0-20	Color en seco 10YR 3/2 (castaño grisáceo muy oscuro) y en húmedo 10YR 2/1 (negro). Transición al horizonte C se realiza en 5 o más centímetros, ondulado, textura arcillosa con estructura poliédrica angular, pedregosidad del 35%, piedras pequeñas con diámetros hasta 6 cm subangular y angulares. La estructura se presenta con caras de compresión, porosidad con macro y microporos, los macroporos entre los agregados y microporos dentro de los agregados, macroporosidad hasta 4 mm, Suelo bien drenado de permeabilidad rápida con un pH activo de 7.5 y un pH potencial de 5.59, raíces finas comunes con diámetros de 1 mm o menos.
C	20-35	De 10 cm o menos de espesor, suelo seco 10YR 5/2 (castaño grisáceo) y húmedo 10YR 3/3 (castaño oscuro), con pedregosidad mayor al 50% piedras desde pequeñas hasta grandes de 10 cm de diámetro que hacen contacto lítico, con macro y microporos, macroporos entre los agregados producidos por la contracción de las arcillas motmorillonitas secas, microporos están dentro de los agregados, macroporos con un diámetro de 1mm.



Cuadro 8. Descripción ecológica del sitio y morfología del perfil de suelo donde crece *Milla mexicana* en Huehuetlán el Chico, Chiautla de Tapia, Edo. de Puebla.

**Fecha de descripción y muestreo**

19-02-2011

**Localidad**

Alrededor de Huehuetlán el chico, por la carretera a Chiautla de tapia. Edo. de Puebla.

**Ubicación**

Latitud norte: 18° 20'58''

Longitud oeste: 98° 38'57''

**Altitud (m):** 1118

**Pendiente (%):** 30

**Uso del suelo:** forestal

**Vegetación:**

bosque tropical caducifolio.

**Suelo:** Leptosol.



Horizonte	Profundidad (cm)	Características
A <sub>1</sub>	0-15	Suelo seco 10 YR 6/2 (gris pardusco claro) en húmedo 10 YR 5/2 (castaño grisáceo), suelo migajón arcillo-arenoso con pedregosidad de un 20%, piedras de pequeñas hasta 10 cm de diámetro. Estructura poliédrica subangular bien desarrollada con macroporos y microporos, macroporos entre agregados y microporos dentro de agregados sub verticales y oblicuos, raíces desde muy finas hasta gruesas de 10 cm de diámetro frecuentes, suelo bien drenado y con permeabilidad rápida. pH activo de 7.8 y un pH potencial 5.72.
A <sub>2</sub>	15-35	Suelo seco con una textura migajón arenosa brevemente desarrollada poliédrica angular y sub angular, con pedregosidad del 20% con un grado avanzado de intemperismo, raíces comunes de 10 mm a muy finas, porosidad con macroporos y microporos, macroporos fuera de agregados y microporos dentro de agregados, suelo bien drenado con permeabilidad rápida.
C	35-52	Suelo seco 10YR 7/2 (gris ligero) y húmedo 10YR 6/2 (gris pardusco claro) muy pedregoso de un 80%, suelo entre las rocas muy intemperizadas donde se presenta las raíces finas y gruesas hasta 2 mm de diámetro, suelo bien drenado y permeabilidad rápida. pH activo 8.6 y un pH potencial de 5.7.
R	—	Roca calcárea con un grado elevado de intemperismo de la cual se forma el suelo, fragmentada entre las fisuras, se presenta raíces escasas.

## Huehuetlán, Puebla.

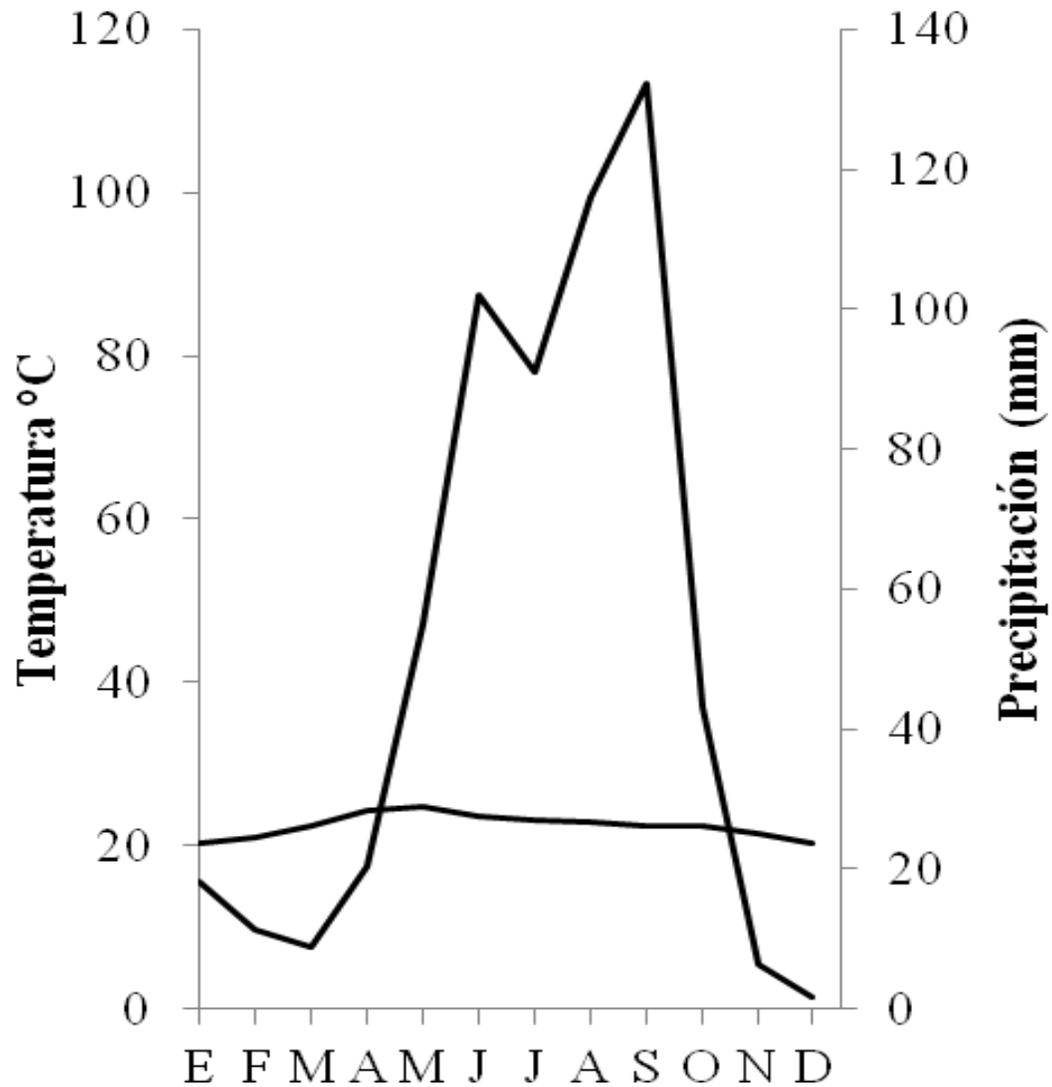


Figura 12. Diagrama ombrotérmico para la zona donde se desarrolla *Milla mexicana*. Datos normales climatológicos a partir del año 1971 al 2000. Estación 00021045 Huehuetlán el grande, Puebla. Servicio Meteorológico Nacional.

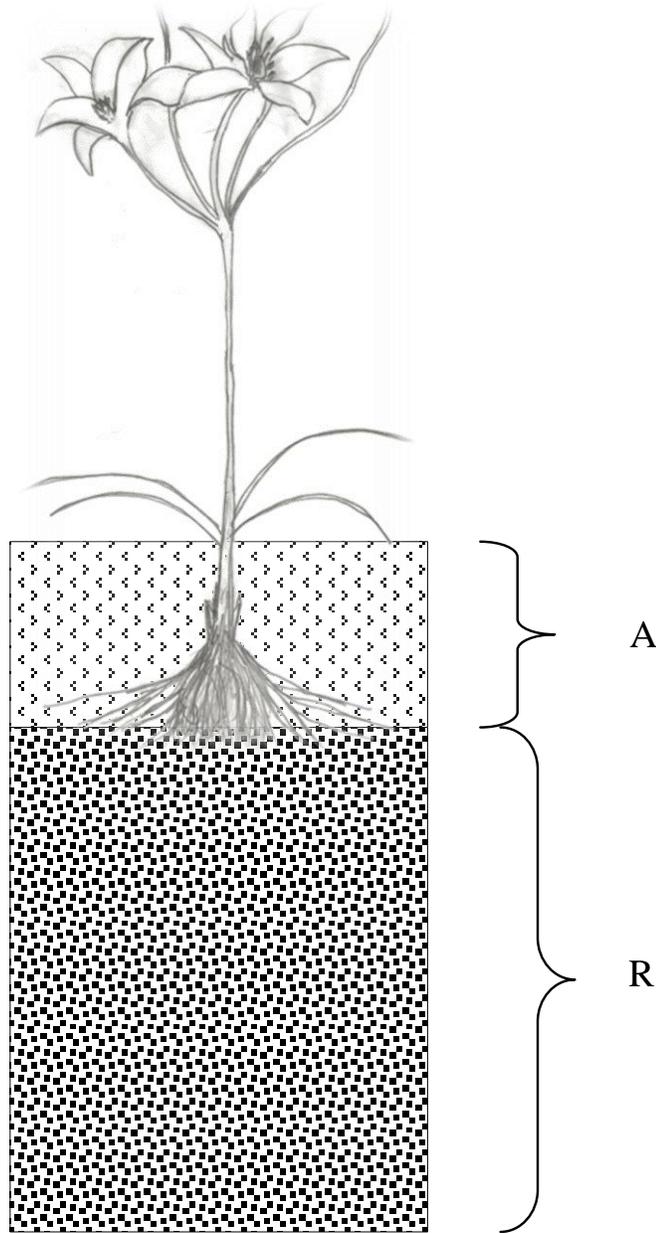


Figura 13. Caracterización de *Milla* en campo, se observó suelo somero situado sobre roca de material calcáreo, altamente pedregosos. En el horizonte A donde se encuentra la mayor concentración de materia orgánica, se expresa claramente la transición de un horizonte A al C por la cantidad de material parental no alterado, color claro y menor influencia de la materia orgánica humificada.

## 8.4 Propiedades físicas del suelo

En el cuadro 9 se muestran los resultados de la caracterización física de los suelos realizada en el laboratorio. Con base a estas características se describe el ambiente edáfico para las tres especies.

Las tres especies del género *Milla* se distribuyen en Leptosoles (Lp) estos suelos son someros (0 a > 60 cm) pedregosos con rocas pequeñas a muy grandes, la textura varia de franco arcillo-arenosa (arcilla 30%, limo 10% y arena 60%) para la presa el Abrevadero y Huehuetlán, franco arenoso (12% arcilla, 14% limo y 74% arena) para zona arqueológica y San Agustín, a franco arcilloso (35% arcilla, 20% limo y 42% arcilloso) para los Sabinos y km 110. Todos favorecen el almacenamiento de humedad, el suelo presentó un color café grisáceo a café oscuro de acuerdo con la clasificación Munsell Soil Color Chart (1990). La densidad aparente osciló entre 0.88 a 1.32 g cm<sup>-3</sup>. De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 se clasifican como suelos minerales. Reyes (1996) mencionó que a medida que aumenta la densidad aparente el espacio poroso disminuye y se reduce la retención de humedad y dominó la macroporosidad lo que confirma que sean suelos bien drenados con porosidad adecuada. La porosidad osciló entre 50.19 a 66.94 %. El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno [H<sup>+</sup>], influye en la disponibilidad de nutrientes, presencia de microorganismos y desarrollo de plantas. Los valores de pH activo son menos ácidos que el potencial debido a que en el primero sólo se miden los iones H<sup>+</sup>. En el pH potencial CaCl<sub>2</sub> se extraen los iones hidrógeno que se encuentran en los sitios de intercambio de los coloides del suelo (Domínguez, 2011). Con base en la NOM-021-RECNAT-2000, El pH activo que se



encontró en el suelo de las diferentes localidades es moderadamente ácido a medianamente alcalino, 6.23 a 8.60, estos niveles de concentración indican buena disponibilidad de nutrimentos para la planta. Un aumento en la concentración puede afectar los procesos fisiológicos en la raíz para la absorción de nutrimentos. Generalmente las plantas tienen rangos para una buena absorción. En las especies estudiadas de *Milla* se aprecia una tolerancia a concentraciones ligeramente extremas. El pH potencial se registró en un rango de 5.23 a 5.74. Según la NOM-021-RECNAT-2000, estos valores se clasifican como moderadamente ácido. La acidez de estos suelos se debe a la lixiviación de sus bases, favoreciendo la solubilidad y precipitación de minerales (cuadro 10). Según la NOM-021-RECNAT-2000 estos suelos presentan una conductividad eléctrica ligeramente alcalina ( $0.15$  a  $0.22$  dS  $m^{-1}$ ), que permite el desarrollo de la vegetación. Cruz-Flores (2006) mencionó que si la concentración de sales excede de  $5$  dSm $^{-1}$ , el potencial osmótico del suelo provoca efectos adversos sobre la raíz. El perfil encontrado en los suelos donde se desarrollan las poblaciones de *Milla* es ACR, AR; con ausencia o escasa presencia de horizontes de diagnóstico. Estas características físicas se describen en el cuadro 9 y coinciden con la descripción general para Leptosoles según la WRB (Anexo 1).

Cuadro 9. Promedios generales de las propiedades físicas del suelo donde se desarrollan las especies *Milla filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana*. CE: Conductividad eléctrica, EP: Espacio poroso, DR<sup>1</sup>: Densidad real, valor teórico promedio de minerales dominantes, DA<sup>2</sup>: Densidad Aparente.

Especie	Sitios	Horizontes	Altitud m	CE	DR <sup>1</sup>	DA <sup>2</sup>	EP	Arcilla	Limo	Arena	Clase Textural
				ds m <sup>-1</sup>	g cm <sup>-3</sup>						
<i>M. filifolia</i>	Presa el abrevadero	A	1237	0.16	2.65	0.88	66.94	30	10	60	Franco arcilloso arenoso
		C		0.15	2.65	1.07	59.62	18	22	60	Franco arenoso
	Zona arqueológica	A	1330	0.16	2.65	1.15	56.64	12	14	74	Franco arenoso
		C		0.15	2.65	1.32	50.19	10	10	80	Franco arenoso
<i>M. magnifica</i>	Los Sabinos	MEZCLA	1485	0.22	2.65	1	62.38	38	20	42	Franco arcilloso
	km 110	MEZCLA		0.22	2.65	1.03	61.06	34	24	42	Franco arcilloso
<i>M. mexicana</i>	San Agustín	A	1215	0.17	2.65	0.99	63.21	18	12	70	Franco arenoso
		C		0.17	2.65	1.1	58.53	14	16	70	Franco arenoso
	Huehuetlan	A	1118	0.19	2.65	1.02	61.74	26	22	52	Franco arcilloso arenoso
		C		0.19	2.65	1.2	54.45	10	18	72	Franco arenoso
		Máximo		0.22	2.6	1.32	66.94	38	24	80	
		Mínimo		0.15	2.6	0.88	50.19	10	10	42	

### 8.5 Propiedades químicas del suelo.

La materia orgánica se encuentra relacionada con la fertilidad, la estructura y la permeabilidad del suelo. Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica, más fértil es el sustrato ya que proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento vegetal (Thompson, 1982).

En el cuadro 10 se muestra los promedios generales de las propiedades químicas del suelo. La NOM-021-RECNAT-2000 establece intervalos de porcentaje de materia orgánica en suelos minerales que oscilan (< 0.5 > 6.0) de acuerdo con esta norma se observó que en los suelos estudiados se encontraron intervalos de clase media (2.27 %)



para zona arqueológica y valores de clase alta (5.74 %) para km 110, los suelos con mayor porcentaje de materia orgánica en el suelo (% MOS) depende de factores ambientales que intervienen en la formación del mismo. El clima desempeña una función importante ya que en muchas ocasiones determina el tipo de vegetación. El material producido por las plantas, e intensidad de la actividad microbiana contribuyen a la formación de humus. Por el contrario con el valor mínimo de clase media, se debe a que el sitio donde se desarrolla la población de *M. filifolia* presenta alteración en su cubierta vegetal además del pastoreo.

La MOS contribuye al desarrollo de la vegetación determinando las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, proporciona nitrógeno, fósforo y azufre para el crecimiento de los vegetales, sirve como fuente de energía para los organismos de la microflora y fomenta una buena estructura de esta. El humus influye indirectamente en la absorción vegetal de micronutrientes y cationes de metales pesados (Thompson, 1982).

Cuadro 10. Promedios generales de propiedades químicas del suelo.

Especie	Localidad	Horizontes	Altitud m	M.O %	N	pH 1:2		P Olsen mg kg <sup>-1</sup>	Cationes Intercambiables cmol kg <sup>-1</sup>			
						H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>		K	Ca	Mg	Na
<i>M. filifolia</i>	Presa el abrevadero	A	1237	4.98	0.40	6.23	5.39	0.03	6.61	9.51	13.33	18.74
		C		2.33	0.17	7.20	5.23	0.05	2.97	9.22	13.93	19.49
	Zona arqueológica	A	1330	3.63	0.33	6.80	5.67	0.03	5.31	3.86	6.14	22.34
		C		2.27	0.21	7.07	5.33	0.01	4.25	3.48	7.54	20.96
<i>M. magnifica</i>	Los Sabinos	MEZCLA	1485	4.11	0.52	7.80	5.70	0.06	11.00	52.71	6.34	18.16
	km 110	MEZCLA		5.74	0.50	8.03	5.28	0.05	12.25	41.32	4.12	21.34
<i>M. mexicana</i>	San Agustín	A	1215	2.79	0.22	7.50	5.59	0.06	12.23	16.66	20.01	13.62
		C		3.54	0.15	7.80	5.49	0.03	9.49	7.72	12.33	21.91
	Huehuetlan	A	1118	2.36	0.23	7.80	5.73	0.06	15.25	24.10	8.93	21.72
		C		3	0.21	8.60	5.74	0.08	18.46	24.94	7.19	20.27
			Máximo	5.74	0.52	8.60	5.74	0.08	18.46	52.71	20.01	22.34
			Mínimo	2.27	0.15	6.23	5.23	0.01	2.97	3.48	4.12	18.74

El nitrógeno es un elemento indispensable para la planta, el valor más bajo fue de 0.15%, en el suelo de San Agustín y el valor más alto (0.52%) se presentó en los Sabinos. El porcentaje de nitrógeno tiene un comportamiento directamente proporcional al porcentaje de la materia orgánica, a medida que la MO aumenta el nitrógeno tiende a aumentar de la misma manera.

Con respecto al fósforo se obtuvo en la localidad de Huehuetlán el valor más alto ( $0.08 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y zona arqueológica el menor valor ( $0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El pH del suelo tiene una gran influencia en la solubilidad del fósforo su concentración, es un factor que justifica un pH potencial ligeramente ácidos. Por otro lado en suelos con pH 6 o superior, el hierro y aluminio se precipita en hidróxidos. Una baja concentración de estos iones en la solución del suelo asegura, que los hidróxidos no precipiten el fósforo limitando su disponibilidad en las plantas (Thompson, 1982).

La fertilidad del suelo está influenciada por la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC), ésta propiedad es el número de sitios de intercambio, que puede estar ocupado por los iones Na, K, Ca y Mg, y es llamado porcentaje de saturación de bases o ácidos como el Al, Fe,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$  y Mn (Cruz-Flores, 2006). El Ca es un nutrimento inmóvil en los yemas de foliares y hojas jóvenes, en los tejidos vegetales se encuentra como pectatos u oxalatos de Ca. Interviene en los procesos de estructura y funcionamiento de las membranas, absorción atómica y activación enzimática de los vegetales (Tisdale y Nelson, 1970). Este nutrimento presentó valores de  $3.48 \text{ cmol/kg}^{-1}$  para zona arqueológica y  $52.71 \text{ cmol/kg}^{-1}$  para los Sabinos. El valor más aproximado hacia los Sabinos es km 110 con  $41.32 \text{ cmol/kg}^{-1}$ . De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000,



las localidades donde crece *Milla magnifica* (los Sabinos y Km 110) contienen una alta concentración de Ca, esto concuerda con el mayor tamaño de esta especie en comparación con *M. filifolia* y *M. mexicana*. Thompson (1982) menciona que el Magnesio (Mg) es un nutrimento secundario y el catión intercambiable más abundante después del calcio, el contenido de Mg en el suelo esta determinado por el clima, textura de suelo y el material de donde proviene. Se localiza como único constituyente mineral en clorofila y participar en la estructura de proteínas y plasma. Para el Km 110 se registró un valor de  $4.12 \text{ cmol kg}^{-1}$  y  $20.01 \text{ cmol kg}^{-1}$  para San Agustín. Con base en los parámetros de La NOM-021-RECNAT-2000, el suelo de todas las localidades contiene concentraciones altas. La adaptación de *M. magnifica* a suelos de origen dolomítico con alta concentración en estos elementos nos permite entender desde el punto de vista edáfico su distribución. Thompson (1982) mencionó que el Potasio (K) es uno de los elementos esenciales para el desarrollo vegetal y es absorbido por las plantas en cantidades mayores. Este elemento se encuentra en la planta en forma de sales solubles orgánicas e inorgánicas, sin ser parte estructural de la misma. Cuando el tejido vegetal muere el potasio es liberado. El K favorece el proceso osmótico, participa en la fotosíntesis e interviene en el transporte de carbohidratos, respiración y fijación de nitrógeno. Se encontraron valores de este elemento que varían de  $2.97 \text{ cmol kg}^{-1}$  en presa el Abrevadero y  $18.46 \text{ cmol kg}^{-1}$  para Huehuetlán. De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 todas las localidades tienen valores altos en K (clase alta). La disponibilidad de potasio depende de la humedad, este se desplaza de zonas con mayor a menor concentración durante la época de lluvia (Black, 1975). El Na, es considerado un elemento no esencial para las plantas, sin embargo, interviene en el proceso de control

hormonal para la síntesis de citoquininas en plantas C4. No se conoce el tipo de metabolismo en las especies del género *Milla*, estudios sobre su metabolismo ayudarían a entender si el Na participa también en la síntesis de estas hormonas y favorecer la división celular.

## 8.6 Germinación

La figura 14 muestra la germinación obtenida para las tres especies del género *Milla*. Esta se realizó en cajas Petri a temperatura ambiente. Se les aplicó un tratamiento pregerminativo mediante remojo por 48 horas con la finalidad de romper la latencia de la semilla, que germinaron en un tiempo aproximado de 8 a 10 días como se muestra en la figura 15.

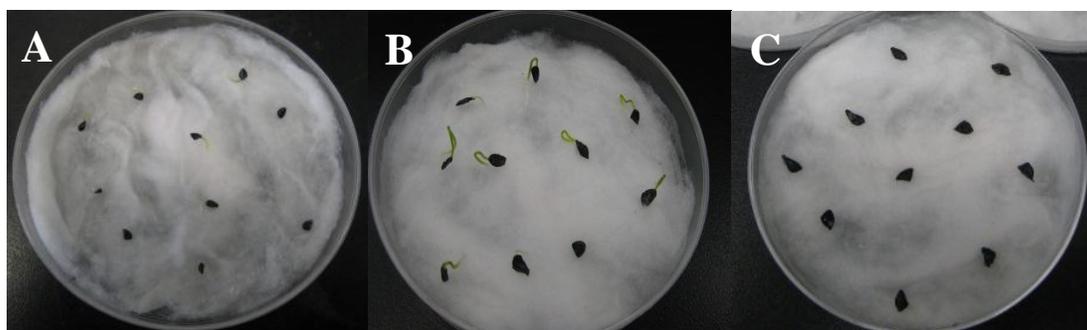


Figura 14. Germinación de semillas del género *Milla*. (A) plántulas de *Milla filifolia*. (B) *M. magnifica* y (C) *M. mexicana*.

El porcentaje germinativo para las semillas de *Milla filifolia* es de 96%, para *M. magnifica* del 89% y para *M. mexicana* de un 91%. Esto indica que el esfuerzo reproductivo es bueno y la respuesta fisiológica que tuvieron las semillas hacia el



tratamiento de remojo es favorable, al promover el rompimiento de latencia en menor tiempo, generando una germinación rápida y uniforme. Estos resultados coinciden con los de Escobar (2009), quien reporta para algunas especies del género *Agave* tiene una germinación de 99.6 a 100% a una temperatura promedio de 25 a 35° C. Sus resultados los atribuye a que las semillas son eficientes en la propagación sexual, germinan fácilmente y con alta luminosidad.

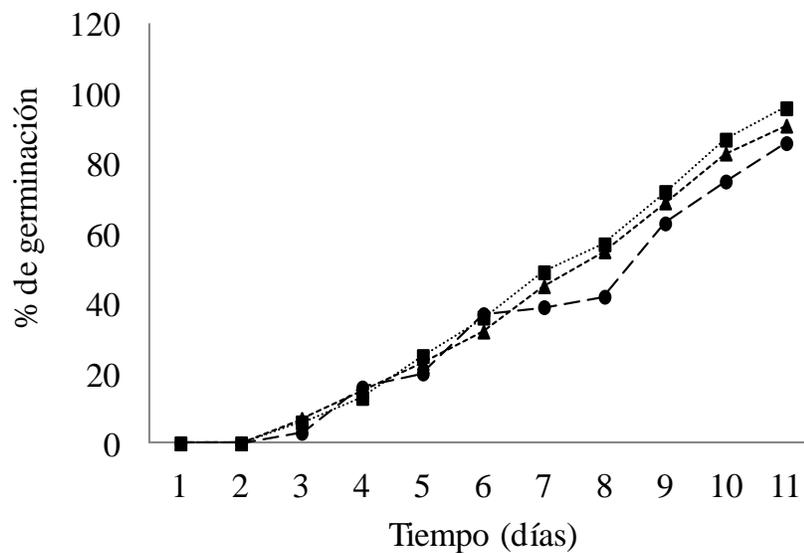


Figura 15. Curva de germinación del género *Milla*. (■) *M. filifolia* (▲) *M. magnifica* y (●) *M. mexicana*.

### 8.7 Establecimiento

Para llevar a cabo el establecimiento se realizó una germinación directa en el sustrato con riego a capacidad de campo y temperatura a 30° bajo condiciones de invernadero. Este tratamiento no tuvo éxito. Posiblemente, se debió a que las semillas fueron sembradas a una profundidad mayor de 1cm, lo cual provocó que las semillas no tengan

la luz necesaria para germinar. Con la finalidad de conocer si el establecimiento de las plántulas tendría éxito en los diferentes sustratos, se procedió a germinar las semillas en cajas Petri y posteriormente se trasladaron en cada tipo edáfico ya mencionado por un lapso de 12 semanas para así calcular la supervivencia.

Para *M. filifolia* el suelo de procedencia zona arqueológica (Za) presentó el mayor porcentaje de supervivencia con un 80%, esto concuerda con su distribución, al ser el tipo edáfico donde se desarrolla de forma natural, pero no concuerda su establecimiento con la presa el Abrevadero, donde se obtuvo un porcentaje de 68% (figura 16).

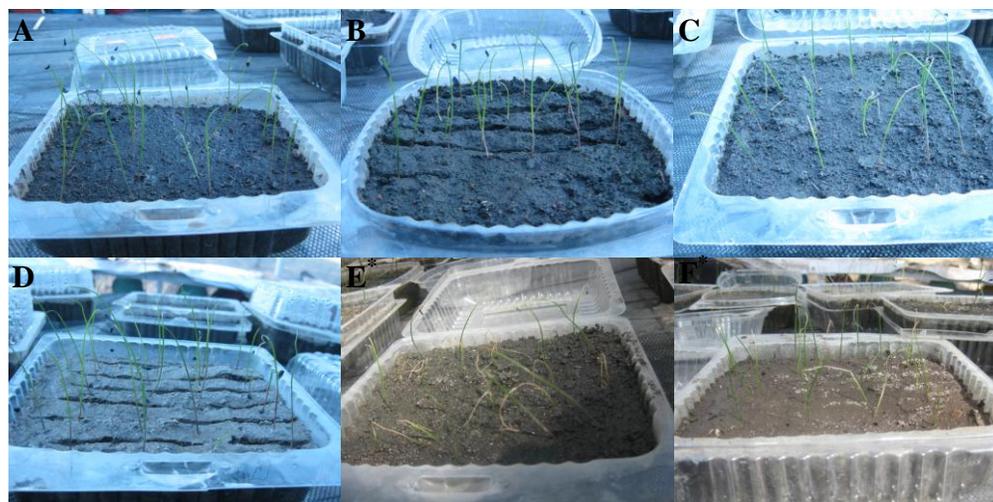


Figura 16. Establecimiento de *Milla filifolia* en las diferentes localidades. (A) los Sabinos, (B) kilometro 110, (C) San Agustín, (D) Huehuetlán, (E\*) presa el Abrevadero y (F\*) zona arqueológica. Letras con asterisco representan suelos testigos.

En cuanto a *Milla magnifica*, presentó un porcentaje de supervivencia de 72% para San Agustín (Sa) y kilometro110 (Km) seguido de los Sabinos (Sb) con un 68%. La presa el Abrevadero (Pr) y zona arqueológica (Za) tuvieron un porcentaje de 64%.



Exceptuando a Huehuetlán (Hh) donde esta especie no tuvo establecimiento. Posiblemente esto se debe a la alta concentración de K en este suelo, que resultó tener la mayor concentración con los otros analizados, es recomendable analizar niveles de tolerancia de este elemento químico para *M. magnifica* u otros que puedan influir en su desarrollo. También pudo ocurrir un daño en la radícula durante el trasplante (Figura 17).

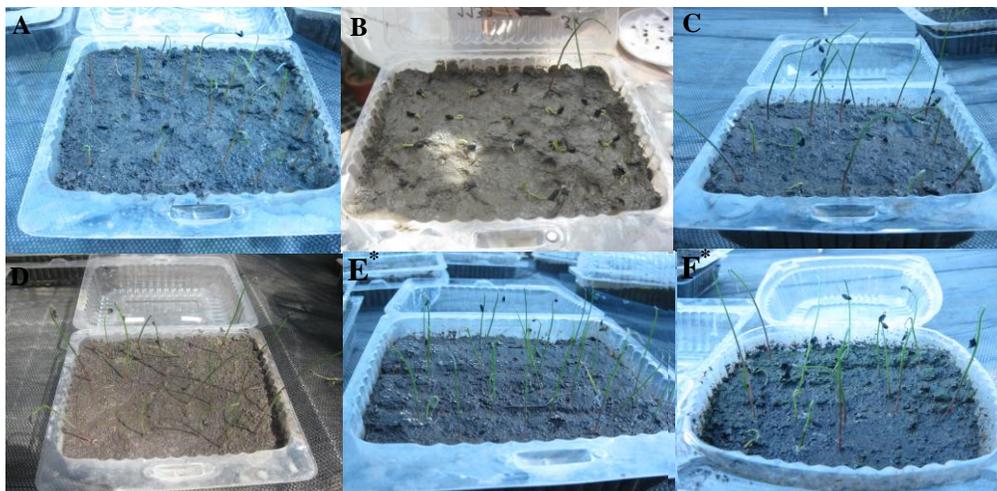


Figura 17. Establecimiento de *Milla magnifica* en las diferentes localidades. (A) San Agustín, (B) Huehuetlán, (C) presa el Abrevadero, (D) zona arqueológica, (E\*) Los Sabinos y (F\*) kilometro 110. Las letras con asterisco representan suelos testigos.

Por último en el caso de *Milla mexicana* el porcentaje más alto de plántulas que se establecieron corresponde a Huehuetlán (Hh) los Sabinos (Sa) kilometro 110 (Km) presa el Abrevadero (Pr) con 76%, para San Agustín (Sa) un 71% y el porcentaje más bajo corresponde a Za con 67% (Figura 18). Grimme (1982), menciona que un individuo se ha establecido cuando sobrevive a un periodo crítico a un ambiente determinado o cuando ha ocurrido por lo menos un evento reproductivo (establecimiento ecológico).

Estos resultados, posiblemente estén influidos por el trasplante y un posible daño en radícula, tiempo de exposición de la raíz al aire y deficiencia en el desarrollo de la plántula. Los valores y el establecimiento de los otros tipos edáficos se pueden observar en la Figura 19.

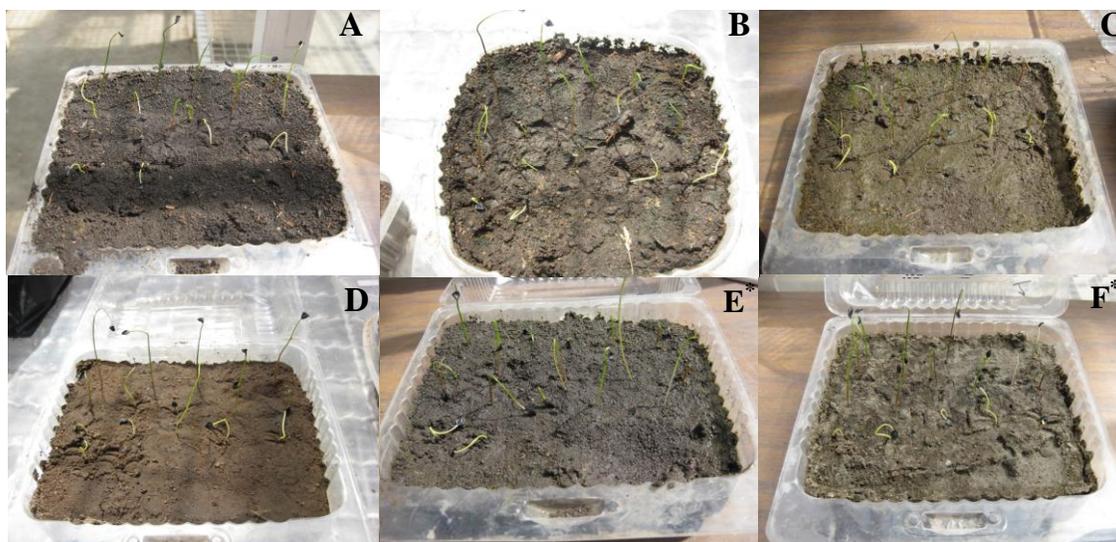


Figura 18. Establecimiento de *Milla mexicana* en las diferentes localidades. (A) los Sabinos, (B) kilometro 110, (C) presa el Abrevadero, (D) zona arqueológica, (E\*) San Agustín y (F\*) Huehuetlán. Letras con asterisco representan suelos testigos.

En términos generales las tres especies estudiadas presentan diferentes requerimientos para su establecimiento, que consisten en que el suelo tenga buena retención de humedad, temperatura entre 25 a 35°C y por lo menos 12 horas luz.

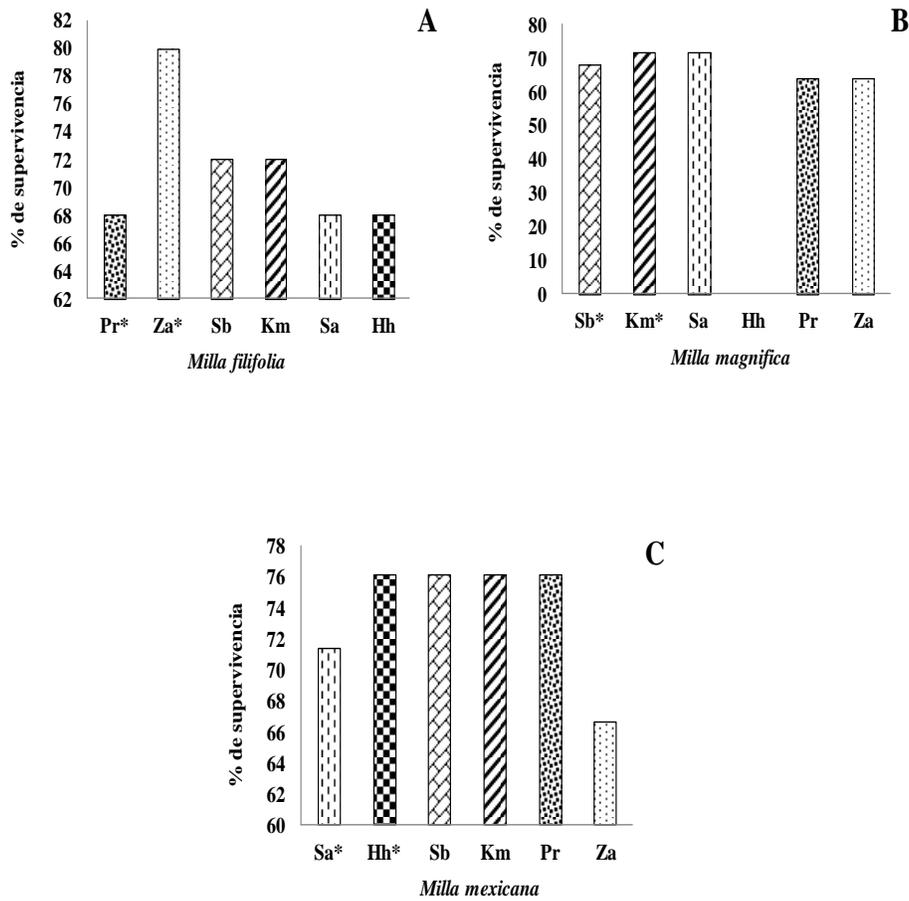


Figura 19. Porcentaje de supervivencia para (A) *Milla filifolia*, (B) *M. magnifica* y (C) *M. mexicana*. Asterisco representa tratamiento testigo (\*).

### 8.8 Desarrollo vegetativo: largo de hoja, diámetro del cormo, longitud de cormo y longitud de raíz.

La figura 20 muestra la variación en el largo de la hoja para las tres especies de *Milla* de acuerdo al análisis de varianza, ( $p > 0.05$ , Tukey).

Se encontraron diferencias significativas en *M. filifolia* (A) se observaron tres grupos estadísticamente diferentes los cuales, presentan diferentes concentraciones de Ca

y pH. Estos factores pueden intervenir en el crecimiento de la raíz. El pH del suelo afecta significativamente la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Cruz-Flores, 2006). Por otro lado el Ca está involucrado en la división celular, tomando en cuenta que hay un mayor crecimiento en Sabinos, Km 110 y San Agustín, contrario de suelos testigos. Para *M. magnifica* (**B**) se encontraron diferencias significativas en todos los sustratos analizados. Lo anterior indica que la hoja adquiere un crecimiento determinado de acuerdo a las características del sustrato.

Por último *M. mexicana*, presenta tres grupos con diferencias significativas, al igual que *M. filifolia* el pH y Ca son los elementos que tuvieron mayor efecto en el crecimiento de esta estructura. Se observa que los suelos de *M. filifolia* y *M. mexicana* son similares en cuanto concentraciones, por lo que se puede suponer que el calcio tiene un papel fundamental en el crecimiento de las raíces que se desarrollan en suelos ácidos, causado por la baja movilidad del ión calcio en el floema, la aplicación del calcio es de gran importancia para contrarrestar los efectos de la acidez mejorando el crecimiento y la elongación de la raíz (Bidwell, 1979; Cruz-Flores, 2006; Mazliak, 1976).

Las altas concentraciones de Ca ayudan a que los suelos no sean afectados por el pH y las raíces puedan absorber los nutrimentos necesarios para que la planta crezca y se desarrolle de manera adecuada e impide el efecto tóxico de otras sales que podrían estar presentes en exceso (Bidwell, 1979).

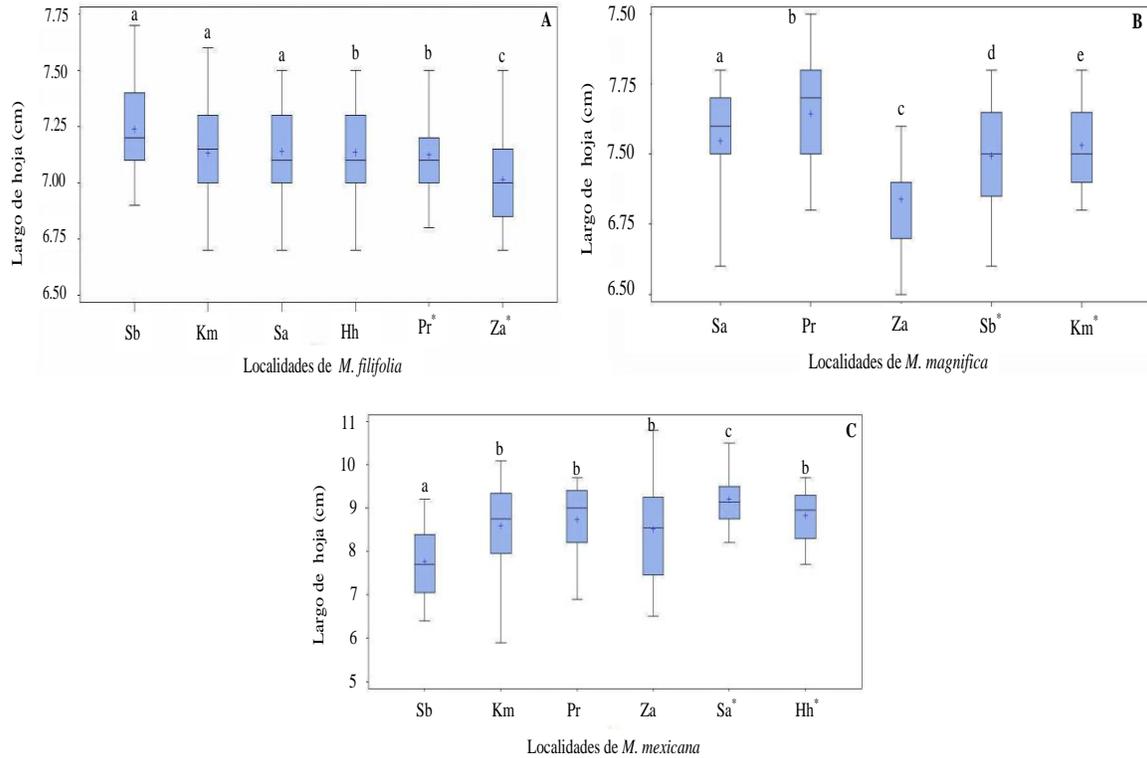


Figura 20. Variación del desarrollo vegetativo del largo de la hoja para (A) *Milla filifolia*, (B) *M. magnifica* y (C) *M. mexicana*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p > 0.05$ , Tukey). Tipo de suelo marcados con asterisco, corresponden a suelos testigos.

En la Figura 21 se muestran el desarrollo vegetativo de longitud y diámetro del cormo para las tres especies del género *Milla* de acuerdo al análisis de varianza, ( $p > 0.05$  con Tukey).

Para *M. filifolia* el análisis estadístico reveló que el diámetro de cormo (A), presenta diferencias significativas entre San Agustín y los Sabinos, Km 110, Huehuetlán, presa el Abrevadero y zona arqueológica. Las altas concentraciones de Mg y bajas Na,

son los elemento que reflejan las diferencias entre los suelos restantes (los Sabinos, Km 110, Huehuetlán, presa el Abrevadero y zona arqueológica). La longitud de corno presentó diferencias significativas en los suelos testigos (presa el Abrevadero y zona arqueológica) en comparacion con los otros suelos estudiados (los Sabinos, km 110, San Agustín y Huehuetlán). Se registraron concentraciones menores a  $15 \text{ cmol kg}^{-1}$  de Ca aproximadamente, además el pH indica que estos suelos son ácidos (presa el Abrevadero y zona arqueológica) contrario a los suelos restantes (los Sabinos, km 110, San Agustín y Huehuetlán) que responden a un pH alcalino.

En *M. magnifica* se encontraron diferencias significativas en el diámetro del corno (**C**) en todos los sustratos analizados. Este resultado indica que el corno responde de manera diferente de acuerdo a los nutrimentos presentes en el suelo. En el caso de longitud de corno (**D**) las diferencias se encuentran en el suelo de los Sabinos donde las concentraciones de Ca y N son mayores con respecto a los suelos restantes. El diámetro del corno en *M. mexicana* (**E**) mostró diferencias significativas entre km 110 y zona arqueológica contra San Agustín, el cual presenta altos valores de concentración de Mg y bajas de Na y N con respecto a los otros suelos; para la longitud de corno (**F**) existen diferencias significativas entre los Sabinos, zona arqueológica y San Agustín contra Km 110, presa el Abrevadero y Huehuetlán. Sin embargo, también existen diferencias estadísticas entre testigos. Este resultado posiblemente se deba que algunos organismos contienen información genética para alcanzar un desarrollo vegetativo diferente.

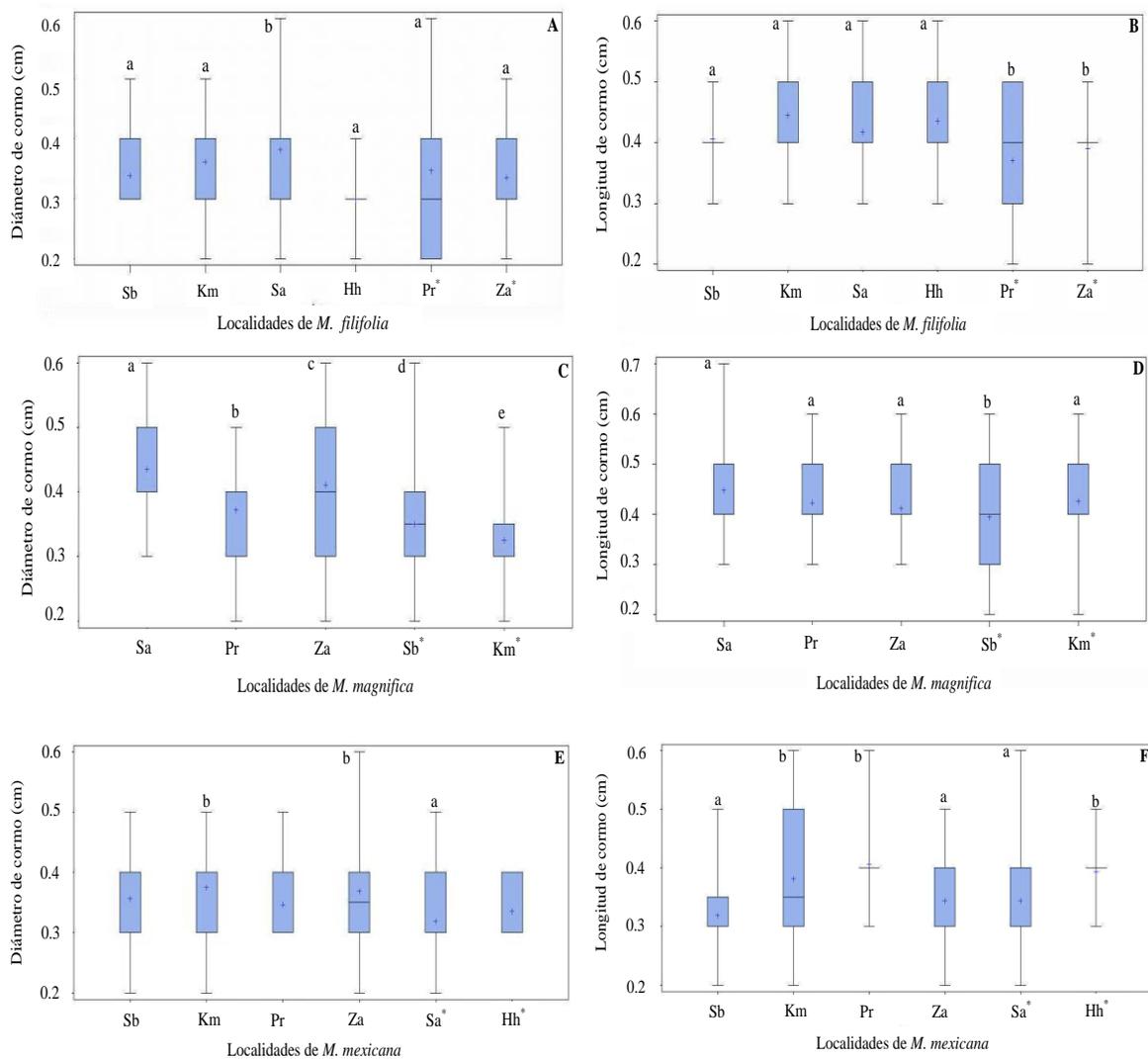


Figura 21. Variación del desarrollo vegetativo del diámetro y longitud de corno. (A, B) *Milla filifolia*, (C, D) *M. magnifica* y (E, F) *M. mexicana*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p > 0.05$ , Tukey). Localidades marcadas con asterisco, corresponden a suelos testigos.

Por último en la figura 22 se muestra la variación del desarrollo de la longitud de raíz para las tres especies de *Milla* de acuerdo al análisis de varianza, ( $p > 0.05$  con Tukey).

La longitud de raíz (**A**) en *M. filifolia*, presento diferencias significativas entre los Sabinos, km 110 y San Agustín frente a Huehuetlán, presa el Abrevadero y zona arqueológica. Las tres primeras zonas de estudio tienen el mayor tamaño de raíz. Para *M. magnifica* (**B**) se encontraron diferencias significativas en zona arqueológica, en comparación con los Sabinos, km 110, San Agustín y presa el Abrevadero. La primera tiene valores más bajos de N, K, P, Ca y Mg, pero más altos en Na. En Huehuetlán no se logró el establecimiento para esta especie, como se mencionó anteriormente. *M. mexicana* (**C**) presenta diferencias significativas entre los suelos de los Sabinos, km 110, presa el Abrevadero, Huehuetlán contra zona arqueológica y a su vez con San Agustín. Esta última presentó el valor más bajo de nitrógeno.

En los suelos donde superviven las tres especies de *Milla*, los niveles de potasio son bajos. Esto hace suponer que en la mayoría de las plantas, el abastecimiento de este mineral y del nitrógeno (N) influyen de manera importante en la morfología y distribución del sistema radical en el suelo. La localización del abastecimiento mineral en el suelo es muy importante ya que las raíces crecen aumentando la densidad radical hacia donde se localiza el nutrimento necesario. Este fenómeno favorece un desarrollo adecuado de la raíz, aumenta la absorción de nutrimentos y la acumulación de biomasa (Cruz-Flores, 2006).

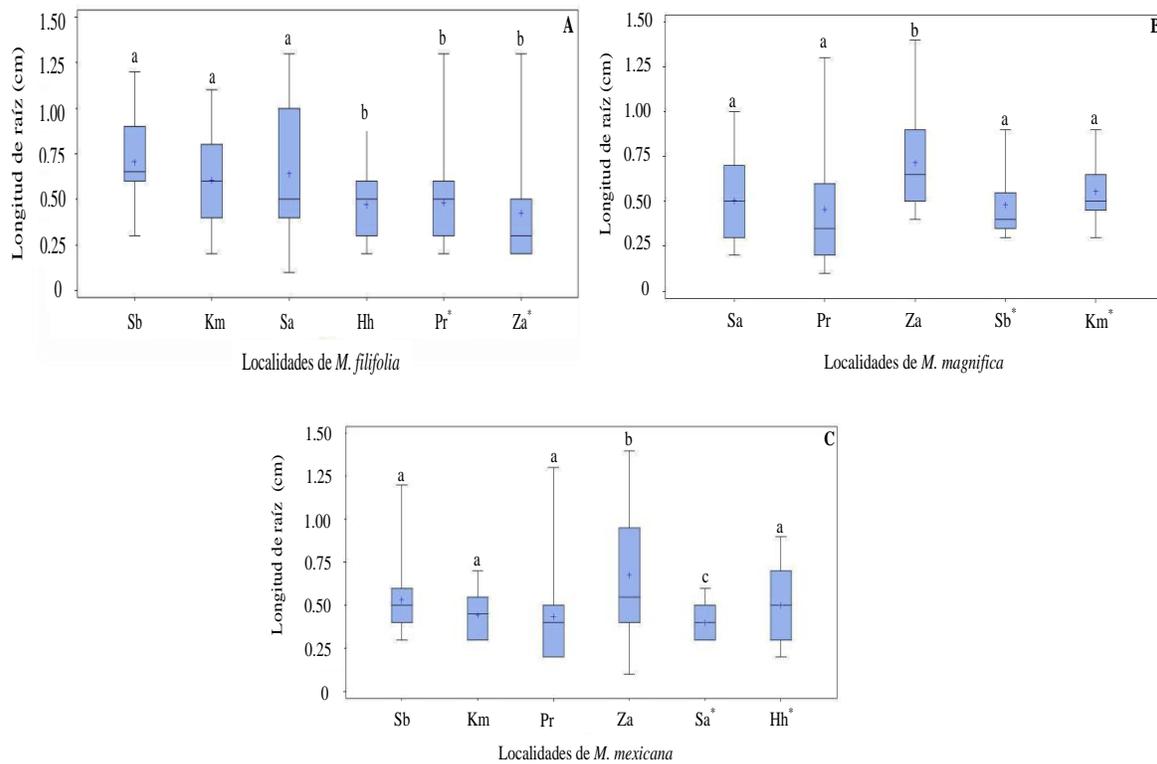


Figura 22. Variación del desarrollo vegetativo de largo de la raíz para (A) *M. filifolia*, (B) *M. magnifica* y (C) *M. mexicana*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p > 0.05$ , Tukey). Tipo de localidades marcadas con asterisco, corresponden a suelos testigos.

En el caso de *M. magnifica* en la localidad de Huehuetlán donde no hubo establecimiento, puede deberse al estadio de nuevas plántula o individuos juveniles en el momento del trasplante, ya que es uno de los estados más críticos del ciclo de vida de las plantas. Para este tipo de especie generalmente tiene pocas reservas, por lo que es una etapa muy vulnerable, cualquier daño conduce a la muerte de la plántula (Grimme, 1982).

## 8.9 Análisis de Componentes Principales.

### 8.9.1 *Milla filifolia*

El Análisis de Componentes Principales (ACP) reveló que los cinco primeros componentes explicaron el 87.28% de la variación total. El primer componente con un valor de carga de 43.92 explicó el 43.92% y las variables con mayor información son: textura (3, 4, 5), conductividad eléctrica (8) y calcio (14). El segundo componente explicó el 18.29% y la variable con mayor carga fue: pH potencial (2) y nitrógeno (10); el tercer componente aportó el 10.63% de la variación. La variable con mayor valor de carga fue el sodio (12). El cuarto componente contribuyó con el 8.48% de la variación el carácter con mayor peso fue magnesio (11) (Anexo 1).

Cuadro 11. Resultados de los cuatro componentes principales para *M. filifolia*. Las letras en negritas corresponden al mayor valor de carga.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4
Valor de carga	0.4392	0.1829	0.1063	0.0848
Porcentaje de variación acumulado	43.92	62.21	72.84	81.33
2. pH potencial	-0.041	<b>0.458</b>	-0.168	-0.271
3. arcilla	<b>0.327</b>	-0.061	-0.184	-0.078
4. arena	<b>-0.341</b>	0.019	0.095	0.053
5. limo	<b>0.322</b>	0.084	0.129	0.013
8. conductividad eléctrica	<b>0.329</b>	0.14	0.028	-0.078
10. N	-0.043	<b>0.456</b>	0.05	0.343
11. Mg	-0.166	-0.038	-0.2	<b>0.601</b>
12. Na	0.116	-0.004	<b>0.627</b>	0.017
14. Ca	<b>0.323</b>	0.132	-0.043	-0.162



### 8.9.2 *Milla magnifica*

Para *M. magnifica* los primeros cinco componentes explicaron el 87.30% de la variación total. El primer componente con un valor de carga 0.4379 aportó el 43.79% y las variables con mayor información fueron: textura (3, 4, 5) y calcio (14). El segundo componente explicó el 18.43% y las variables con mayor valor de carga son: pH potencial (2), nitrógeno (10) y potasio (K). El tercer componente contiene el 10.72 % de la variación, la variable con mayor valor de carga fue sodio (12). El cuarto componente contribuyó con el 8.4% donde el magnesio (11) es el carácter con mayor peso (Anexo 2).

Cuadro 12. Resultado de los cuatro componentes principales para *M. magnifica*. Las letras en negritas corresponden al mayor número de carga.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4
Valor de carga	0.4379	0.1843	0.1072	0.084
Porcentaje de variación acumulado	43.79	62.21	72.94	81.34
2. pH potencial	-0.0397	<b>0.4565</b>	-0.1724	-0.2708
3. arcilla	<b>0.3279</b>	-0.0658	-0.1818	-0.0812
4. arena	<b>-0.3416</b>	0.0223	0.0964	0.0547
5. limo	<b>0.3235</b>	0.0845	0.121	0.0162
10. N	-0.042	<b>0.4547</b>	0.0322	0.346
11. Mg	-0.1674	-0.0502	-0.2103	<b>0.599</b>
12. Na	-0.1143	0.0125	<b>-0.6243</b>	0.024
13. K	0.1783	<b>0.4276</b>	0.0962	0.1267
14. Ca	<b>0.324</b>	0.1334	-0.0439	-0.1629

### 8.9.3 *Milla mexicana*

El Análisis de Componentes Principales (ACP) practicado para cada uno de los suelos donde se estableció *M. mexicana* incluyendo sus testigos mostró que los cinco primeros componentes explicaron un 89.65 % de las variación total. El primer componente con un valor de carga de 49.28 explico el 49.28 % y las variables con mayor información fueron arcilla (3), arena (4), limo (5) y calcio (14). El segundo componente aportó el 14.43% y las variables con mayor carga fueron: nitrógeno (10) y sodio (12). El tercer componente y que a la vez contribuyó con el 12.95% donde la variable con mayor valor de carga fue pH potencial (2). El cuarto componente contiene 7.21% de la variación y los caracteres con mayor peso fueron: ancho del corno (17) y longitud del corno (18). El quinto componente explicó el 5.79% donde la variable con mayor carga es longitud de la hoja (16) (Anexo 3).

Cuadro 13. Resultados de los cuatro primeros componentes principales para *M. mexicana*. Las letras en negritas significan mayor número de carga.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4
Valor de carga	0.493	0.1443	0.13	0.072
Porcentaje de variación acumulado	49.28	63.71	76.66	83.86
2. pH potencial	-0.204	0.255	<b>0.544</b>	-0.21
3. arcilla	<b>0.307</b>	0.137	0.006	-0.16
4. arena	<b>-0.318</b>	-0.084	0.028	0.106
5. limo	<b>0.32</b>	-0.045	-0.11	0.026
10. N	-0.11	<b>0.42</b>	-0.39	0.112
12. Na	-0.071	<b>-0.499</b>	-0.07	0.339
14. Ca	<b>0.309</b>	0.072	0.171	-0.1



Existe una relación notoria entre las variables, para las tres especies de *Milla*: pH potencial, textura, nitrógeno, magnesio y calcio. Lo anterior hace plantear que las propiedades físicas y dichos elementos son necesarios para su establecimiento. Estas especies se han adaptado a condiciones edáficas adversas, que dependen de factores climáticos, condiciones físicas y químicas del suelo. Las especies de *Milla* sobreviven generalmente en suelos someros y pobres en nutrimentos, es frecuente encontrarlas en suelos de origen calcáreo (cálcícolas) o en lugares abiertos o perturbados de matorrales xerófilos, bosques templados y vegetación tropical seca. Los microambientes que ocupan, les permite establecerse en sitios donde pocos vegetales lo podrían hacer, lo anterior limita la competencia por los nutrimentos presentes. Las raíces de estas plantas generalmente son fibrosas, pero es común observar el desarrollo de raíces pivotantes, rizomas y cormelos, como ocurre con *M. mexicana*. Los cormelos se pueden desarrollar de yemas laterales del corno, además de los rizomas que también son originados de estas yemas. La modificación de órganos como la raíz y el tallo permite a estos vegetales almacenar nutrimentos y agua para tolerar las condiciones de aridez y empobrecimiento del suelo. El corno por sí es un vástago modificado, subterráneo y carnoso, cuya función es almacenar todo el material de reserva que será utilizado durante la época seca, además de ser el encargado de generar las raíces, hojas y estructuras reproductoras. Las hojas también tienen un papel importante para que la especie tenga éxito al habitar suelos someros y tolerar altas temperaturas. Generalmente este órgano es delgado y corto, sin embargo en las especies de *M. magnifica* y *M. mexicana* pueden crecer hasta 1.5 m, cuando esto ocurre son fistulosas, posiblemente para evitar un gasto energético grande y exponer mayor superficie que permita captar mayor cantidad de luz. En general estas

adaptaciones les ayudan a tolerar el estrés hídrico y nutrimental. La disponibilidad del Hierro (Fe) y Zinc (Zn), en los suelos donde se desarrollan estas tres especies y generalmente en los bosques tropicales caducifolios los niveles son bajos, es frecuente encontrar altas concentraciones de calcio y bicarbonatos en la solución del suelo, seguramente estos últimos son clave para entender la distribución ecológica y su preferencia a suelos ricos en estos minerales.

## 9. CONCLUSIONES

- Las especies evaluadas presentan alta eficiencia en la reproducción sexual y tienen buena adaptación a suelos tipo Leptosol, pobres en nutrimentos y ricos en carbonatos de calcio
- *M. filifolia*, *M. magnifica* y *M. mexicana* desarrollan semillas con alta capacidad germinativa, esta característica les permite reclutar una gran cantidad de individuos, con la finalidad de tener mayor éxito en la supervivencia ante las condiciones ambientales donde se desarrollan.
- Las propiedades físicas y químicas de los suelos donde se desarrollan las tres especies no son un factor limitante para el establecimiento de las mismas. Pero, pueden influir en el desarrollo de estructuras reproductoras o afectar la compatibilidad genética durante la polinización y fertilización.
- Las especies del género *Milla* han generado adaptaciones morfológicas que les han permitido desarrollarse en los suelos someros y pobres en nutrimentos.
- Las altas concentraciones de Ca y Mg en el suelo, pueden ser un factor que determine el endemismo de estas especies.



## 10. LITERATURA CITADA

Anónimo 2011. Sistema Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/>. Consultado el 09 de Noviembre del 2011.

Anónimo 2007. WRB (World Reference Base for Soil Resources). Informe sobre recursos Mundiales de Suelo No.103. FAO, Roma.

Baskin J.M. y C.C. Baskin. 1988. Endemism in Rock Outcrop Plant Communities of Unglaciated Eastern United States: An Evaluation of the Roles of the Edaphic, Genetic and Light Factors. *Journal of Biogeography* 15: 829-340.

Bidwell R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. AGT S.A., México, D.F.

Black, A.C. 1975. Relaciones Suelo-Planta. Hemisferio sur, Buenos Aires, Argentina.

Bradshaw H. D., K. G. Otto, B. E. Frewen, J. K. McKay y D. W. Schemske. 1998. Quantitative trait loci affecting differences in floral morphology between two species of monkeyflower (*Mimulus*). *Genetic* 149: 367-382.

Brooks, R.R. 1987. Serpentine and its vegetation, a multidisciplinary approach. Dioscorides Press, Portland, Oregón.

Caesalpino A. 1583. De plantis libris XVI, 369. G. Marescotti, Firenze.

Cain S. A. 1944. Foundations of plant geography: Harper Bros. New York.

- Camacho M. F. 1994. Fisiología de la germinación. En: Semillas Forestales. Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, D.F.
- Chan R., B. G. Baldwin, R. Omduff. 2001. Gold-fields revisited: A molecular phylogenetic perspective on the evolution of *Lasthenia* (Compositae: Heliantheae *sensu lato*): *International Journal of Plant Sciences* 162: 1347-1360.
- Christie P, y M. R. MacNair 1987. The distribution of postmating reproductive isolating genes in populations of the yellow monkeyflower, *Mimulus guttatus*. *Evolution* 41: 571-578.
- Cruz-Flores G. 2006. Ecología del suelo: un enfoque hacia la nutrición mineral de las plantas superiores. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.
- Cuanalo C. de la H. 1975. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México.
- Domínguez B. 2011. Levantamiento nutrimental en *Abies Religiosa* a lo largo de un ciclo anual en el parque nacional Izta-popo, en México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.
- Escamilla B. 2005. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la Península de Yucatán: comunidades dominadas por palmas. En: Orellana, R., J. A. Escamilla y



A. Larqué-Saavedra (Eds.). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida.

Escobar J. 2009. Ecofisiología de la germinación de cuatro especies de zonas semiáridas del Estado de Hidalgo, en México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Simón Bolívar. México, D.F.

Etchevers J.D., G. Goijberg de Etchevers, R. López, J.P. Cuevas, J. Alvarado, C. Hidalgo Ma. Cruz., A. Guerrero, B. Gutiérrez y E. Miranda. 1994. Manual de Procedimientos Analíticos para Análisis de Suelos y Plantas del Laboratorio de Fertilidad de Suelos. IRENETA – Colegio de Postgraduados y la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México, D.F.

Fay M.F. y M.W. Chase. 1996. The resurrection of *Themidaceae* for the *Brodiaea* alliance, and recircumscription of *Alliaceae*, *Amaryllidaceae* and *Agapanthoideae*. *Taxon* 45: 441-451.

Feria-Arrollo T. 2004. Patrones de distribución de las aves residentes de la cuenca del Balsas. Tesis de M. en C. (Biología Animal). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.

Fiedler P.L. 1985. An investigation into the nature of rarity in the genus *Calochortus* Pursh (Liliaceae). Ph.D. dissertation University of California, Berkeley.

- Galván R. 2001. Alliaceae. En: Rzedowski, G. y J. Rezendowski (Ed). Flora Fanerogámica del Valle de México. 2ª Ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.
- Gardner M., y M. R. MacNair. 2000. Factors affecting the co-existence of the serpentine endemic *Mimulus nudatus* Curran and its presumed progenitor *Mimulus guttatus* Fischer ex DC. *Biological Journal of the Linnean Society* 69: 443-459.
- Grimme J. P. 1982. Estrategias de Adaptación de las plantas y procesos que controlan la vegetación. Limusa. México, D.F.
- Hannon D.P. 1993. *Milla* and its allies, a brief overview. *Herbertia* 49: 87-92.
- Harrison S., E. Damschen y B.M. Going 2009. Climate Gradients, Climate Change, and Special Edaphic Floras. *Soil and Biota o/Serpentine: A World View Northeastern Naturalis* 16: 121-130.
- Halffter G y E. Ezcurra. 1992. ¿Qué es la biodiversidad? En: Acta Zoológica Mexicana “La diversidad biológica de Iberoamérica I”. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. México.
- Hartmann H.T. 1978. Propagación de plantas. Continental, S.A., México, D.F.
- Howard T.M. 1999. Three new *Milla* species from Mexico. *Herbertia* 54: 232-237.
- Jackson M. 1982. Análisis químico de suelo. Omega Barcelona, S.A., México, D.F.



Jenny H. 1941. Factors of soil formation, a system of quantitative pedology. McGraw Hill. New York.

Johnson I.M. 1941. Gypsophily among Mexican desert plants. *Journal Arnold Arbor* 22(2): 145-170.

Kruckeberg A. R. y D. Rabinowitz. 1985. Biological aspects of endemism in higher plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 447-479.

Kruckeberg A. R. 1986. The stimulus of unusual geologies for plant speciation. *Systematic Botany* 11: 455-463.

Lenz L.W. 1971. Chromosome numbers in the *Milla* Cav. (Liliaceae). *Aliso* 7: 221-234.

Lyon G. L., R. R. Brooks, P. J. Peterson, y G. W. Butler. 1968. Trace elements in a New Zealand serpentine flora. *Plant Soil* 29: 225- 240.

MacNair M. R., y P. Christie. 1983. Reproductive isolation as a pleiotropic effect of copper tolerance in *Mimulus guttatus*. *Heredity* 50: 295-302.

MacNair M. R., V. E. MacNair y B. E. Martin. 1989. Adaptive speciation in *Mimulus*: An ecological comparison of *M. cupriphium* with its progenitor, *M. guttatus*. *New Phytologist* 112: 269-279.

MacNair M. R., y M. Gardner. 1998. The evolution of edaphic endemics: En Howard, D. J., and Berlocher, S. H., (eds). *Endless forms: Species and speciation*: Oxford University Press. New York, NY.

- Martínez M. 1944. Plantas Medicinales de México. Botas, S.A., México, D.F.
- Martinez-Nava N. 2009. Relación suelo-planta de tres especies del género *Manfreda* Salisb., (Agavaceae) en México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Mazliak P. 1976. Fisiología Vegeta, Nutrición y metabolismo. Omega, S.A., Barcelona.
- Montognes J. R. S y D. H. Vitt. 1991. Pattern of Morphological Variation in *Meesia triquetra* (Byopsida:Meesiaceae) over an Artic- Boreal Gradient. *Systematic Botany* 16: 726-735.
- Moore H.E. 1953. The genus *Milla* (Amaryllidaceae- Allieae) and its allies. *Gentes Herbarum* 8: 262-294.
- Munsell Soil Color Chart 1990. Munsell color. Macbeth Divition of Kollmorgen instruments Corporation. Baltimore, Maryland.
- Nobel P. S. 1998. Los incomparables Agaves y Cactus. Trillas. México, D. F.
- Ornduff R. 1965. Ornithocrophilous endemism in pacific basin angiosperms. *Ecology* 46: 864-867.
- Ornduff R. 1966. A biosystematic survey of the Goldfield genus *Lasthenia* (Compositae: Helenieae). *University of California Publications in Botany* 40: 1-92.



- Pires J.C y K.J. Sytsma. 2002. A phylogenetic evaluation of a biosystematic framework: *Brodiaea* and related petalid monocots (Themidaceae). *American Journal of Botany* 89: 1342-1359.
- Rabinowitz D., S. Cairns y T. Dillon. 1986. Seven kinds of rarity. En: Soulé, M.E. Conservation Biology. Sinauer, Sunderland, Mass.
- Rajakaruna N y B.A. Bohm. 1999. The Edaphic and Patterns of Variation in *Lasthenia Californica* (Asteraceae). *American Journal of Botany* 86(11): 1576-1596.
- Rajakaruna N. y J. Whitton. 2004. Trends in the evolution of edaphic specialists with an example of parallel evolution in the *Lasthenia californica* complex. En: Plant adaptation: Molecular Biology and Ecology, Q.C.B. Cronk, I.E.P. Taylor, R. Ree and J. Whitton (Eds): 103-110.
- Rajakaruna N. 2004. The Edaphic Factor in the Origin of Plant Species. *International Geology Review* 46: 471-478.
- Ramp L. 1978. Investigations of nickel in Oregon. Dep. Geol. Miner. Ind. Misc. Paper No.20. Dept. Geol. And Miner. Ind. Grants Pass, Oreg.
- Raven P.H. 1964. Catastrophic Selection and Edaphic Endemism. *Evolution* 18(2): 336-338.
- Ravenna P.F. 1971. A new *Milla* species from Mexico. *The amaryllis year book* 60: 89-90.

- Reyes J.I. 1996. Fundamentos teóricos-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo. UNAM. México, D.F.
- Richter G. 1984. Fisiología del metabolismo de las plantas "Una introducción a la fisiología y bioquímica del metabolismo primario". Continental, S.A. México, D.F.
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora Fanerogámica de México. *Acta Botánica de México* 14: 312-333.
- Rzedowski J. 1991b. Endemismo en la Flora Fanerogámica Mexicana: Una Apreciación Analítica Preliminar. *Acta Botánica de México* 15: 337-357.
- Rzedowski G. y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2ª Ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.
- Sulton S. E. y F. A. Bazzaz. 1993. Phenotypic plasticity in *Polygonum persicaria*. III. The evolution of ecological breadth for nutrient environment. *Evolution* 47: 1050-1071.
- Tatros T.M. 1957. Evidence of the presence of an edapho-biotic factor in the problem of serpentine tolerance. *Ecology* 38: 14-23.
- Thompson L.M. 1982. Suelos y Fertilidad. Reverté, S.A. España.



- Thuresson G. 1922. The genotypical response of the plant species to habitat. *Hereditas* 3:211-350.
- Tisdale, L.S. y Nelson , L.W. 1970. fertilidad de los suelos y fertilizantes. De. Montaner y Simón S.A. Barcelona España pp. 444 - 481.
- Vasey M. C., 1985. The specific status of *Lasthenia marítima* (Asteraceae), an endemic of seabird breeding habitats. *Madroño* 32: 131-142.
- Villareal J. A., J Valdez. y J. L. Villaseñor 1996. Corología de las asteráceas de Coahuila México. *Acta Botánica de México* 36: 29-42.
- Villareal J.A. y J.A. Encina. 2005. Plantas Vasculares Endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana*, enero, No. 070, Instituto de Ecología A.C. Pátzcuaro.
- Vinton M. A. y I. C. Burke. 1995. Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology* 76: 1116-1133.
- Whittaker R.H. 1954. The ecology of serpentine soils. III. The vegetational response to serpentine soils. *Ecology* 35: 275-288
- Young B. 2007. Distribución de las especies endémicas en la vertiente oriental de los Andes en Perú y Bolivia. NatureServe, Arlington, Virginia, USA.
- Zunino M y A. Zullini. 2003. Biogeografía: La dimensión espacial de la evolución. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

## **11. ANEXOS**



Anexo 1. Resultados del análisis de componentes principales de *Milla filifolia*, al considerar 19 caracteres. Los caracteres con mayor valor de carga están resaltados con negrita.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4	Prin 5	Prin 6	Prin 7
Valor de carga	<b>0.4392</b>	<b>0.1829</b>	<b>0.1063</b>	<b>0.0848</b>	<b>0.0595</b>	<b>0.05</b>	<b>0.038</b>
Porcentaje de variación acumulado	<b>43.92</b>	<b>62.21</b>	<b>72.84</b>	<b>81.33</b>	<b>87.28</b>	<b>92.28</b>	<b>96.08</b>
1. pH activo	0.211	0.382	0.205	0.069	-0.121	-0.01	0.06
2. pH potencial	-0.041	<b>0.458</b>	-0.168	-0.271	0.201	0.003	-0.177
3. arcilla	<b>0.327</b>	-0.061	-0.184	-0.078	0.041	-0.003	-0.098
4. arena	<b>-0.341</b>	0.019	0.095	0.053	0.009	0.008	0.053
5. limo	<b>0.322</b>	0.084	0.129	0.013	-0.128	-0.019	0.059
6. MO	0.291	-0.246	0.117	0.053	-0.071	0.022	0.089
7. DA	-0.223	0.069	0.407	-0.33	0.16	0.057	0.146
8. CE	<b>0.329</b>	0.14	0.028	-0.078	-0.001	0.003	-0.019
9. P	-0.309	0.186	-0.088	-0.035	0.118	0.011	-0.074
10. N	-0.043	<b>0.456</b>	0.05	0.343	-0.202	-0.035	0.012
11. Mg	-0.166	-0.038	-0.2	<b>0.601</b>	-0.281	-0.055	-0.012
12. Na	0.116	-0.004	<b>0.627</b>	0.017	-0.127	0.031	0.314
13. K	0.177	<b>0.428</b>	0.114	0.122	-0.161	-0.033	0.023
14. Ca	<b>0.323</b>	0.132	-0.043	-0.162	0.064	0.007	-0.064
15. CO	0.29	-0.244	0.142	0.046	-0.073	0.017	0.1
16. Longitud hoja	0.069	0.086	-0.201	0.143	0.468	-0.524	<b>0.653</b>
17. Ancho del cormo	0.1	-0.146	0.233	0.375	0.4	-0.015	-0.2
18. Longitud del cormo	0.067	0.083	0.245	0.312	<b>0.554</b>	0.166	-0.348
19. Longitud de raíz	0.047	0.076	-0.231	0.113	0.148	<b>0.827</b>	0.458

Anexo 2. Resultados del análisis de componentes principales de *Milla magnifica*, al considerar 19 caracteres. Los caracteres con mayor valor de carga están resaltados con negrita.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4	Prin 5	Prin 6	Prin 7
<b>Valor de carga</b>	<b>0.4379</b>	<b>0.1843</b>	<b>0.1072</b>	<b>0.084</b>	<b>0.0596</b>	<b>0.05</b>	<b>0.0379</b>
<b>Porcentaje de variación acumulado</b>	<b>43.79</b>	<b>62.21</b>	<b>72.94</b>	<b>81.34</b>	<b>87.3</b>	<b>92.3</b>	<b>96.1</b>
1. pH activo	0.211	0.3853	0.1905	0.0734	-0.1271	-0.0105	0.0611
2. pH potencial	-0.0397	<b>0.4565</b>	-0.1724	-0.2708	0.199	0.0005	-0.1794
3. arcilla	<b>0.3279</b>	-0.0658	-0.1818	-0.0812	0.045	-0.0027	-0.0993
4. arena	<b>-0.3416</b>	0.0223	0.0964	0.0547	0.0086	0.0083	0.054
5. limo	<b>0.3235</b>	0.0845	0.121	0.0162	-0.1352	-0.0206	0.0619
6. MO	0.2914	-0.2434	0.1244	0.0541	-0.0683	0.0249	0.0896
7. DA	-0.2204	0.0851	0.413	-0.3256	0.1554	0.0539	0.1466
8. CE	0.33	0.1429	0.257	-0.0775	-0.0032	0.0029	-0.0194
9. P	-0.3095	0.1881	-0.0877	-0.0365	0.1207	0.0111	-0.077
10. N	-0.042	<b>0.4547</b>	0.0322	0.346	-0.2064	-0.0339	0.0131
11. Mg	-0.1674	-0.0502	-0.2103	<b>0.599</b>	-0.277	-0.0503	-0.0118
12. Na	-0.1143	0.0125	<b>-0.6243</b>	0.024	-0.1362	0.0295	0.3171
13. K	0.1783	<b>0.4276</b>	0.0962	0.1267	-0.1696	-0.0343	0.025
14. Ca	<b>0.324</b>	0.1334	-0.0439	-0.1629	0.0641	0.0064	-0.0659
15. CO	0.2908	-0.241	0.1493	0.0474	-0.0714	0.0189	0.101
16. Longitud hoja	0.0698	0.0836	-0.2014	0.134	0.4692	-0.5289	<b>0.6505</b>
17. Ancho del corno	0.1011	-0.1368	0.2431	0.3782	0.4018	-0.0177	-0.21
18. Longitud del corno	0.069	0.0956	0.2485	0.3124	<b>0.5438</b>	0.156	-0.3478
19. Longitud de raíz	0.0481	0.0748	-0.2288	0.1111	0.1649	<b>0.8277</b>	0.455



Anexo 3. Resultados del análisis de componentes principales de *Milla mexicana*, al considerar 19 caracteres. Los caracteres con mayor valor de carga están resaltados con negrita.

	Prin 1	Prin 2	Prin 3	Prin 4	Prin 5	Prin 6
<b>Valor de carga</b>	<b>0.493</b>	<b>0.1443</b>	<b>0.13</b>	<b>0.072</b>	<b>0.0579</b>	<b>0.0519</b>
<b>Porcentaje de variación acumulado</b>	<b>49.28</b>	<b>63.71</b>	<b>76.66</b>	<b>83.86</b>	<b>89.65</b>	<b>94.84</b>
1. pH activo	0.262	0.017	0.159	0.187	0.446	0.048
2. pH potencial	-0.204	0.255	<b>0.544</b>	-0.21	0.1	0.053
3. arcilla	<b>0.307</b>	0.137	0.006	-0.16	-0.145	0.003
4. arena	<b>-0.318</b>	-0.084	0.028	0.106	0.101	-0.001
5. limo	<b>0.32</b>	-0.045	-0.11	0.026	0.009	-0.004
6. MO	0.296	-0.164	-0.18	0.105	0.037	-0.016
7. DA	0.182	-0.404	0.295	0.169	0.115	-0.018
8. CE	0.318	0.04	0.114	-0.02	0.103	0.02
9. P	-0.287	0.105	0.255	-0	0.148	0.029
10. N	-0.11	<b>0.42</b>	-0.39	0.112	0.07	0.028
11. Mg	-0.183	0.277	-0.37	0.233	0.208	0.026
12. Na	-0.071	<b>-0.499</b>	-0.07	0.339	0.296	-0.024
13. K	0.264	0.145	0.099	0.167	0.424	0.056
14. Ca	<b>0.309</b>	0.072	0.171	-0.1	0.021	0.018
15. CO	0.296	-0.17	-0.18	0.095	0.021	-0.017
16. Longitud hoja	0.109	-0.191	0.036	0.183	<b>-0.506</b>	0.504
17. Ancho del cormo	0.072	0.271	0.202	<b>0.463</b>	-0.18	-0.233
18. Longitud del cormo	0.029	0.069	0.218	<b>0.51</b>	-0.322	-0.45
19. Longitud de raíz	-0.061	0.17	0.13	0.355	0.02	<b>0.689</b>

#### Anexo 4. Descripción del suelo encontrado en el estudio

##### Leptosol:

El grupo de suelo Leptosol incluye suelos muy someros sobre roca dura o materia altamente calcárea, pero también suelos que son extremadamente gravosos y/o pedregosos. Los leptosoles son suelos azonales con un solum incompleto y/o rasgos morfológicos claramente expresados. Son particularmente en áreas de montaña, se relaciona con Litosoles, taxa de muchos sistemas de clasificación internacional (USA, FAO) y con subgrupos lítico de otras agrupaciones de suelos. En muchos sistemas, los Leptosoles sobre roca calcárea, son denominados RENDZINAS, aquellos sobre rocas ácidas son llamados RANKERS.

##### Suelos que tienen:

1. Roca dura continua; dentro de los primeros 25 cm desde la superficie del suelo o un horizonte Mólico con un espesor entre 10 y 25 cm directamente sobre yaciendo a un material con un contenido de carbonato de calcio equivalente de más del 40%, o menos del 10% (en peso) en la fracción tierra fina desde la superficie del suelo hasta la profundidad de 75 cm o más.
2. No tiene otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte Mólico, Ócrico, Úmbrico o Yérmico.

Unidades de suelo comunes: Lítico, Réndzico, Gélico, Vértico, Mólico, Úmbrico, Húmico, Calcárico, Yérmico, Dístrico, Éutrico, Háptico.