

UNIDAD: IZTAPALAPA

DIVISIÓN: CBS

GRADO: LICENCIATURA EN BIOLOGIA

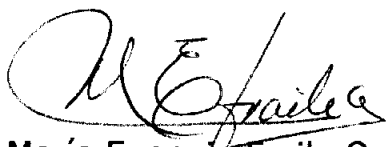
TITULO DEL TRABAJO: FASES INICIALES DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE *Agave marmorata* Roezl. (Agavaceae).

NOMBRE DEL PARTICIPANTE: Lemus Cortes Jorge

NOMBRE DE LOS ASESORES:



M. en C. María Dolores García Suárez



M. en C. María Eugenia Fraile Ortega

Lugar y Fecha de realización del trabajo:

Laboratorio de Propagación y Micropropagación Vegetal.

Departamento de Biología. AS-120 UAM-I.

Laboratorio de Biosistemática de Leguminosas. Departamento de Biología, Área de Botánica. AS-114 UAM-I.

El trabajo se realizo del 3 de Marzo del 2005 al 11 de Noviembre del 2005.

UNIDAD: IZTAPALAPA

DIVISIÓN: CBS

GRADO: LICENCIATURA EN BIOLOGIA

TITULO DEL TRABAJO: FASES INICIALES DEL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE *Agave marmorata* Roezl. (Agavaceae).

NOMBRE DEL PARTICIPANTE: Lemus Cortes Jorge

NOMBRE DE LOS ASESORES:

M. en C. María Dolores García Suárez

M. en C. María Eugenia Fraile Ortega

Lugar y Fecha de realización del trabajo:

Laboratorio de Propagación y Micropropagación Vegetal.
Departamento de Biología. AS-120 UAM-I.
Laboratorio de Biosistemática de Leguminosas. Departamento de
Biología, Área de Botánica. AS-114 UAM-I.

El trabajo se realizo del 3 de Marzo del 2005 al 11 de Noviembre del 2005.

EL MAGUEY

La relación del hombre mesoamericano y el maguey data de 10 000 años A.C., como lo atestiguan las fibras encontradas en las cuevas del Valle de Tehuacán. Hacia el año 2000 a.C., el maguey era cultivado en Tula, Tulancingo y Teotihuacan, lugares donde se han encontrado raspadores para la obtención de aguamiel y de las fibras. Los Anales de Cuauhtitlán refieren que en Texcalapan una mujer otomí lavó por primera vez los filamentos de agave.

Durante la época prehispánica, los otomíes aprovechaban el maguey de múltiples maneras: con los quiotes construían la estructura de sus viviendas; cubrían el techo y las paredes con pencas, la membrana que cubre las hojas era utilizada para engalanar a los dioses y para pintar sobre ellas sus códices. De las pencas, por raspado, se extraían hilos; con ellos en el telar de cintura se confeccionaban huipiles, maxtlames, quechquememes, mantas y enaguas, o bien, por técnica de enrollado, los cactlis. De igual manera, en la farmacopea prehispánica el maguey fue importante; las pencas asadas se colocaban sobre la parte lesionada del cuerpo, con lo que se aliviaba el dolor y sanaban las heridas.

Durante la Colonia, los derivados del maguey se explotaron considerablemente. Cuerdas, ayates y mecapales fueron implementos importantes en el acarreo de los minerales, la construcción de la nueva arquitectura, la arriería y la navegación. El pulque dejó de ser una bebida ritual y se transformó en un producto comercial.

Actualmente, continúan explotando el maguey. Con el ixtle manufacturan artesanías que venden al turismo nacional y extranjero (Anónimo).

INTRODUCCIÓN.

México es un país que presenta una gran cantidad de cadenas montañosas, lo cual, sumado a su posición latitudinal en el mundo, le confiere una gran variedad de tipos de climas, desde zonas cálidas y muy secas, hasta zonas frías o muy lluviosas. Estas características favorecen la presencia de una gran cantidad y variedad de plantas y animales, razón por la cual podemos decir que México es un país con una biodiversidad muy alta.

Algunas plantas y animales que sólo se encuentran en ciertas regiones del país, son particularmente importantes para nuestra biodiversidad. A estos seres vivos se les conoce como endémicos o raros (Arias-Toledo, et al. 2001).

El género *Agave* (Agavaceae) del griego “admirable”, incluye más de 300 especies muy conspicuas (Tello y García Moya, 1988) de hojas suculentas (Nobel, 1988) en las porciones áridas y semiáridas del hemisferio norte.

Los agaves son nativos de Norteamérica, y distribuido desde Utah de los Estados Unidos, hasta Centroamérica y el Caribe en el sur, México es el centro de su diversificación. El género *Agave* comprende dos subgéneros naturales: *Littaea*, que tiene flores espigadas en pares o agrupadas, o mas raramente racimosas en pequeños grupos distintos y *Agave* (Euagave) que tiene flores paniculadas en grandes grupos umbelados sobre pedúnculos laterales (Gentry, 1982). El género *Agave* fue establecido por Linneo en 1773 con una breve descripción basado en *Agave americana*, la especie “tipo” para el genero (Nobel 1988).

La familia Agavaceae abarca ocho géneros con biología reproductivas contrastantes, ya que algunas especies son iteróparas (policárpicas) y los individuos se pueden reproducir cada año, mientras otras son semélparas (monocárpicas) produciendo solo una inflorescencia espectacular en su vida, para después morir. En la familia encontramos una notable diversidad de morfologías florales y de polinizadores, que van de abejas a murciélagos, y de colibríes a polillas (Eguiarte et al., 2000).

En un cuidadoso análisis de las monocotiledóneas, Dahlgren et al., (1985) consideran que la familia Agavaceae incluye 8 géneros con 295 especies descritas. Todas las especies son nativas de América, y los 8 géneros se encuentran en México, por ello se considera que su centro de origen es México central (Eguiarte et al., 2000).

El maguey y el hombre desarrollaron en Mesoamérica un verdadero mutualismo; el maguey dando al hombre bebida, alimento, vestido, herramienta, protección y material para escritura; el hombre proporcionándole un ambiente de cultivo cuidadoso y esmerado y un manejo bajo el cual fue mejorando por hibridación y selección (Tello y García Moya, 1988).



Agave marmorata; en estado adulto, planta endémica del valle de Zapotitlán, Puebla.

Características de la Zona de Estudio o zona de colecta

El municipio de Zapotitlán Salinas se localiza al sureste del estado de Puebla y se encuentra en la porción suroccidental del Valle de Tehuacán. El Valle de Zapotitlán Salinas forma parte de este municipio y comprende una superficie aproximada de 86.76 km²; se ubica en los 18° 20' de latitud norte y 97° 28' de latitud oeste. El valle se encuentra delimitado al oriente por las sierras de Atzingo y Miahuatepec, al norte por los cerros Chacateca y Pajarito, al poniente por el cerro La Mesa y al sur por el cerro Corral de Piedra.

El tipo de suelo que se encuentra en el Valle de Zapotitlán es comúnmente de yeso y caliza, muchas veces con altos contenidos de sales. De hecho, en Zapotitlán Salinas el suelo ha sido explotado desde tiempos prehispánicos por la cultura chocho-popolaca para la obtención de sal.

El Valle de Zapotitlán Salinas presenta un clima seco o árido, semicálido, con una marcada época de lluvias en el verano. La precipitación anual es de 380 mm y su promedio de temperatura a lo largo de todo el año es de 21.2 °C (Arias Toledo, et al., 2001). Esta zona es valiosa como centro de evolución de la flora semiárida con un 29% de especies endémicas (Zavala-Hurtado, 1982).

En la vegetación del valle de Zapotitlán, ubicada en la zona semiárida poblano-oaxaqueña, se reconocen cuatro unidades fisonómicas definidas por el aspecto dado por las especies más conspicuas.

Matorral espinoso. Ocupa un poco más de la mitad de la extensión total del valle. Este grupo está constituido principalmente por leguminosas arbustivas espinosas entre las cuales se mezclan agaves, cactus no muy grandes y muy pocos árboles con ramas torcidas, siendo las especies que caracterizan a este grupo. Donde encontramos a *Agave marmorata* una de las especies que caracterizan a este tipo de vegetación.

Tetecheras, se establecen en las numerosas colinas que existen dentro del valle. Ocupa poco más de la cuarta parte de la extensión total de la zona. Las tetecheras son agrupaciones definidas por la predominancia de individuos de cactáceas columnares.

Cardonal. Que ocupa más o menos del 15% del área, es muy semejante a la tetechera.

Izotal. Ocupa tan solo el 2% del total del área (Zavala-Hurtado 1982).

Descripción y algunos aspectos importantes de *Agave marmorata* Roezl.

Familia: Agavacea

Nombre científico: *Agave marmorata* Roezl.

Nombre común: Pitzomel

Es una especie endémica de México. Se distribuye en el sur del estado de Puebla y en el estado de Oaxaca. En la región de Zapotitlán es muy abundante (Arias Toledo *et al.*, 2001).

Descripción de *Agave marmorata* Roezl. (Breitung, 1968).

Roseta de 2 a 3 m en diámetro. Tallos individuales y pequeños, hojas de 2.5 a 4 cm de diámetro de ancho, 1 a 1.8 cm longitud, ascendentes-extensas y eventualmente recurvadas, lanceolada-oblonga, aguda, cóncavas y plegadas, algo enrolladas, estrechas por debajo de la parte media hacia la base, gruesa, gris, zonas verdes, muy áspera, espinas relativamente pequeñas, de 3 a 5 mm de ancho, 10 a 25 o 20 mm de largo, cónicas, estrechamente surcadas hacia la parte media, sésiles, ásperas, rojo apagado, eventualmente grisáceo; una dentadura grande, 15 a 20 mm de longitud incluyendo la abruptable dilatación córnea o callosa de la base, rojo-marrón áspero, solo intermedio. El margen de la hoja dentada es de 2 a 3 cm a distancia del cierre o broche, dientes apropiadamente espaciados (3 a 5 cm); panícula oblonga-cilíndrica, 1.8 m de longitud, 5.5 m en diámetro; flores amarillas cerca de los 4 cm, incluyendo el ovario; florece de Mayo –Junio.

La floración puede variar dependiendo de las condiciones de lluvia previas y en ocasiones inicia desde Marzo y termina en Agosto (D. García-Suárez, com.pers.).

Al igual que la mayoría de los agaves, esta especie es polinizada por murciélagos; durante el día es común observar una gran cantidad de aves e insectos que visitan sus flores para alimentarse del polen y el néctar (Arias-Toledo *et al.*, 2001). Esta especie suele crecer en pendientes poco inclinadas y en suelos calizos, secos y poco profundos.

Cuando su propagación es por semilla, esta se dispersa por el viento debido a su testa de estructura papirácea, estas se disponen sobre la superficie del suelo, esperando llegar a condiciones adecuadas de sombra y humedad para su germinación y posterior establecimiento (D. García-Suárez com.pers.).

Morfología general del genero *Agave*.

El género *Agave* tienen hojas gruesas y puntiagudas y presenta tallos gruesos y cortos y por lo tanto presenta una roseta sésil. El tallo engrosado junto con las bases de la hojas imbricadas espiraladamente (roseta levógira) forman una gran masa. Subsecuentemente las hojas producidas alrededor del eje de la roseta tienen un ángulo en promedio de 137.5 (Nobel, 1988; 1998).

Las raíces de los agaves son necesarias para la toma de agua y nutrimentos, son raíces adventicias y están relativamente superficiales, tienden a ser numerosas, delgadas y fibrosas; se originan en la base del tallo, no se ramifican como en la mayoría de las monocotiledóneas, las finas raíces laterales se originan en las raíces principales y por lo general se desprenden durante la sequía (Nobel, 1988; 1998).

La descripción que hay para la morfología de las semillas de agave es que son planas, deltoideas o semicirculares (Serrano Casas *et al.*, 2000) , con una testa (ó saco) de color negro (fitomelano) y la presencia de capas internas más o menos colapsadas (Judd, 1999).

Muchas especies de agaves principalmente se reproducen vegetativamente, ya sea por brotes (rametos) producidos en rizomas (tallos subterráneos) o bullbilos en la inflorescencia (Nobel, 1988).

Los agaves tienen una considerable variabilidad morfológica, y en el presente trabajo se enfatizará en la descripción de las plántulas de *Agave marmorata* y en sus primeras fases de crecimiento.



Figura 2. Observe la posición de las hojas de *A. marmorata* en estado adulto



Figura 1. Semillas de *Agave marmorata*

MATERIAL Y MÉTODO.

Las semillas fueron colectadas en el valle de Zapotitlán, Puebla. Para la germinación se sembraron 400 semillas de *Agave marmorata*, 100 semillas por cada lote. Dos lotes con agrolita y dos lotes con una mezcla de arena, tierra y agrolita proporción 1:1:1 con medio Hoagland's, se mantuvieron a 20° C en el laboratorio (Figura 3 y 4).

Se mantuvieron en observación durante 120 días, se tomaron mediciones en cuanto a la longitud de la hoja cotiledonar, radícula, raíz, primera y segunda hoja plumular, a los 4 días, 10, 16, 38, 80, 101, 107, 115, 120 días.

La evaluación para las primeras fases de crecimiento fue la observación de la emergencia de la radícula, el desarrollo de la hoja cotiledonar, primera y segunda hoja plumular.

Se consideró como plántulas aquellas que mostraron primeros milímetros de longitud de la radícula y la aparición de la hoja cotiledonar.

Conforme se realizó el crecimiento de la plántula, se midieron la radícula, hoja cotiledonar, 1ª y 2ª hoja plumular y raíz.

Se realizaron pruebas estadísticas: medida, mediana, desviación estándar, varianza, error standard, profundidad de los campos y cuartos y valores extremos, comparando los dos medios de cultivo datos. Se graficaron para su posterior interpretación.

Se realizaron muestras de herbario de las plántulas con diferentes días de edad que fueron prensadas en cartulinas para observar sus diferentes fases de crecimiento.



Figura 3. Plántulas *A marmorata* en medio de agrolita



Figura 4. Plántulas *A marmorata* en medio con mezcla (tierra:arena:agrolita)

Observaciones de la anatomía de plántulas

Las plántulas de *A. marmorata* se colectaron conforme hubo cambios en la morfología del agave debido a su crecimiento, hoja cotiledonar, primera y segunda hoja plumular, radícula y raíz.

Se colocaron en fijador de FAA al 10% y se cortaron en secciones a fin de que este penetrara en los tejidos (Johansen, 1940); se lavaron vigorosamente con agua corriente y se prepararon para el corte en creóstato, utilizando PEG 6% y Tissue Tech. Se realizaron cortes transversales de 14 μm y se tiñeron con azul de toluidina. Se realizaron observaciones en microscopio óptico Axiophot Carl Zeiss. Se siguió el procedimiento para obtener bloques en parafina de las hojas de *Agave marmorata*, siguiendo las técnicas propuestas por Johansen (1940). Se realizaron cortes transversales, se tiñeron con rojo neutro, verde rápido y safranina.

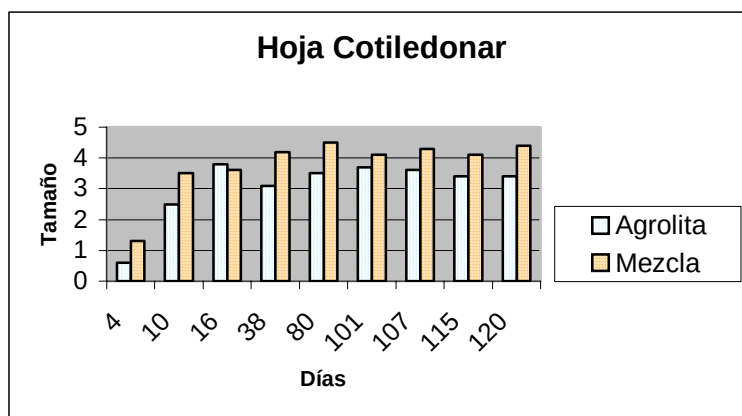
RESULTADOS.

Germinación y desarrollo de las plántulas.

Las semillas de *Agave marmorata* Roezl. (Figura 1) inician la germinación al cuarto día completándose el lote de 100 semillas, hacia los siete días, la primera hoja cotiledonar aparece con la radícula (Tabla y Grafica, 1 y 2; (representando la longitud promedio en mm), es hasta los 38 días posteriores que se forma la hoja plumular primaria y la plumular secundaria aparece hasta los 80 días, dependiendo de las condiciones en las que se cultiven, comparativamente el uso de agrolita es más eficiente durante el crecimiento y desarrollo de las plántulas (Tablas y Gráficas, 3 y 4, representando la longitud promedio en mm). Después de los 100 días de cultivo ambas hojas plumulares alcanzan 1.3 mm de longitud.

Hoja Cotiledonar			
Días	Agrolita	Mezcla	
4	0,6	1,3	
10	2,5	3,5	
16	3,8	3,6	
38	3,1	4,2	
80	3,5	4,5	
101	3,7	4,1	
107	3,6	4,3	
115	3,4	4,1	
120	3,4	4,4	

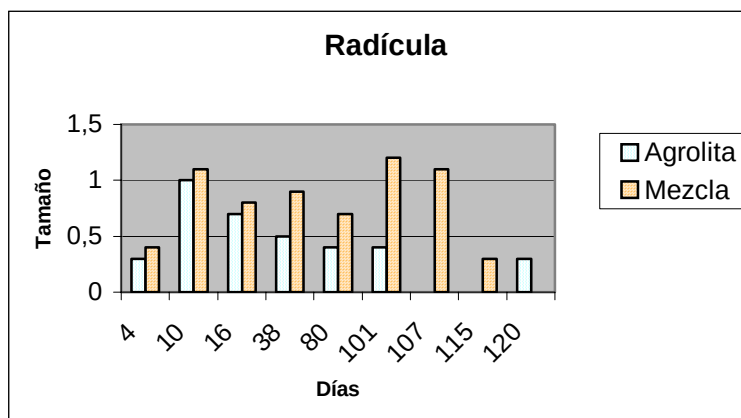
Tabla 1. Long. Prom. en mm



Grafica 1

Radícula			
Días	Agrolita	Mezcla	
4	0,3	0,4	
10	1	1,1	
16	0,7	0,8	
38	0,5	0,9	
80	0,4	0,7	
101	0,4	1,2	
107	0	1,1	
115	0	0,3	
120	0,3	0	

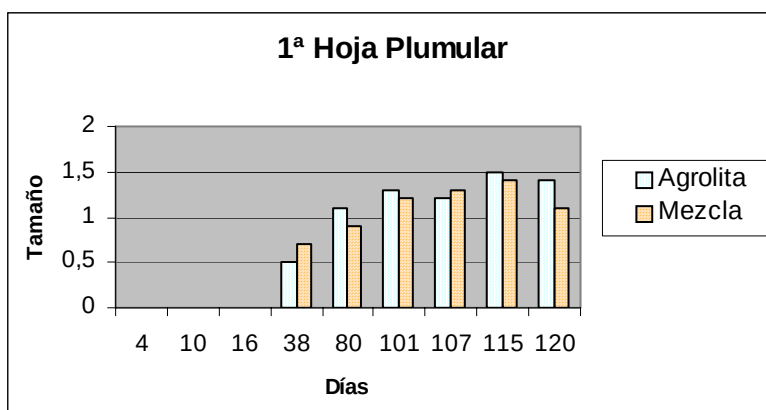
Tabla 2. Long. Prom. en mm



Grafica 2

1ª Hoja Plumular			
Días	Agrolita	Mezcla	
4	0	0	
10	0	0	
16	0	0	
38	0,5	0,7	
80	1,1	0,9	
101	1,3	1,2	
107	1,2	1,3	
115	1,5	1,4	
120	1,4	1,1	

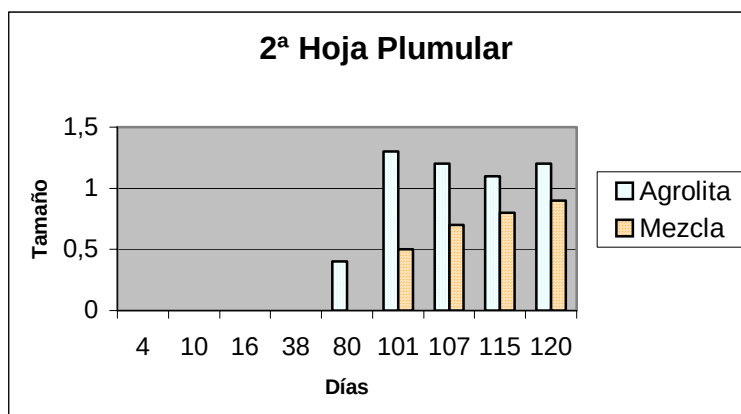
Tabla 3. Long. Prom. en mm.



Grafica 3

2ª Hoja Plumular			
Días	Agrolita	Mezcla	
4	0	0	
10	0	0	
16	0	0	
38	0	0	
80	0,4	0	
101	1,3	0,5	
107	1,2	0,7	
115	1,1	0,8	
120	1,2	0,9	

Tabla 4. (Long. Prom. en mm)



Grafica 4

Durante los 120 días en que se mantuvieron en observación el crecimiento de las plántulas la toma de mediciones se iniciaron a los 4 días, 10, 16, 38, 80, 101, 107, 115, 120 días. Se regaron consecutivamente con agua y dos veces con una solución Hoagland en promedio de distanciamiento de 80 días; cabe señalar que durante todo el periodo de monitoreo de la medición de las plántulas fue notable la persistencia de la hoja cotiledonar (Figura 2 y 3).

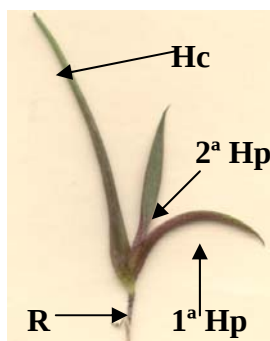


Figura 5. Plántula del medio de la mezcla con 120 días de edad, de *A. marmorata*. Hc= Hoja cotiledonar, 1ª Hp= primera hoja plumular, 2ªHp= segunda hoja plumular, R= raíz

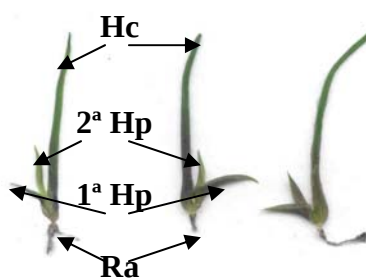


Figura 6. Plántulas de 110 días de edad de *A. marmorata*. Provenientes del medio de la mezcla. Hc= Hoja cotiledonar, 1ª Hp= primera hoja plumular, 2ªHp= segunda hoja plumular, Ra= radícula.

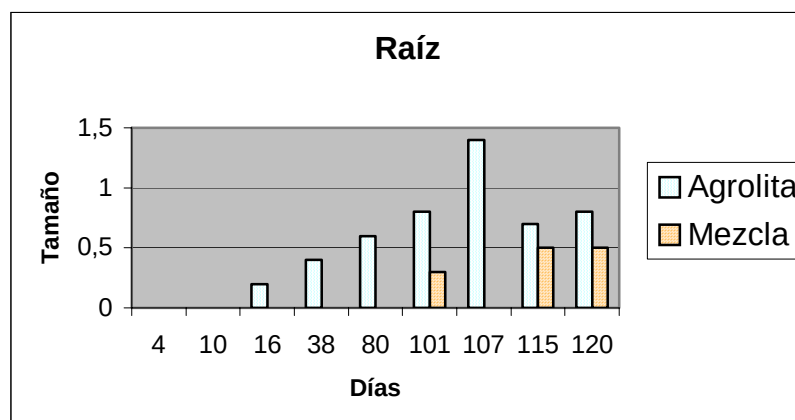
Cuando las semillas germinan, la elongación de la porción media del cotiledón empuja la radícula, la yema epicotilar y la parte baja envainante del cotiledón fuera de la testa, sale el haustorio cotiledonar incrustado dentro del endospermo de la semilla.

A. marmorata presenta germinación epígea, en los primeros cuatro días después de la siembra brotó la radícula la cual se conforma de una zona pilífera que contribuye a la absorción de agua y sales minerales en los primeros estadios de desarrollo. La radícula emergió rápidamente en los dos medios probados de manera diferencial emergiendo primero en el medio de agrolita y posteriormente en el de la mezcla, existiendo también un crecimiento diferencial en los dos medios siendo en la mezcla de agrolita tierra y arena donde la radícula obtenida fue de mayor longitud con respecto al medio de agrolita, la permanencia de la radícula fue más prolongada hasta los 115 días en el medio de la mezcla mientras que en el de agrolita fue a los 101 días (Tabla y Gráfica 2).

Esta radícula más adelante fue sustituida por la raíz (Tabla y Gráfica 5 representando la longitud promedio en mm).

Raíz		
Días	Agrolita	Mezcla
4	0	0
10	0	0
16	0,2	0
38	0,4	0
80	0,6	0
101	0,8	0,3
107	1,4	0
115	0,7	0,5
120	0,8	0,5

Tabla 5. (Long. Prom. en mm)



Gráfica 5

La hoja cotiledonar fue conspicua posterior a la emergencia de la radícula, esta hoja inicial es producida por el meristemo apical del embrión de la semilla. Como consecuencia de su desarrollo, la elongación de la porción media del cotiledón adquiere una forma curva, la cual emerge por encima de la superficie del suelo trayendo consigo la testa como remanente.

El crecimiento de esta hoja cotiledonar en los dos medios fue a los cuatro días y fue evidente que en el medio de la mezcla la hoja presentó mayor longitud, esta diferencia de longitud es de entre 0.7 a 1mm con respecto al tamaño de la hoja del medio agrolita. La función de la hoja cotiledonar es comenzar a fotosintetizar para la formación de nuevas hojas y permitir el establecimiento de la plántula (Figura 7).



Figura 7. Plántulas en medio agrolita, con 110 días de edad.

En las plántulas de *A. marmorata* el remanente (testa) de la semilla permaneció unido a la porción distal de la hoja cotiledonar mucho tiempo después de la aparición de la primera y segunda hoja plumular.

La primera hoja plumular comienza a emerger cerca de los 38 días (Tabla y Grafica 3), en ambos medios; esta hoja emerge de la plúmula que está inconspicua debido a que esta cubierta por la vaina; esto es a través de una abertura que se abre en su parte central (de la hoja o vaina cotiledonar, el ápice de la primera hoja comienza a emerger debido a que esta abertura se abre y facilita la salida.

La segunda hoja plumular aparece en el medio agrolita a los 80 días aproximadamente y en el medio de la mezcla su aparición es posterior, a los 101 días (ver Tabla y Grafica 4).

La presencia de una raíz definitiva derivada de la radícula fue más rápida, en las plántulas que crecieron en el medio de agrolita siendo su aparición a los 16 días mientras que en el medio de mezcla fue cercano a los 101 días (ver Tabla y Grafica 5).

Se presentan los resultados de las pruebas estadísticas mencionadas anteriormente para conocer la naturaleza de los datos, Cuadro 1 y 2. Se observa que el promedio del error estándar no es significativo y que los valores se encuentran cerca del valor de la media.

Cuadro 1. Plántulas en el medio de cultivo con Agrolita

Longitud en (mm)	Media x	Med.	Varianza s²	D. E. s= √s	E. S. σ/√n
Hoja	3.06	3.4	1.0	1.00	0.33
Cotiledonar					
Radícula	0.4	0.4	0.1	0.31	0.10
1ª Hoja Plumular	0.77	1.1	0.41	0.64	0.21
2ª Hoja Plumular	0.57	0.4	0.36	0.60	0.20
Raíz	0.54	0.6	0.20	0.45	0.15

Cuadro 2. Plántulas en el medio con Mezcla (arena:tierra:agrolita)

Longitud en (mm)	Media x	Med.	Varianza s²	D.E. s= √s	E.E. σ/√n
Hoja	3.77	4.1	0.97	0.98	0.32
Cotiledonar					
Radícula	0.72	0.8	0.16	0.41	0.13
1ª Hoja Plumular	0.73	0.9	0.34	0.58	0.19
2ª Hoja Plumular	0.32	0	0.15	0.39	0.13
Raíz	0.14	0	5.02	0.22	7.47

En la tablas siguientes se consideraron el valor de la media de cada una de las estructuras y del medio en que se cultivaron, junto con la profundidad de los cuartos y los valores extremos; esto para conocer como se comparta el valor de la media dentro del periodo del monitoreo, siendo la profundidad de los cuartos un estimador para conocer la oscilación del tamaño en longitud (mm) de las diferentes estructuras, mientras que los extremos nos dicen los valores que pueden llegar a tener, al inicio y al final del periodo.

HOJA COTILEDONAR

Agrolita

Longitud en (mm)	Media		
	3.06		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida		2.8	3.65
- Valores extremos que presentaron		0.6	3.8

Mezcla

Longitud en (mm)	Media		
	3.77		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida		3.55	4.35
- Valores extremos que presentaron		1.3	4.5

RADÍCULA**Agrolita**

Longitud en (mm)	media		
	0.4		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida		0.15	0.6
- Valores extremos que presentaron		0	1

Mezcla

Longitud en (mm)	media		
	0.7		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida		0.35	1.1
- Valores extremos que presentaron		0	1.2

1ª HOJA PLUMULAR**Agrolita**

Longitud en (mm)	media		
	0.77		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida		0	1.35
- Valores extremos que presentaron		0	1.5

Mezcla

Longitud en (mm)	media		
	0.73		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida	0		1.3
- Valores extremos que presentaron	0		1.4

2ª HOJA PLUMULAR**Agrolita**

Longitud en (mm)	media		
	0.57		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida	0		1.2
- Valores extremos que presentaron	0		1.3

Mezcla

Longitud en (mm)	media		
	0.32		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida	0		0.75
- Valores extremos que presentaron	0		0.9

RAIZ
Agrolita

Longitud en (mm)	media		
	0.54		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida	0.1	0.8	
- Valores extremos que presentaron	0	1.4	

Mezcla

Longitud en (mm)	media		
	0.14		
- Oscilación del tamaño con respecto a la media obtenida	0	0.4	
- Valores extremos que presentaron	0	0.5	

Anatomía.

Las hojas cotiledonares son anatómicamente monofaciadas, mientras que las plumulares son equifaciadas. En ambos casos las hojas presentan una epidermis uniestratificada con una gruesa cutícula (3-15 μm), discontinua por la presencia de estomas hundidos. El mesófilo está constituido por un clorenquima, en la primera capa de este tejido algunas células presentan maclas de oxalato de calcio; por debajo del clorenquima se localiza un parénquima acuífero que ocupa la mayor parte del mesófilo y en el que se localizan 3-4 haces vasculares, colaterales, pequeños. Sin embargo, en las hojas plumulares los haces liberoleñosos son cerrados por la presencia de fibras perivasculares (Figura 8).

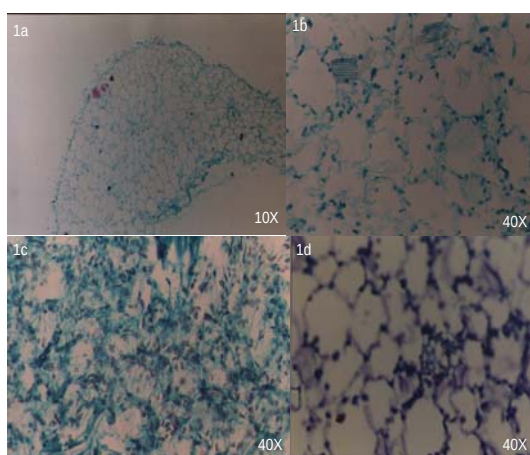


Fig. 8. Hoja plumular. a) Foto panorámica, Safranina-verde rápido; b) Aumento del parénquima acuífero presentando cristales, Safranina-verde rápido; c) elementos de vaso, Safranina-verde rápido y d) Haz vascular, Azul de toluidina.

Las células de parénquima se disponen a menudo en filas, pudiendo ser alargadas como las células en empalizada. Cada una de las células consta de una capa citoplasmática parietal, un núcleo, y una gran vacuola de contenido acuoso o algo mucilaginoso. Los mucílagos parecen aumentar la capacidad de las células para absorber y retener agua y pueden encontrarse tanto en el protoplasto y cerca del plasmalema.

En la hoja cotiledonar se observa una cutícula gruesa continua, una capa de epidermis uniestratificada, parénquima clorofílico y haces vasculares, el tejido parénquimático se agranda conforme va creciendo el cotiledón (Figura 9).

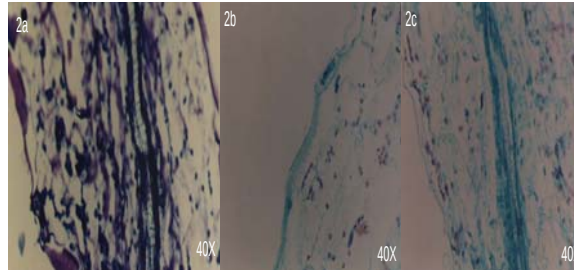


Fig. 9. Hoja Cotiledonar. a) Elementos de vaso, Azul de toluidina; b) Epidermis con cutícula, Azul de toluidina; c) Elementos de vaso, Azul de toluidina.

La raíz presenta una rizodermis uniestratificada, caracterizada por la presencia de pelos absorbentes que son derivados epidérmicos altamente especializados en la absorción de agua. La corteza presenta una capa de células exodérmicas (exodermis), por debajo de la cual se distribuye un parénquima con espacios intercelulares conspicuos que facilitan el movimiento de O_2 y CO_2 por difusión; el agua y los solutos cruzan la corteza por la pared celular y en este caso por el protoplasto de las células. El agua y los solutos se mueven de citoplasma en citoplasma a través de los plasmodesmos siguiendo la vía simplástica. El último tejido de la corteza es la endodermis caracterizada por las células de casparí y las células de paso. El cilindro vascular está constituido por un periciclo y una esta poliarca en donde el xilema primario alterno con el floema (Figura 10).

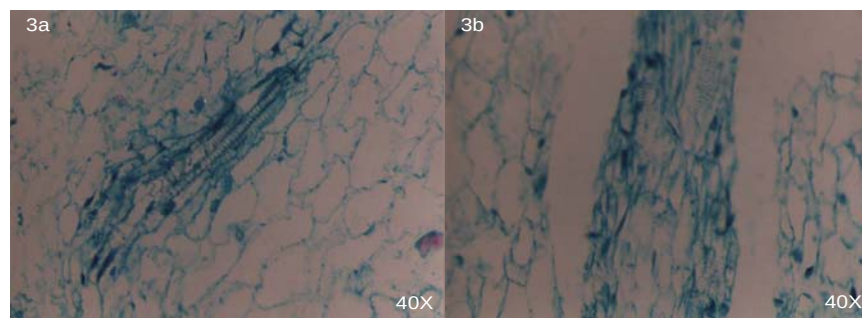


Fig. 10. Raíz. a y b) elementos de vaso, safranina-verde rápido.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de las plántulas de *Agave marmorata* se presentan caracteres de inusual interés, como en el caso de sus primeras fases de crecimiento y sobre todo con particular referencia a una estructura cuya función es primordial en sus primeros días de crecimiento, tal es el caso de la hoja cotiledonar que es una estructura fotosintética. Foster (1974) señala que cuando las semillas germinan, la elongación de la porción media del cotiledón empuja la radícula, la yema epicotilar y la parte baja envainante del cotiledón fuera de la testa, permitiendo salir el haustorio cotiledonar incrustado dentro del endospermo de la semilla.

A. marmorata presenta una germinación epigea al elongarse el hipocótilo y emerger el cotiledón u hoja cotiledonar, al igual que en el género *Polianthes* (Agavaceae) (Serrano Casas et al, 2000), este cotiledón es morfológicamente especializado y altamente funcional y según Foster (1974) se encuentra diferenciado en mas o menos tres partes: (1) una vaina basal, el cual encierra la yema epicotilar durante las primeras fases de germinación, (2) una delgada, pero frecuente porción media conspicuamente elongada, y (3) un ápice distal, llamado también haustorio, el cual permanece dentro de la semilla. El haustorio funciona como un órgano suctor (suctorial) que absorbe las reservas de alimento dentro de la semilla y las transmite vía sistema vascular del cotiledón, para el desarrollo de la plántula. Es por esto que se deduce que la hoja cotiledonar y parte de la semilla persiste por mucho tiempo y es observable que en ambos medios de cultivo permaneció, destacando que en las plántulas que se encuentran en el medio de la mezcla, la hoja cotiledonar fue mas elongada y ligeramente mas gruesa.

Siendo que uno de los aspectos importantes para la plántula es el desarrollo de la succulencia, tanto la hoja cotiledonar como la radícula son primordiales para el incremento de volumen en la plántula, ya que en condiciones naturales esto puede ser un aspecto importante para la sobrevivencia a la sequía.

La primera hoja plumular que se presentó a los 38 días en ambos medios y, como se mencionó, comenzó a emerger a través de una abertura que se localiza en la vaina cotiledonar, estos resultados coinciden con las observaciones de Foster (1974). Haines y Lye (1979) argumentan que la posición de la primera hoja plumular, es opuesta al cotiledón y como en muchas monocotiledóneas todas las hojas son dísticas (hojas colocadas en dos filas) se piensa que esto pueda ser un arreglo primitivo en este grupo.

La segunda hoja plumular apareció en diferentes tiempos; en el medio con agrolita fue aproximadamente a los 81 días, mientras que en el medio con la mezcla fue a los 101 días. Debido a este suceso de la aparición de las primeras hojas verdaderas la plántula, que mas adelante se convertirá en una planta adulta, comienza a producir fotosintatos, posteriormente la cantidad de energía acumulada se deberá al número de pencas, especialmente importantes para la fotosíntesis que llevará a cabo los procesos de reproducción sexual y asexual. Granados (1989) afirma que anualmente el aumento de la biomasa de las hojas de una planta madura puede ser del 20%, lo cual se puede lograr con un alto grado de eficiencia en el uso del agua equivalente a 40gr de CO₂ fijado/kg de agua transpirada.

Un mecanismo que frecuentemente se observa en plantas de zonas áridas es el cambio en el ángulo de las hojas con respecto a la luz solar, pero en plantas perennes del desierto la orientación es más estática (Santos y Ochoa, 1990).

Estos cambios en la orientación foliar no solo ayudan a reducir la tasa de transpiración y el sobrecalentamiento de la hojas sino que disminuyen considerablemente el peligro de daño de la hojas por fotoinhibición (Santos y Ochoa, 1990), provocando un no establecimiento de la plántula, ya que cuando las plántulas se establecen en un sitio seguro la tasa de crecimiento se incrementa, la tasa mitótica también se incrementa y la plántula comienza a crecer; otro factor no menos importante es la sombra que contribuye al establecimiento y crecimiento de la plántula.

Los mecanismos que permiten la reducción de radiación solar son la presencia de vellosidades, de glándulas excretoras de sal y de ceras en la superficie de hojas (Santos y Ochoa, 1990), como ocurre en las plántulas y plantas adultas de *A. marmorata* con la presencia de una cutinización en sus hojas (ceras epicuticulares) para evitar daños térmicos particularmente en la porción distal de las hojas expuestas.

Las plántulas que se mantuvieron dentro del laboratorio presentaron una coloración rojiza como las que se observaron en condiciones naturales, esto puede interpretarse como una protección contra las temperaturas extremas que se presentan en el campo (Figura 11).



Figura 11. Plántula de *A. marmorata*. Presentando coloración rojiza.

En el caso de las plántulas que crecieron en condiciones de laboratorio, la humedad y los nutrimentos pueden ser algunos de los factores que dan como resultado que las plántulas presenten ese aspecto rojizo pericido a un daño térmico.

Finalmente, la presencia de una raíz constituye la estructura para completar la formación de la plántula, esta se esperaba al cabo de los primeros días sustituyendo a la radícula como sucede en muchas monocotiledóneas; pero a excepción de las plántulas que crecieron en el medio con la mezcla esta sustitución se presentó mas tarde e inverso como se presentó en las plántulas en agrolita.

La radícula que emerge a los cuatro días, tiene forma de torpedo y se conforma de un ápice meristemático protegido por la cofia, una zona pilífera en forma de una corona de tricomas que son las estructuras que contribuyen a la absorción de agua y sales minerales en los primeros estadios de desarrollo, estas observaciones coinciden con aquéllas de Serrano Casas et al (2000).

Las monocotiledóneas son un grupo vegetal que se caracteriza por presentar homorizia secundaria; es decir, se origina una radícula proveniente del embrión, la cual muere en pocos días y, entonces es sustituida por un sistema radical adventicio que permanece a lo largo de toda la vida de la planta (Esau, 1972; Gifford y Foster, 1987; Bold, 1987). Se entiende el crecimiento en longitud de la raíz en términos de las divisiones celulares, tanto anticlinales como periclinales que sufre el meristemo subapical de la raíz (Obroucheva, 1981). Los resultados muestran que la sustitución de la radícula fue rápida en las plántulas que crecieron en el medio con agrolita, debido a que una de las propiedades de la agrolita es proporcionar una buena oxigenación al medio lo cual facilitó la penetración de este órgano inmediatamente al contacto con el medio húmedo. Una de las funciones de esta radícula es ser la encargada de anclar al organismo y conducir agua y nutrientes a la plántula durante los primeros días.

El sistema radicular adventicio es relativamente superficial, las raíces tienden a ser numerosas, delgadas, fibrosas, como ya había sido señalado por Nobel (1988); siendo una característica notable la superficialidad de este sistema radicular, que como se sabe son necesarias para la toma de agua y nutrimentos.

En el medio con agrolita, el crecimiento mas temprano de la raíz verdadera se favorece por un humedecimiento óptimo que proporciona el medio, esto induce al crecimiento de nuevas raíces, es decir, de una radícula a una raíz verdadera. El número de raíces tiende a incrementarse con la edad (Nobel, 1998).

El desarrollo de la plántula en su ambiente natural depende sobre la cantidad de lluvia y el agua disponible que penetra al suelo, siendo necesario para la germinación de las semillas y para las plántulas que deben generar almacenamiento suficiente de agua para ser capaces de soportar las primeras sequías (Nobel, 1984). Un aspecto importante que contribuye al éxito del establecimiento es su medio de propagación vegetativa ya que teniendo un tamaño de 20 cm de diámetro puede comenzar a producir hijuelos (clones) o rametos.

La morfología y el crecimiento de las plántulas en laboratorio nos ofrecen una oportunidad para entender qué sucede en su ambiente natural. La tasa de crecimiento de las primeras fases iniciales del desarrollo es mas acelerado que en edad adulta, ya que el incremento significativo en tamaño durante estas fases es resultado tanto por expansión como por división celular como ha sido observado en otras plantas (Foster, 1974).

Las plántulas de *A. marmorata* coinciden con las plántulas de las monocotiledóneas epígeas. Hay ausencia de láminas en el cotiledón y hojas, su desaparición es probable debido a la función de la absorción del endospermo y su asimilación como ocurre para *A. americana*. (Haines y Lye, 1979). El embrión se elonga y la plúmula entierra el cotiledón y esta se lleva hacia arriba la cobertura de la semilla. La emergencia de la primera hoja crece opuesta a la hoja cotiledonar, y su disposición es dística. En el campo las altas temperaturas por arriba de los 40°C se acompaña de cambios en la coloración del tejido foliar la cual se obscurece hacia el café y coloraciones rojas como también sucede para otras especies de suculentas como *Ferocactus acanthoides* (Nobel, 1988, 1994). El crecimiento es diferencial dependiendo de las condiciones donde crece, bajo condiciones de laboratorio crecen mas rápido donde las condiciones de agua son menos escasas (García Suárez et al, 2005).

A. marmorata presenta plántulas adaptadas al medio árido donde crece como es el Valle de Zapotitlán, Puebla, germina fácilmente en diferentes temperaturas y es fotoblástica indiferente (García Suárez et al, 2004).

Las semillas son capaces de crecer en áreas abiertas y debajo de especies nodrizas, siendo su reclutamiento posible al establecerse en nuevos sitios y donde su capacidad de variabilidad genética puede mantenerse, así como su dinámica poblacional (García Suárez et al, en preparación).

Las características anatómicas de *Agave marmorata* demuestran algunas adaptaciones que permiten la sobrevivencia de las plántulas bajo las altas temperaturas del valle. Presenta una cutícula que no permite una fácil pérdida de agua, una epidermis uniestratificada compacta, estomas hundidos. La presencia de parénquima de almacenamiento de agua en la parte central de la hoja monofaciada cotiledonar con cuatro haces vasculares, el floema se encuentra orientado hacia la epidermis presentando tan solo cara abaxial. Las hojas plumulares muestran una disposición equifaciada, presentan cristales de oxalato de calcio y el tejido vascular se encuentra protegido por una cadena de parénquima de reserva de agua con cinco haces vasculares colaterales.

La presencia de una cutícula gruesa en *A. marmorata* protege de la exposición a altas temperaturas que va acompañado de ciertos síntomas de daños térmico usualmente de un tejido bronceado (Nobel, 1984).

El comportamiento de las plántulas es de considerable importancia, la proporción de luz, temperatura y humedad son factores favorables para el desarrollo de éstas, ahora no solamente la altura en las plántulas es el único parámetro como aspecto morfológico necesario que refleja el crecimiento, sino además, el desarrollo de la succulencia. Cabe suponer que las condiciones de laboratorio estimularon los ritmos de crecimiento obteniendo plántulas viables. En condiciones naturales como es en la zona semiárida del Valle de Zapotitlán el éxito del establecimiento de las plántulas de *A. marmorata* mucho depende del gran número de plántulas que emergen, que se establezcan en sitios seguros ya sea debajo de una nodriza, o en lugares rocosos; para que la tasa de crecimiento se incremente y las plántulas comiencen a desarrollarse, de las cuales solo unas pocas sobreviven para producir semillas, ya que estas están sujetas a ser depredadas. Un establecimiento de las plántulas en estación seca, en lugares descubiertos, sin una planta nodriza en el terreno muestran una rápida mortalidad, o ninguna sobrevivencia después de 245 días (Arizaga, et al 2002). Un factor de mortalidad es la depredación. La mortalidad de las plántulas bajo sombra de una planta nodriza tiende a disminuir (Arizaga, et al 2002) (figura 12, 13).



Fig 12. Plántula de *A. marmorata* establecida en un sitio rocoso



Fig 13. Plántula de *A. marmorata* bajo una nodriza.

BIBLIOGRAFIA.

Arias Toledo A. A., M. T. Valverde V., y J. Reyes S. 2001. Las Plantas de la Región de Zapotitlán Salinas, Puebla. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (UNAM).

Arizaga S. and Ezcurra E. 2002. Propagation Mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a Tropical Arid-Land Succulent Rosette. American Journal of Botany 89(4): 632-641.

Bold H. C., C. J. Alexopoulos and T. Delevorys. 1987. Morphology of Plants and Fungi. Fifth Edition. Harper Collins Publishers.

Breitung, A.J. 1968. The agaves, The Cactus and Succulent Journal. Yearbook, 1968: 1-107. Edited by Charles Glass and Robert A. Foster. Pp 65-67.

Dahlgren, R. M. T., H. T. Clifford, and P. F. Yeo. 1985. The Families of the Monocotyledons: Structure, Evolution, and Taxonomy. Springer-Verlag, Berlin, 520 pp.

Eguiarte, L.E.; A. Silva y V. Sousa. 2000. Biología evolutiva de la familia Agavaceae: Biología reproductiva, genética de poblaciones y filogenia. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 166: 131-150.

Esau, K. Anatomía Vegetal. Ed. Omega. España. 779 pp.

Foster, A.S. and E. M. Gifford. 1974. Comparative Morphology of Vascular Plants. Ed. 2. Editors Donald Kennedy and Roderic B. Park. W. H. Freeman and Company, San Francisco.

Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, 670 pp.

Granados, S. 1989. Los Agaves en México. Ag. Proteh New and Information.

Haines R. W. and K. A. Lye. 1979. Monocotylar seedlings: a review of evidence supporting an origin by fusion. Botanical Journal of the Linnean Society, 78: 123-140.

Johansen, D. A. 1940. Plant microtechnique. New York : McGraw-Hill.

Judd W. S., C. S. Campbell, E. A. Kellogg and P. F. Stevens. 1999. Plant Systematics a Phylogenetic Approach. Sinauer Associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts U.S.A.

Nobel P. S. 1984. Extreme temperatures and thermal tolerances for seedlings of desert succulents. *Oecologia* (Berlin), 62: 310-317.

Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press, Nueva York.

Nobel, P. S. 1998. Los Incomparables Agaves y Cactus. Primera ed. Edit. Trillas. 211 pp.

Santos, D. M del S. y N. Ochoa A. 1990. Adaptación de las plantas al déficit hídrico. *Ciencia*, 41: 333-344.

Serrano Casas H., E. Solano C. y A Ocampo L. 2000. Morfología de Semillas, Germinación y Desarrollo Postemergente de Tres Especies del Género *Polianthes* L. (Agavaceae). *Boletín de la Sociedad Botánica México*, 66:55-65.

Tello Balderas J.J. y E. García Moya. 1988. El maguey (*Agave*, subgenero *Agave*) en el altiplano potosino-zacatecano. *Bol. Soc. Bot. México*. 48: 119-134.

Zavala-Hurtado J. A. 1982. Estudios Ecológicos en el Valle Semiárido de Zapotitlán, Puebla. I. Clasificación Numérica de la Vegetación Basada en Atributos Binarios de Presencia o Ausencia de las Especies. *Biotica/ Vol. 7, No.1*, 99-120.