



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**MODELO DE MUROS VERDES CON  
PLANTAS CRASAS PARA EL ORIENTE DE LA  
CIUDAD DE MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**B I Ó L O G O**

P R E S E N T A:

**SARAHÍ ARELI SERRATO GALLARDO**

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA VEGETAL**



**DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO MONROY ATA**  
Investigación apoyada por la DGAPA, UNAM, a través del  
proyecto PAPIIT IN-216610

**MÉXICO, D. F.**

**ABRIL DE 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"  
DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
PRESENTE.

Comunico a usted que la alumna **SERRATO GALLARDO SARAHÍ ARELLI**, con número de cuenta 301051688, de la carrera de Biología se le ha fijado el día 8 del mes de abril de 2014 a las 14:00 hrs., para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

- PRESIDENTE** DR. ARCADIO MONROY ATA
- VOCALO** M. en C. BÁRBARA SUSANA LUNA ROSALES
- SECRETARIO** DRA. MARÍA SOCORRO OROZCO ALMANZA
- SUPLENTE** BIÓL. MARCO ANTONIO HERNÁNDEZ MUÑOZ
- SUPLENTE** M. en C. SONIA ROJAS CHÁVEZ

El título de la tesis que presenta es **MODELO DE MUROS VERDES CON PLANTAS CRASAS PARA EL ORIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO.**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
México, D. F. a 19 de marzo de 2014

**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ**  
DIRECTOR

RECIBI  
OFICINA DE EXÁMENES  
PROFESIONALES Y DE GRADO

VO. BO.  
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL  
JEFE DE CARRERA

## **Dedicatorias**

*A José Antonio Serrato González, porque siempre has respetado y apoyado mis decisiones pero nunca me has dejado de cuidar. Gracias papá por tu trabajo constante, por estar siempre conmigo, por ser un hombre honorable y mi gran ejemplo de nobleza, inteligencia, tolerancia y humildad, gracias por todas tus enseñanzas y la paciencia que has tenido conmigo, te quiero mucho pá.*

*A Elvia Elizabeth Gallardo Farías porque nunca he necesitado más ejemplo que el tuyo para saber lo que es una gran mujer. Gracias mamá por el apoyo y la exigencia constante, por enseñarme el valor de la familia, por no perder nunca la fe en mí, gracias por tu trabajo de todos los días y por enseñarme con el ejemplo a ser una mujer integra y de valores. Te quiero y te admiro mamá.*

*A Pavel Iván Serrato Gallardo, por la infancia compartida, nunca estuvimos solos, nos tenemos el uno al otro sin importar los rumbos de nuestras vidas. Gracias hermano por cuidar de mí desde pequeños y continuar haciéndolo hasta hoy, quiero ver tus metas realizadas porque te quiero con todo el corazón.*

*A Pavel Gael Serrato Vizcaya porque desde que naciste has marcado el tiempo en cada uno de mis pasos, porque verte crecer me ha llenado de alegrías y por llenar de luz con tu existencia a toda la familia, te quiero sobrino y quiero ver cómo te conviertes en un hombre de bien.*

*A Gustavo Pineda Loperena porque si alguien me conoce en este mundo eres tú y me quieres tal cual soy, por acompañarme en las buenas y en las malas, porque desde tu sitio me has procurado como nadie, por las lecciones de vida, por los sueños de niños que poco a poco se concretan, por la paciencia, el cariño, la compañía y el tiempo que dedicas a escucharme. Te quiero Gus.*

## **Agradecimientos**

*A la Universidad Nacional Autónoma de México institución que me ha brindado grandes oportunidades y a la que me enorgullece enormemente pertenecer, con la que me siento comprometida a seguir preparándome y ejercer mi profesión con honestidad y en favor de la sociedad.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza en cuyas aulas y laboratorios reafirme mi amor por la ciencia, el estudio y la investigación, donde descubrí que el trabajo y la constancia son indispensables para alcanzar las metas, donde conocí a profesores ejemplares, grandes compañeros, amigos y donde pasé momentos increíbles siendo esta facultad mi segundo hogar.*

*Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT IN-216610 quien fue eje para la elaboración de este proyecto de tesis.*

*Al doctor Arcadio Monroy Ata a quien admiro y respeto no solo por su calidad como investigador y académico sino también como ser humano, gracias doctor por su paciencia para la elaboración de este trabajo, por todos sus consejos y apoyo constante, gracias por ser un profesor comprometido con su labor y brindarme un espacio en el invernadero y laboratorio para poder realizar mi servicio social y tesis, es un privilegio haber trabajado con usted y una gran ejemplo para mi vida profesional y académica.*

*A la M. en C. Bárbara Susana Luna Rosales por su afabilidad y diligencia en esta labor.*

*Al Biólogo Marco Antonio Hernández Muñoz por su atenta revisión y oportunos comentarios que enriquecieron la tesis.*

*A la doctora María del Socorro Orozco Almanza por las observaciones realizadas, las cuales sin duda alguna mejoraron el trabajo.*

*A la M. en C. Sonia Rojas Chávez por el tiempo dedicado a la revisión de mi trabajo recepcional y la orientación para mejorarlo, gracias profesora porque sin duda alguna sus observaciones fueron pertinentes y favorables para mi tesis.*

*A mi familia con quien he afrontado vicisitudes pero quienes siempre me han brindado su amor y apoyo, gracias familia por hacerme la mujer que soy, este trabajo también es de ustedes.*

*A Nadia Espinosa con quien compartí grandes momentos en la universidad con la que forme una gran mancuerna para la elaboración de múltiples trabajos y tareas y quien al paso del tiempo sigue siendo parte importante de mi vida ¡gracias amiga!*

*A Mariel Flores quien me ayudó en la parte práctica de mi trabajo de tesis, nunca voy a olvidar que llegabas temprano y te ibas tan tarde como yo hasta que el muro quedó listo, ¡gracias amiga!*

*A Ely Vega a quien conocí hace poco pero con quien he compartido grandes momentos laborales y personales, gracias por compartir conmigo este periodo de transición en mi vida, que nuestra amistad crezca.*

*Al resto de mis amigos y compañeros con quienes comparto el gusto por la Biología y pasé grandes momentos a lo largo de mi estancia en la Universidad.*

*A todas las personas que se quedan en mi pasado pero de quien aprendí mucho y que sin duda alguna forman parte de lo que soy.*

*A todas las personas que han llegado a mi vida y que poco a poco se van volviendo importantes, gracias por llenar de sonrisas mis días y alegría mi corazón, por ayudarme a ver que puedo lograr mis objetivos, que hay muchos sueños por cumplir y grandes metas que alcanzar ¡sigamos adelante!*

***México, Pumas, Universidad, Goya! Goya!...***

***Por mi raza hablará el espíritu***  
***Sarahi Areli Serrato Gallardo***  
***Abril de 2014***

## CONTENIDO GENERAL

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. MARCO TEÓRICO .....	3
3.1 Muros verdes.....	3
3.2 Plantas crasas.....	4
3.3 Micorrizas .....	5
3.4 Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA).....	6
3.5 Abono orgánico .....	8
3.6 Descripción botánica .....	9
3.6.1 Familia Crassulaceae .....	9
3.6.1.1 <i>Echeveria elegans</i> var. <i>simulans</i> A. Berger. ....	10
3.6.1.2 <i>Sedum moranense</i> H.B.K. ....	10
3.6.1.3 <i>Sempervivum tectorum</i> L. ....	11
3.6.2 Familia Cactaceae.....	11
3.6.2.1 <i>Mammillaria compressa</i> D.C. ....	13
3.6.2.2 <i>Mammillaria voburnensis</i> Scheer. ....	14
3.6.3 Familia Lilaceae.....	15
3.6.3.1 <i>Haworthia fasciata</i> (Willd.) Haw. ....	15
4. JUSTIFICACIÓN.....	16
5. PROBLEMÁTICA.....	17
6. OBJETIVOS.....	19
6.1 Objetivo General .....	19
6.2 Objetivos Particulares.....	19
7. HIPÓTESIS.....	20
8. MATERIAL Y MÉTODOS .....	20
8.1 Especies.....	20

8.2 Área de trabajo .....	21
8.3 Sustrato .....	21
8.4 Abono .....	22
8.5 Diseño estadístico .....	23
8.6 Trasplante .....	24
8.7 Ensamble de módulos .....	24
8.8 Montaje del muro .....	27
8.9 Experimento 1. Micorrización .....	29
8.10 Experimento 2. Abono orgánico .....	30
8.11 Variables de respuesta .....	31
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
9.1 Experimento 1. Micorrización .....	33
Supervivencia .....	33
Tasa de crecimiento relativo (TCR) .....	34
Altura .....	35
Cobertura .....	36
Floración .....	37
9.2 Experimento 2 Abono orgánico .....	38
Supervivencia .....	38
Tasa de crecimiento relativo (TCR) .....	39
Altura .....	40
Cobertura .....	41
Floración .....	43
9.3 Análisis costo-beneficio .....	45
Costo económico .....	45
Beneficio económico .....	45
Beneficio social y ambiental .....	45
10. CONCLUSIONES .....	46
11. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS .....	48
12. LITERATURA CITADA .....	50

---

13. ANEXOS .....	59
ANEXO 1. RESULTADOS ESTADISTICOS DEL EXPERIMENTO 1.	
MICORRIZACIÓN .....	59
<i>Mammillaria voburnensis</i> .....	59
<i>Echeveria simulans</i> .....	60
<i>Mamillaria compressa</i> .....	61
ANEXO 2. RESULTADOS ESTADISTICOS DEL EXPERIMENTO 2. ABONO	
ORGÁNICO .....	62
<i>Sedum moranense</i> .....	62
<i>Haworthia fasciata</i> .....	63
<i>Sempervivum tectorum</i> .....	64

## CONTENIDO DE FIGURAS

1. a) <i>Echeveria simulans</i> b) <i>Haworthia fasciata</i> c) <i>Mamillaria compressa</i> d) <i>Mammillaria voburnensis</i> e) <i>Sedum moranense</i> f) <i>Sempervivum tectorum</i> .....	21
2. Organodel® Jardín .....	23
3. Trasplante .....	24
4. Modulo armado .....	25
5. Ensamble de módulos .....	25
6. Ensamble y trasplante a) ensamble de módulos b) trasplante c) módulos con plantas d) riego posterior al trasplante.....	27
7. Montaje del muro en la base metálica .....	28
8. Experimento 1. Micorrización. ....	29
9. Experimento 2. Abono orgánico. ....	30
10. Supervivencia de <i>Echeveria simulans</i> , <i>Mamillaria compressa</i> y <i>Mamillaria voburnensis</i> . M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas .....	33
11. Supervivencia del 100% en plantas micorrizadas .....	34
12. TCR <i>Echeveria simulans</i> . Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	34
13. TCR <i>Mamillaria compressa</i> . Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	35
14. TCR <i>Mamillaria voburnensis</i> . Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	35
15. Altura de <i>Echeveria simulans</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas. ....	35
16. Altura de <i>Mammillaria voburnensis</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas .....	36
17. Altura de <i>Mammillaria compressa</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas .....	36
18. Cobertura de <i>Mammillaria voburnensis</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas.....	36
19. Cobertura de <i>Echeveria simulans</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas .....	37
20. Cobertura de <i>Mammillaria compressa</i> a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas.....	37

21. Supervivencia de <i>Haworthia fasciata</i> , <i>Sedum moranense</i> y <i>Sempervivum tectorum</i> . A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas.....	38
22. Muerte de individuos de <i>Sedum moranense</i> .....	39
23. TCR <i>Sedum moranense</i> . Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	39
24. TCR <i>Haworthia fasciata</i> . Letras diferentes indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	40
25. TCR <i>Sempervivum tectorum</i> . Letras sobre las barras indican diferencias significativas $p \leq 0.5$ .....	40
26. Altura de <i>Haworthia fasciata</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas .....	41
27. Altura de <i>Sempervivum tectorum</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas.....	41
28. Altura de <i>Sedum moranense</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas.....	41
29. Cobertura de <i>Haworthia fasciata</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas .....	42
30. Cobertura de <i>Sedum moranense</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas .....	42
31. Cobertura de <i>Sempervivum tectorum</i> a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas .....	42
32. Floración de <i>Haworthia fasciata</i> .....	43
33. Muro completo 25 semanas después.....	44

## CONTENIDO DE CUADROS

1. Características físicas y químicas del suelo (Simancas, 2007) .....	22
2. Características del abono.....	23
3. Contenido del muro .....	27
4. Colocación de los módulos en el muro.....	28
5. Número de repeticiones de la unidad experimental (rejilla con dos macetas).....	29
6. Número de repeticiones de la unidad experimental (rejilla con dos macetas).....	30

## 1. RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología para la construcción de un muro verde como modelo de cero riego y bajo mantenimiento para el oriente de la Ciudad de México. El objetivo fue determinar la influencia de un inóculo de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y de un abono orgánico sobre plantas de las especies: *Echeveria simulans*, *Haworthia fasciata*, *Mammillaria compressa*, *Mammillaria voburnensis*, *Sedum moranense* y *Sempervivum tectorum*. Los muros verdes tienen la finalidad de mitigar el deterioro ambiental de la Ciudad de México y ser una alternativa de áreas verdes en la urbe. El estudio se realizó en el invernadero del *Campus* II de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. La metodología consistió en instalar un muro con plantas crasas y suministro hídrico sólo mediante la lluvia directa y mediante un contenedor situado bajo las macetas en estudio. Para esto, se montaron dos experimentos, bajo un diseño experimental consistente en dos ANOVAs de dos factores cada uno: 1) micorrización x especies y 2) aplicación de abono orgánico x especies. En cada experimento hubo dos niveles por factor, con 12 repeticiones por tratamiento. Las variables de respuesta que se registraron fueron la tasa de crecimiento relativo (TCR) y el porcentaje de supervivencia, cobertura y altura. También se analizaron variables de respuesta vegetal por especie donde se aplicaron pruebas de comparación de medias (paramétricas o no) entre tratamientos y testigos, para registros de cobertura y floración.

Los resultados mostraron que el muro verde fue estable ya que la supervivencia general de las plantas fue del 100% al considerar la aplicación de cero riegos. Respecto a la TCR en el experimento 1 (micorrización), las tres especies *Echeveria simulans*, *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis* presentaron diferencias significativas entre plantas micorrizadas y no micorrizadas, a favor de las plantas inoculadas ( $p=0.025$ ,  $p=0.0325$  y  $p=0.0019$  respectivamente). En la TCR en el experimento 2 (abono orgánico) únicamente *Sempervivum tectorum* presentó una diferencia significativa al ser mayor el crecimiento en las plantas abonadas, respecto a las no abonadas ( $p=0.012$ ), mientras que *Haworthia fasciata* y *Sedum moarnense* no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Se concluye que el muro verde de cero riego fue funcional y estable, pues la supervivencia fue del 100% y que el tratamiento de micorrización (M+) fue el que presentó un incremento en la TCR y altura. Por lo anterior, es recomendable el modelo desarrollado para establecer muros verdes de cero riego en el oriente de la Ciudad de México y zonas de características ambientales similares.

## 2. INTRODUCCIÓN

Desde 1977 muchos científicos están de acuerdo en que existe un cambio climático ocasionado en gran medida por el ser humano (Zambrano, 2010); esto se ha visto incrementado por los altos niveles de sobrepoblación y urbanización a las que se ha sometido al planeta.

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), desde el año 2000, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas. En México durante el Censo de Población y Vivienda 2010 realizado por el INEGI, se contaron 112 millones 336 mil 538 habitantes, de los cuales 8.8 millones viven en el Distrito Federal.

En la actualidad, el importante incremento de la población y de la demanda de uso de suelo para la sociedad en áreas urbanas, han destruido innumerables zonas con flora y fauna silvestre, reduciéndose al mismo tiempo el espacio para la creación de parques y jardines públicos, así como la disponibilidad de espacios libres para áreas verdes (Soemy *et al.*, 2007); esto ha contribuido a serios problemas ambientales de carácter mundial tal como lo es el calentamiento global y la contaminación atmosférica.

Por lo anterior, existe una gran necesidad de crear espacios verdes que se adapten a las condiciones de vida de las ciudades, ya que las zonas urbanas y periurbanas modifican el paisaje natural (Flores, 2000) y las condiciones ambientales del entorno.

Para compensar el deterioro ambiental resulta importante rescatar el concepto de naturación de construcciones, que es el tratamiento técnico con vegetación especialmente funcional en edificios y sus estructuras horizontales, verticales o inclinadas, con el objeto de establecer una capa vegetal multifuncional sobre estas superficies (Mahlau y Merino 1995).

Una de las opciones propuestas en los últimos años ha sido las azoteas y muros verdes, sin embargo implican un costo elevado de instalación y

mantenimiento, por ello este trabajo tuvo como objetivo desarrollar un modelo de muros verdes con plantas crasas propias de México, lo que proporciona una baja en las demandas de mantenimiento y riego, sin dejar de ser un sistema estético y funcional que contribuye a la mejora de las condiciones ambientales de la Ciudad de México, dada la problemática ambiental que enfrenta.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Muros verdes

Los muros verdes son sistemas conformados por una cubierta vegetal vertical o ligeramente inclinada; se han convertido en elementos arquitectónicos originales que dan vida a fachadas y muros exteriores e interiores, en todo tipo de inmuebles industriales, comerciales y residenciales (Soemy *et al.*, 2007).

Entre los beneficios que implica la utilización de muros verdes se pueden mencionar los siguientes:

**Beneficios ambientales.** Renuevan el aire del entorno ya que se comportan como filtros verdes que fijan las partículas contaminantes, al actuar como sumideros de CO<sub>2</sub> y transformándolo en carbono orgánico mediante el proceso de fotosíntesis (Ojembarrena *et al.*, 2010).

**Beneficios térmicos.** Durante el periodo estival, la envolvente vegetal actúa como aislante orgánico al disminuir el sobrecalentamiento de los espacios, esto lo hace al producir ondas frescas alrededor de las edificaciones mediante el proceso de evapotranspiración de las plantas; mientras que durante el invierno, estos sistemas ofrecen una protección contra el viento y evitan pérdidas de energía del interior de la construcción (Ojembarrena *et al.*, 2010).

**Beneficios sociales.** Los muros verdes ofrecen espacios de recreación, donde se pueden realizar deportes, juegos o sencillamente establecer contacto social, ya que estos sitios permiten escapar de la vida urbana y por tanto disminuir el estrés de los habitantes de las urbes (Samar, 2011).

El problema de las cubiertas vegetales es que cuando se desea colocarlas en un clima estacional respecto al régimen de lluvias no funcionan sin riego suplementario y cambiar a plantas menos sedientas implica que la actividad biológica de las mismas sea mínima, por lo que normalmente se requiere un sistema de irrigación particular o buscar plantas que funcionen incluso únicamente con la lluvia y/o niebla (Soemy *et al.*, 2007); es recomendable utilizar especies autóctonas con exigencias mínimas de conservación, además de utilizar especies pre-cultivadas que permitirán un beneficio desde su instalación ya que otro inconveniente importante es que las cubiertas vegetales presentan un lento crecimiento de las plantas (Ojembarrena *et al.*, 2010).

### 3.2 Plantas crasas

Se conoce por planta suculenta o crasa aquella que por vivir en zonas con sequía climática o edáfica, posee tejidos carnosos y ricos en agua, que constituyen una reserva hídrica para la época de secas que estas plantas enfrenta en su hábitat (Ballester, 1973). La succulencia es el resultado de la proliferación de las células en las regiones parenquimatosas, acompañada de la dilatación de las vacuolas y de la reducción del tamaño de los espacios intercelulares. Este carácter morfológico hace posible que los órganos de las plantas suculentas acumulen cantidades considerables de agua durante las breves estaciones lluviosas (James, 1958).

Para que la succulencia sea efectiva debe ir acompañada de bajas tasas de transpiración. Las plantas suculentas consumen agua con moderación y pueden presentar esta característica en distintas estructuras de la planta: en las raíces (*Ceiba parvifolia*), en los tallos (cactus, euforbiáceas), o en las hojas (*Agave*, *Aloe*) (Daubenmire, 1979). Las plantas suculentas pertenecen a varias familias botánicas, una de las principales es la familia de las cactáceas (cactus) y tras menos conocidas son crasuláceas, liliáceas, entre otras. (Ballester 1973).

La funcionalidad más importante de las plantas suculentas con respecto a la sequía se basa en el metabolismo CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas), caracterizado por el ritmo estomatal invertido que consiste en la

asimilación nocturna de CO<sub>2</sub>, su fijación en ácido málico y la descarbolización de este ácido en el día para liberar el CO<sub>2</sub> requerido en el proceso de fotosíntesis (Gil-Marin, *et al.* 2006).

Por lo general, las plantas CAM almacenan grandes cantidades de agua en el tejido mesófilo, cuando existe agua disponible en el suelo, y minimizan la pérdida al abrir los estomas en la noche (Pimienta-Barrios, 2003). La apertura nocturna de los estomas favorece el ahorro de agua, debido a que los gradientes de presión de vapor entre la hoja y el aire son menores que en el día; normalmente, este tipo de plantas se encuentra en regiones desérticas, donde las temperaturas frescas en la noche favorecen la apertura estomatal (Szarek y Ting, 1975 citado por Gil-Marin, *et al.* 2006).

### 3.3 Micorrizas

La palabra micorriza significa “hongo-raíz” (del griego *myces*: hongo y *rhiza*: raíz) (Le Tacon, 1985). La micorriza es una asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas vasculares llamadas fitobiontes y ciertos hongos del suelo (Monroy y García, 2009); en esta relación simbiótica, la planta hospedera recibe nutrientes minerales por parte del hongo mientras que este obtiene compuestos de carbono derivados de la fotosíntesis (Sánchez, 2005).

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) son un tipo de micobionte cosmopolita, que se asocia en un 80-90% con las plantas (Berea, *et al.* 1998). Estos hongos desempeñan un papel fundamental al incrementar la biomasa de las plantas (Sieverding, 1991), modificar las interacciones competitivas (Sylvia, 1990: Allen, 1991, Allen, 1994), incrementar la resistencia a la sequía (Roldan-Fajardo, 1994) y diferentes tipos de estrés (Guttenberger, 2000 y Nakano *et al.*, 2001;); además exploran el suelo a través de sus hifas extrarradicales, de tal manera que aumentan la superficie de absorción de nutrientes por parte de las plantas, principalmente del fósforo (George *et al.*, 1995; Redecker, 2008). De igual manera, junto con los nutrientes, transportan agua que beneficia el estado hídrico de las plantas (Newsham *et al.*, 1995); también son capaces de intervenir en la producción de hormonas como el ácido absícico que reduce el

daño en las plantas por patógenos en las raíces y herbívoros (Linderman, 1988). Por su parte el fitobionte brinda compuestos de carbono (fotosintatos) y le proporciona un nicho ecológico protegido de los fenómenos del antagonismo microbiano en la rizósfera (Azcón y Barea, 1980; Mukerji y Chamola, 1996).

El papel de la simbiosis es fundamental en la captación de elementos minerales de lenta difusión en los suelos, como los fosfatos solubles, Zn y Cu (Monroy y García, 2009). La absorción del nitrógeno también se favorece con la micorrización (Barea *et al*, 1984); además, es común encontrar mayores concentraciones de elementos como el K y Mg en plantas micorrizadas (Sieverding, 1991, citado por Arrollo, 1998). La absorción del Ca es estimulada también con la simbiosis micorrízica arbuscular (Plenchette *et al*, 1983). Por otra parte, los micronutrientes como Zn, Cu y Bo, son activamente absorbidos por las hifas del hongo y transportados hasta el hospedero (Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1983). Otro efecto producido por las micorrizas arbusculares es el aumento de su resistencia a la salinidad y la elevación del porcentaje de supervivencia al trasplante (Linderman, 1992).

Existen diferencias considerables en la morfología y fisiología de las asociaciones micorrízicas, lo que permite reconocer cinco tipos diferentes de micorrizas: las orquidoides, ericoides, arbustoides, formadoras de manto y las arbusculares, estas últimas son las más abundantes en la naturaleza (Barea, 1998).

### **3.4 Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA)**

Se tienen registros fósiles de más de 370 millones de años de edad, que muestran asociaciones entre las raíces de las plantas y los hongos (Sánchez, 2005), por otra parte, existen datos que indican que los hongos fueron los primeros organismos eucarióticos que invadieron el medio terrestre, donde se originó la vida (Ruíz, 2001, citado por Márquez *et al*. 2002). Cuando la vida era únicamente acuática, los vegetales podían utilizar directamente los minerales disueltos en el agua; al colonizar la Tierra hace unos 400 millones de años (Azcón y Barea., 1980); las condiciones resultaron muy distintas, ya que en los

suelos procedentes de la degradación de las rocas, los elementos minerales se encontraban básicamente en forma insoluble, por lo que las primeras plantas terrestres tuvieron que ser funcionales bajo esas condiciones tan especiales y solamente las que pudieron asociarse a los hongos consiguieron colonizar los continentes (Le Tacon, 1985).

Los hongos micorrizógenos arbusculares se clasifican dentro del *Phylum* Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001) y son cosmopolitas, ya que se encuentran en la mayoría de los hábitats (Gerdemann y Nicholson, 1963). Sin embargo, están más ampliamente distribuidos en los trópicos, de ahí que sea de especial interés estudiarlos en dichos ecosistemas (Janos, 1980; Smith y Read, 1997).

Los HMA no forman una estructura especializada de reproducción, sino sólo estructuras de resistencia que son esporas asexuales, solas, agregadas o formando esporocarpos (Morton, 1988) y que en pocas ocasiones se encuentran dentro de las raíces de las plantas. Las esporas germinan en el suelo y al contacto con una raíz, forman el apresorio que es la estructura que permite penetrar las células corticales de la planta hospedera sin modificar la estructura radical (Redecker, 2008); las hifas, que carecen de septos, invaginan el plasmalema de células de la corteza radical y producen una estructura profusamente ramificada llamada arbusculo; esta estructura es donde se lleva a cabo el intercambio bidireccional de los nutrientes entre el hongo y la planta (Smith, 1995; Bago *et al.*, 2000). Algunos géneros de HMA forman estructuras de almacenamiento dentro de las células corticales llamadas vesículas, las cuales contienen abundantes lípidos (Allen, 1991; Smith y Read, 1997; Redecker, 2008).

Todas estas estructuras están conectadas con un micelio extrarradical que tiene diferentes funciones (Friese y Allen, 1991), como la formación de esporas, de hifas corredoras, la exploración del suelo y la captación de nutrientes y agua (Bago *et al.*, 2000; Villegas y Fortin, 2001). Dentro de las estructuras de los HMA, las esporas, el micelio y las raíces colonizadas se pueden considerar sus propágulos (Biermann y Linderman, 1983; Friese y Allen, 1991; Ritcher *et*

*al.*, 2002) Las esporas al ser estructuras de resistencia, pueden tolerar condiciones de estrés como la disminución de humedad y depredación de algunas esporas por otros organismos del suelo; además de dispersarse y colonizar nuevos hábitats gracias a su transporte en el tracto digestivo de algunos insectos, lombrices y roedores (Allen, 1991).

### **3.5 Abono orgánico**

El suelo es la parte más superficial de la corteza terrestre y es donde se desarrollan las raíces de las plantas. Tiene por misión servir de soporte a las plantas y proveerlas de agua y sustancias nutritivas (Fuentes, 1992).

Algunos suelos contienen suficiente cantidad de elementos nutritivos en estado asimilable para las plantas para conseguir producciones vegetales normales (Fuentes, 1992). Sin embargo, bajo la mayoría de las condiciones, el crecimiento y producción puede estimularse mediante la aplicación apropiada de nutrimentos complementarios. Cualquier material que contenga uno o varios de los nutrimentos esenciales que se añaden al suelo o que se apliquen sobre el follaje de las plantas, será con el propósito de complementar el suministro de nutrimentos a las plantas se puede denominar abono o fertilizante (Ludwick, *et al* 1995).

Los abonos se distinguen en orgánicos y minerales, según sean los productos de un proceso de maduración y de transformación de sustancias orgánicas o de un proceso de extracción y de elaboración de componentes minerales (Fersini, 1978). Estrictamente hablando, el término orgánico se refiere al carbono e incluyen al de origen sintético. Sin embargo, a menudo se considera que los fertilizantes orgánicos son compuestos de origen natural (Ludwick, 1995).

El abono orgánico es un tipo de fertilizante que proviene de la degradación y mineralización de restos de seres vivos (INTA, 2011), los abonos orgánicos pueden distinguirse en animales, vegetales y mixtos (Fersini, 1978). Los fertilizantes orgánicos se obtienen por transformación de estiércol animal, de restos de cosecha, o en general de residuos orgánicos; su tratamiento conduce

a la formación de abono. Estos materiales permiten obtener fertilizantes eficaces y seguros si se preparan adecuadamente (BPA, 2011). La incorporación del abono enriquece la capacidad del suelo para albergar una gran actividad biológica, la cual tiene varias implicancias favorables como ayudar a mejorar la estructura del suelo y permitir la labor de las bacterias favoreciendo la formación de nutrimentos (BPA, 2011).

### **3.6 Descripción botánica**

#### **3.6.1 Familia Crassulaceae**

La familia Crassulaceae presenta un área de distribución cercanamente cosmopolita (Cronquist, 1981; Mort *et al.*, 2005), excepto Australia y Polinesia (Cronquist, 1981), con centros de diversidad en México (Mort *et al.*, 2001), con unas 300 especies (T' Hart, 1997), sur de África (Mort *et al.*, 2001) con unas 250 especies, la región Mediterránea y Macaronesia, con más de 200 especies y el sudeste de Asia con aproximadamente 200 especies (T' Hart, 1997), siendo muy común en regiones áridas, templadas y templado-cálidas (Cronquist, 1981), aunque se encuentra ausente de los verdaderos desiertos (T' Hart, 1997).

Crassulaceae es una familia de aproximadamente 35 géneros que ha sido dividida en seis subfamilias basándose en una variedad de caracteres morfológicos (Acevedo-Rosas *et al.*, 2004 a). Incluye aproximadamente 1500 especies de herbáceas de tallo y hojas suculentos y pequeños arbustos (Mort *et al.*, 2005). Tradicionalmente ha sido considerada un grupo natural, y recientes análisis moleculares filogenéticos indican que la familia es monofilética (Mort *et al.*, 2001).

De acuerdo a estudios moleculares filogenéticos recientes, existe solamente dos linajes mayores, uno es el "linaje Crassula", que incluye géneros de tres de las subfamilias tradicionales, Crassuloideae, Cotyledonoideae, y Kalanchoideae, que se encuentran predominantemente en el sur de África. El segundo es el "linaje Sedum", que incluye géneros de las otras tres subfamilias: Echeveroideae, Sedoideae y Sempervivoideae. Se encuentra predominantemente en el Hemisferio Norte (Acevedo-Rosas *et al.*, 2004).

La mayoría de los miembros de la familia posee flores pentapartidas apopétalas, actinomorfas con 10 estambres en dos verticilos; sin embargo, este patrón floral general varía con algunos géneros que poseen pétalos parcial o completamente fusionados, y un género, *Crassula* L., posee solamente cinco estambres (Mort N° 4 *Bouteloua* (2008) *et al.*, 2005). Se conoce polen fósil referido a esta familia del Mioceno y depósitos más recientes (Cronquist, 1981). El hábito suculento asociado a metabolismo CAM de la familia refleja adaptaciones a hábitat secos, pero muchas especies habitan en lugares mesicos o incluso húmedos, a menudo con mesófitos típicos. Más de dos tercios de las especies pertenecen a solamente tres géneros, *Sedum*, con 300, *Crassula* con 250 y *Kalanchoe* Adans. con 120 (Cronquist, 1981). Desde un punto de vista reproductivo es de destacar la capacidad de varias especies de *Sedum*, *Crassula* y otros géneros relacionados para propagarse a través de las hojas, lo que ha sido reconocido por los botánicos, y sus ventajas han sido capitalizadas por los horticultores (Yarbrough, 1936). Las especies cuyas hojas no caen fácilmente, pueden, sin embargo, funcionar igualmente bien a partir de los tallos (Yarbrough, 1936).

#### **3.6.1.1 *Echeveria elegans* var. *simulans* A. Berger.**

Planta glabra, acaule, roseta de hasta 10 cm de diámetro; hojas ascendentes, gruesas, adelgazadas hacia la punta, esta mucronada, de 7 cm de largo por 4 cm de ancho, verde amarillentas a verde glaucas; tallos florales varios de 20 a 40 cm de alto, con hojas apresadoras, oblanceoladas, agudas, de 15-20 mm de largo; inflorescencia en cincino con 12-14 flores, pedicelos de 10 o más mm; sépalos muy desiguales, deltoide-ovados a lanceolados, más o menos apresadores, rosa con la punta amarillo mostaza (Meyrán y López, 2003).

#### **3.6.1.2 *Sedum moranense* H.B.K.**

Planta perenne, procumbente o colgante, con la base subarborescente, glabra, hasta de 20 cm de largo; tallos muy ramificados, verdes cuando jóvenes después color pardo o gris-rojizo; hojas densamente imbricadas, ovadas, a veces papilosas, muy gruesas y carnosas, de alrededor de 3 mm de largo y de grueso, con la base ancha (con ejemplares secos aparenta ser espolonada);

inflorescencia cimosa de uno o dos cincinos, con una a pocas flores sésiles o cortamente pediceladas; sépalos desiguales, ovados a lanceolados, poco gibosos en la base, de 2 a 2.5 (4) mm de largo; pétalos lanceolados, mucronados de 5 (7.8) mm de largo, blancos, a veces teñidos con rojo sobre todo en la punta y en la línea media del dorso; nectarios subcuadrados, blanquecino-amarrillentos; carpelos blancos, erguidos cuando internos, estilo filamentosos, estigma pequeño, globoso; folículos rojizos, divergentes, unidos en la base, a veces hasta la mitad de su largo, estilo persistente; pocas semillas por folículo, oblongas o piriformes de alrededor de 0.5 mm de largo, de color pardo-verdoso a pardo oscuro, densamente papilosas en líneas longitudinales. Habita en matorral xerófilo, encinar arbustivo, bosques de encino o de coníferas. Crece también sobre rocas (Rzedowski y Rzedowski, 2005)

### **3.6.1.3 *Sempervivum tectorum* L.**

Planta perenne suculenta, hojas son carnosas, de hoja perenne, y ciliada (Linneo, 1753); roseta suculenta de hojas sésiles de 4-10 cm de diámetro; flores presentes en múltiplos de 8 (Efloras, 2011), la especie es muy variable, se han propagado en cientos de cultivos ya que se negocia con ellas desde hace casi 200 años, ya que se le han atribuido propiedades medicinales: el jugo se usa como astringente y tratamiento de enfermedades de la piel y los ojos, mezclado con miel, para tratar la candidiasis oral además también se ha utilizado para tratar contusiones externas, trastornos nerviosos, problemas intestinales, dolor abdominal, etc. (USDA, 2011).

### **3.6.2 Familia Cactaceae**

La familia Cactaceae agrupa a una gran diversidad de plantas, entre las que destacan los cactus columnares (viejitos y tetechos); los cactus candelabroiformes (cardones, órganos y pitayas); las biznagas y biznaguitas (chilitos); algunas trepadoras como los nopalillos (*Heliocereus* spp.); las pitahayas (*Hylocereus* spp.), y una gran variedad de nopales, entre otras. La familia es originaria del continente americano y apareció hace cerca de 80 millones de años (Gibson y Nobel, 1986). El grupo está constituido por cerca de

2,000 especies, las cuales se encuentran distribuidas en el continente americano, desde el norte de Canadá hasta la Patagonia, y desde el nivel del mar, en dunas costeras, hasta los 5,100 msnm, en Perú (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999).

Aun cuando las cactáceas viven en diversos ecosistemas, incluyendo las selvas tropicales, donde se encuentran como epifitas (*Rhipsalis baccifera*), la mayoría de ellas se desarrollan en ambientes áridos y semiáridos, los cuales coinciden con latitudes cercanas a los paralelos de 25°, donde dominan zonas de alta presión atmosférica con corrientes descendientes de aire seco (Bravo-Hollis y Scheinvar, 1999). En México las zonas secas abarcan cerca del 60% de la superficie del país. La abundancia de estos ambientes obedece tanto a la ubicación geográfica del país, como a los efectos de continentalidad y relieve, debido a la presencia de cordilleras paralelas a los litorales, donde se pierde la humedad del aire al penetrar sobre la masa continental. Al igual que la diversidad de las cactáceas, sus formas de crecimiento varían de un sitio a otro, al igual que la densidad de sus poblaciones.

Las cactáceas han evolucionado características anatómicas y fisiológicas particulares, que les han permitido colonizar los ambientes áridos. Entre ellas podemos mencionar la estructura suculenta o crasa de sus troncos, la cual les permite acumular gran cantidad de agua en sus tejidos. Sus hojas se han reducido o prácticamente están ausentes, con lo cual reducen la evapotranspiración, y la fotosíntesis se lleva a cabo entonces en la superficie de sus tallos. El pecíolo, que es la estructura que normalmente sostiene a la hoja en las plantas comunes, está transformado en una estructura llamada podario o tubérculo, y las yemas de crecimiento están transformadas en unas estructuras denominadas areolas, en las cuales se desarrollan espinas, lana, cerdas y pelos, cuya abundancia, número y tamaño varían dependiendo de la especie. La función de estas estructuras es de protección, tanto para evitar la depredación como los daños derivados de una exposición prolongada a la radiación solar directa. En las areolas también se desarrollan las estructuras reproductoras: las flores y los frutos (Jiménez-Sierra y Reyes, 2003).

Desde una perspectiva fisiológica, los cactus se distinguen de la mayoría de las plantas verdes porque, al igual que otras plantas suculentas (agaves y siempre vivas), su fotosíntesis sigue una ruta metabólica peculiar, conocida como “metabolismo ácido crasuláceo” o CAM, con la cual se logra economizar agua, ya que el intercambio gaseoso se realiza durante la noche cuando la temperatura del ambiente es más baja.

Las flores de las cactáceas son hermafroditas, o sea que en una misma flor están presentes los órganos masculinos (estambres) y los femeninos (gineceo). Su forma, tamaño y color varían en función de los hábitos de los animales que actúan como polinizadores. Algunas cactáceas poseen flores diurnas, solitarias, con colores llamativos (amarillo, naranja, rojo o rosa) y son polinizadas por insectos (abejas o avispas) o aves (colibríes). Otras producen flores nocturnas, tubulares y de color blanco, las cuales suelen ser polinizadas por murciélagos, aunque también son visitadas por otros insectos (esfíngidos o palomillas).

Los frutos son muy diversos y sirven de alimento a diversos animales como murciélagos, aves de percha y pequeños mamíferos, los cuales al ingerirlos actúan como agentes de dispersión de las semillas, promoviendo la colonización de nuevos ambientes alejados de la planta madre (Jiménez-Sierra y Reyes, 2003).

### **3.6.2.1 *Mammillaria compressa* D.C.**

La especie es perteneciente a la familia cactaceae, endémica de Hidalgo, Querétaro, San Luís Potosí y Tamaulipas. Cactus de forma globular, perenne, semiesférico o esférico con el ápice redondeado y ligeramente cóncavo, los tubérculos son cortos y redondeados, de color verde azulado, la base de estos está cubierta de fieltro blanco, las planta jóvenes también muestran un fieltro blanco en las aréolas, que con el tiempo se pierde hasta verse desnuda, sus flores tienen forma de campana de color rosado o púrpura, y dan lugar al fruto que es oblongo de color rojo. Esta especie tiene varios vástagos que forman grupos; se propaga por medio de separación de matas y semillas en primavera

o verano, requiere de exposición a pleno sol, la temperatura mín. es de 10°C para la planta adulta (Centro de investigación de Landscape México, 2011).

### **3.6.2.2 *Mammillaria voburnensis* Scheer.**

Planta terrestre o rupícola, al principio simple, forman pequeñas agrupaciones y posteriormente cespitosa; con ramificaciones basales o apicales; tallo cilíndrico o globoso, de color verde oscuro, de 5 a 20 cm de altura y de 3 a 8 cm de diámetro; ápice redondeado y ligeramente hundido en el centro; abundante látex blanquecino al arrancar un retoño; tubérculos o mamilas triangulares, apretadamente dispuestos en 8 y 13 series espiraladas, aproximadamente de 10 mm de altura y 8 mm de espesor en la base, de color verde oscuro con tinte rojizo hacia el ápice; axilas con lana blanca persistente, que casi cubren los tubérculos y con 4 a 10 cerdas algo tortuosas, blancas, de 4 a 10 mm de longitud; aréolas ovaladas con lana blanca cuando jóvenes, después desnudas; espinas diferenciadas en radiales y centrales: espinas radiales 5 a 9, de 4 a 7 mm de longitud, las 3 inferiores más largas que las superiores, rectas, hasta irregularmente recurvadas, aciculares, crema, con la punta castaño rojiza, horizontales; espinas centrales 1 a 3, de 7 a 35 mm de longitud, rectas, aciculares, tiesas, cuando jóvenes de color pardo oscuro, después de color marfil con la punta castaño rojiza, erectas; flores infundibuliformes, de 20 cm de longitud; segmentos exteriores del perianto linear-lanceolados, con el margen desde irregular hasta finamente ciliado, de color amarillo pálido hacia la base, arriba amarillo más oscuro, frecuentemente con tintes verdosos; segmentos interiores del perianto de 10 mm de longitud, con el ápice acuminado y el margen entero o ciliado, amarillentos ventralmente con una franja media rojiza o pardusca; filamentos blancos; anteras amarillo intenso; estilo blanco de 2 mm de espesor; lóbulos del estigma 5, amarillo verdosos que sobresalen de las anteras unos 2 mm de largo. Fruto claviforme, de 25 mm de longitud, rojo hasta rojo carmín, conservando los restos secos del perianto. Semillas de 0.5 mm de longitud, castaño amarillentas (Standley y Williams, 1962; Britton y Rose, 1963; Bravo Holis y Sanchez - Mejorada, 1991; Ordoñez, 2003).

### 3.6.3 Familia Lilaceae

Las liliáceas (nombre científico Liliaceae Juss.) son una familia de plantas monocotiledóneas perennes, herbáceas, con frecuencia bulbosas, que pueden ser reconocidas por sus flores bastante grandes con un perigonio formado por 6 tépalos libres, frecuentemente coloreados y con manchas, 6 estambres extrorsos y un ovario súpero, tricarpelar y trilocular. Se hallan ampliamente distribuidas por todo el mundo, principalmente en regiones templadas del hemisferio norte (Stevens, P. F., 2001).

Las liliáceas están ampliamente distribuidas, principalmente en regiones templadas del hemisferio norte. En general son plantas de praderas llanas, prados de montaña y otras comunidades abiertas. Poseen su centro de diversidad en el sudoeste de Asia a China (Stevens, P. F., 2001).

Suelen florecer en la primavera. Las vistosas flores de esta familia son polinizadas por insectos, especialmente abejas, avispas, mariposas y polillas. El néctar o polen que producen las flores de las liliáceas en gran cantidad son empleados como recompensa de la polinización. Las semillas son dispersadas tanto por el viento como por el agua, unas pocas especies tienen estructuras de tipo arilo y son dispersadas por hormigas (Stevens, P. F., 2001).

#### 3.6.3.1 *Haworthia fasciata* (Willd.) Haw.

Planta de de 5 a 8 cm sin tallo, tiene forma de roseta de numerosas hojas dispuestas imbricadamente y de forma helicoidal. Las hojas miden de 3 a 8 cm de largo por 10 a 20 mm de ancho de forma triangular – lanceolada, más o menos erectas, incurvadas en la zona basal; haz generalmente plano, el envés es convexo, con acanaladura central en la zona apical; son glabras, carnosas y firmes, verdes, ligeramente satinadas, con tubérculos blancos unidos en formas de bandas transversales; inflorescencia de racimo de 30 a 40 cm de longitud con flores pequeñas, poco vistosas, de color blanquecino con bandas marrón rojizo claro y abiertas en dos labios. (Ballester, 1978).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

La mitad de los seres humanos a nivel mundial, aproximadamente 3500 millones, vive en ciudades. En un par de décadas, serán 5 mil millones de personas en esta situación (Gaffin, *et. al.*, 2005). En las décadas que vienen, muchos nuevos habitantes de las ciudades serán personas marginadas, con altos índices de pobreza, particularmente vulnerables a los riesgos para la salud debido al incremento de la contaminación ambiental; mientras que el acceso a los servicios públicos (salud, vivienda, alimentación, áreas verdes, etc.) se verá limitado por la alta densidad poblacional (Gaffin, *et.al.*, 2005).

En México, la urbanización y desecación ha provocado que en época de estiaje se produzcan recortes en el abastecimiento de agua. La solución fue una obra reduccionista: hacer pozos en las zonas bajas del oriente de la Ciudad de México, de este modo, para proporcionar el recurso al 70% de la ciudad, se extraen 40 cm<sup>3</sup>/s de la cual únicamente 19 cm<sup>3</sup>/s se recarga por el acuífero. La sobreexplotación del agua provoca que el oriente de la Ciudad de México se esté hundiendo 40 cm por año (Zambrano, 2010).

También, debido a la urbanización, se ha visto afectado el clima local; el cambio de uso de suelo natural permeable por elementos no porosos que durante el día absorben un alto porcentaje de la radiación solar, ocasiona que se presente el fenómeno de Isla de calor en la cuenca del Valle de México (Jauregui y Heres, 2008).

La problemática ambiental que enfrenta la Ciudad de México pone de manifiesto la necesidad de proteger, conservar e incrementar los espacios verdes abiertos, esto con la finalidad de contribuir a mejorar las condiciones ambientales de la gran urbe (Meza y Moncada, 2010).

El problema en México particularmente en la capital es el ritmo de vida que ha cambiado, la falta de tiempo libre y el aumento de estrés son una constante en los habitantes de las grandes ciudades como el Distrito Federal, por lo que no hay tiempo para la creación y cuidado de áreas verdes en los lugares que habitan.

Una de las propuestas para la creación de áreas verdes en la Ciudad de México, son los muros verdes; estos sistemas funcionan como sumideros de CO<sub>2</sub>, proporcionan humedad al ambiente, ayudan al ahorro de energía pues evitan grandes fluctuaciones térmicas dentro de las construcciones, entre otras más, además pueden servir para cultivar vegetales, lo cual se ha convertido en una opción ante la crisis alimentaria de diferentes regiones y países, tales como la zona metropolitana de Barcelona, donde los jardines verticales se están utilizando para producir alimentos a pequeña escala, por personas de la tercera edad en su mayoría (Domene y Sauri, 2006).

A pesar de la pérdida de la vegetación en todo el territorio nacional, México mantiene una gran riqueza de especies de flora, donde la vegetación xerófila es la más extensa en territorio del país (SEMARNAT, 2002). En este tipo de vegetación, las plantas se caracterizan por presentar poca demanda hídrica, gran resistencia al sol y variadas formas de crecimiento. Todas estas características las colocan como una excelente opción para la construcción de muros verdes de baja demanda de irrigación, lo que concuerda con las limitaciones del recurso en la Ciudad de México, particularmente en la región oriente de la misma. Por ello, en este estudio se propuso la construcción de un muro verde como un modelo que aproveche los recursos naturales del país, beneficie al medio ambiente, aporte mejoras a la imagen urbana y por tanto, a la calidad de vida de los habitantes.

## 5. PROBLEMÁTICA

La dicotomía sociedad/naturaleza es una relación que sustenta la historia de la humanidad (Vignal, 2008), ya que desde el origen de los homínidos, el ser humano y su entorno son elementos indisociables. El *homo sapiens* depende de la naturaleza en la medida que es parte de ella y de la cual se alimenta, extrae materiales y recursos naturales para su uso y desecho.

El aumento poblacional incide directamente sobre las condiciones de uso de suelo urbano. En la actualidad, la Ciudad de México cuenta con escasas zonas de parques, jardines y bosques, mientras que la urbanización, sobreexplotación

de recursos, contaminación de todo tipo y pérdida de áreas verdes continúa en aumento (SMAGDF, 2003).

Según la organización mundial de la salud (OMS) en la ciudad de México las áreas verdes por habitante son cada vez menos (Reyes, 2010). En 1995 correspondían a 2.5 m<sup>2</sup> de área verde por persona, en la actualidad es menor a 0.5 m<sup>2</sup> lo cual no corresponde con lo estipulado por esta organización, la cual recomienda 9 m<sup>2</sup> de áreas verdes por habitante y que todos los residentes de una ciudad tengan a una distancia no mayor de 15 minutos a pie un sitio arbolado, lo que resulta un reto para las autoridades ambientales de la Ciudad de México (Carrillo, 2013).

Por lo anterior, es importante implementar medidas de mitigación o compensación ambiental. Si se consideran los beneficios ambientales de los muros verdes, es necesario desarrollar un modelo de muro verde donde las plantas tengan acceso a nutrimentos y agua de forma directa, por tal motivo, se diseñó un muro verde con un sistema de captación pluvial donde se ensayaron dos tipos de aporte nutricional: a través de hongos micorrizógenos arbusculares y abono orgánico, con la finalidad de eficientizar el funcionamiento del muro verde. Para corroborar el funcionamiento y eficiencia del muro verde se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿La tasa de crecimiento relativo (TCR), cobertura, altura y supervivencia será mayor en plantas de *Echeveria simulans*, *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis*, cuyo sustrato se encuentre inoculado con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) después de 25 semanas de monitoreo en un muro verde?
- ¿La tasa de crecimiento relativo (TCR), cobertura, altura y supervivencia será mayor en plantas de *Haworthia fasciata*, *Sedum moranense* y *Sempervivum tectorum* cuyo sustrato se encuentre enriquecido con abono orgánico después de 25 semanas de cultivo en un muro verde?
- ¿Resulta funcional el sistema de captación pluvial propuesto para este modelo?
- ¿Resulta viable la construcción de un muro verde de estas características de acuerdo a un análisis costo-beneficio?

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo General

- Construir un muro verde funcional, de bajo mantenimiento y de cero riego con plantas crasas para aprovechar sus características fisiológicas.

### 6.2 Objetivos Particulares

- Construir un modelo de un muro verde con baja demanda hídrica y con mantenimiento general reducido.
- Eficientizar el crecimiento de las plantas crasas de las especies *Echeveria simulans*, *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis* en el experimento uno mediante micorrización y de las plantas de las especies *Haworthia fasciata*, *Sedum moranense* y *Sempervivum tectorum* en el experimento dos mediante el inóculo de abono orgánico.
- Determinar la funcionalidad de las plantas con base en sus características fenológicas.
- Determinar la TCR, altura y cobertura de las plantas utilizadas en ambos experimentos.
- Determinar la influencia que tiene el inóculo de Hongos micorrizógenos arbusculares y del fertilizante orgánico comercial “Organodel® Jardín” en el porcentaje de supervivencia y características cualitativas de las especies
- Analizar el costo beneficio del muro verde construido.

## 7. HIPÓTESIS

Si se instala un modelo de muro verde funcional y de bajo mantenimiento con plantas crasas, entonces la adición de micorrizas arbusculares y de abono orgánico permitirá obtener una tasa de crecimiento relativo, porcentaje de supervivencia, altura y cobertura más altos respecto a las plantas testigo que componen el muro verde, logrando incrementar la funcionalidad del sistema.

## 8. MATERIAL Y MÉTODOS

### 8.1 Especies

Las plantas que se utilizaron para construir el muro verde pertenecen a las siguientes especies: (a) *Echeveria simulans*, (b) *Haworthia fasciata*, (c) *Mammillaria compressa*, (d) *Mammillaria voburnensis*, (e) *Sedum moranense* y (f) *Sempervivum tectorum*. Todas las plantas se encontraban en estado adulto, parte de ellas se encontraban micorrizadas desde su siembra (a), (c) y (d); otras fueron tratadas con abono orgánico durante el trasplante [(b), (e) y (f)], mientras que otras más se mantuvieron sin tratamiento, ya que funcionaron como testigo. Las plantas de las especies (b) y (f); se adquirieron en el mercado de Cuemanco, en Xochimilco, al sur del Distrito Federal mientras que las plantas de las especies (a), (c), (d) y (e) se obtuvieron del vivero de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México (Figura 1).



Figura 1. a) *Echeveria simulans* b) *Haworthia fasciata* c) *Mamillaria compressa* d) *Mammillaria voburnensis* e) *Sedum moranense* f) *Sempervivum tectorum*

## 8.2 Área de trabajo

El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México en estructuras metálicas adosadas al muro poniente que se encuentran en el exterior del invernadero el cual tiene orientación norte-sur.

## 8.3 Sustrato

El sustrato que se utilizó en este trabajo provino de una localidad al norte del poblado de Santiago Anaya (20°22'715" latitud N; 98°56'114" longitud O),

pertenece al municipio del mismo nombre y localizado en el Valle de Actopan Hidalgo, México, a una altitud de 2161 msnm. El suelo colectado se tamizó con una malla de 2 mm con la finalidad de eliminar partículas grandes de materia orgánica, piedras, raíces, entre otras estructuras, después se realizó una mezcla homogénea con arena sílica relación 1:2 (v/v) para mejorar el drenaje de la mezcla. Posteriormente el suelo se esterilizó con calor húmedo, tres veces durante una hora cada vez, con una temperatura entre 110-120° C y a una presión entre 1.2 y 1.4 libras/pulgadas (Álvarez-Sánchez y Monroy, 2008) en autoclave.

<b>Características físicas</b>	<b>Características químicas</b>
<b>Color en seco: Grisaseo 10YR5/2</b>	pH (suelo-agua 1:1): 7.40
<b>Color en húmedo: Café muy oscuro 75YR25/2</b>	pH (Pasta de saturación): 8.38
<b>Densidad aparente: 1.54 g/cm<sup>3</sup></b>	C.I.C: 7.54 meq/100g
<b>Densidad real: 2.27 g/cm<sup>3</sup></b>	Materia orgánica: 0.87%
<b>Espacio poroso: 32.16%</b>	P extraíble 5.1171 mg/kg
<b>Textura: Arcilla 1.80 %</b>	N total: 0.0186%
<b>Limo 10.02 %</b>	
<b>Arena 88.18 %</b>	
	Conductividad eléctrica: 2.08 ds/m <sup>-1</sup>

**Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo (Simancas, 2007)**

#### **8.4 Abono**

El fertilizante orgánico que fue aplicado se adquirió en una tienda departamental "Organodel® Jardín (Fig.2), el cual presenta las características mostradas en el cuadro 2. El costo de una bolsa de 5 kg es de \$30 MXN (pesos mexicanos).

Cuadro 2. Características del abono.

Elementos Nutritivos	mg/Kg	Elementos Nutritivos	mg/Kg
Nitrógeno (N)	24.375	Azufre (S)	2
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	14.375	Cobre (Cu)	0.03125
Potasio (K <sub>2</sub> O)	21.25	Zinc (Zn)	0.1875
Calcio (Ca)	40	Manganeso (Mn)	0.1875
Magnesio (Mg)	5.08	Hierro (Fe)	1.37



Figura 2. Organodel® Jardín

## 8.5 Diseño estadístico

La metodología consistió en instalar un muro con plantas crasas donde se determinó la influencia de un inóculo micorrízico así como el de un abono orgánico, sobre el desarrollo de las plantas utilizadas para la instalación. Esto se realizó mediante el montaje de dos experimentos, ambos consistentes en ANOVAS de dos factores: 1) micorrización x especies y 2) aplicación de abono orgánico x especies. En cada experimento hubo dos niveles por factor con 12 repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue un módulo con un recipiente captador de agua de lluvia y dos macetas con una planta cada una. Las variables de respuesta a registrar fueron la tasa de crecimiento relativo (TCR) y el porcentaje de supervivencia. También se analizaron variables de respuesta vegetal por especie donde se realizaron pruebas de comparación de

medias (paramétricas o no) entre tratamientos y testigos para registros de cobertura y floración.

### 8.6 Trasplante

Se trasplantó un individuo de cada especie a una maceta de plástico cuadrada cuyas medidas fueron 7.3 cm de diámetro y 7 cm de altura; se colocó en su base pellón para evitar la pérdida de sustrato las especies se acomodaron de acuerdo al diseño experimental preestablecido (Fig. 3).



Figura 3. Trasplante

### 8.7 Ensamble de módulos

Se utilizó una rejilla de plástico de 30 x 25 cm de superficie y 11 cm de altura a la cual se sujetaron dos macetas de plástico de 12 x 12 cm de superficie y 11 cm de altura con ayuda de cintillos, se colocaron con una inclinación aproximada de 45° en la parte superior de la rejilla. Por dentro de la maceta se introdujeron un par de cordones de algodón para permitir el aporte hídrico por capilaridad. En la parte baja de la rejilla se colocó el captador de agua (recipiente de plástico de 16 x 16 cm y 9 cm de profundidad) adherido con silicón y con media tapa, la cual fue perforada para la introducción de los cordones de alimentación hídrica, la otra mitad de la tapa fue cubierta con yute con la finalidad de que el agua de origen pluvial se depositara (Figura 4, 5 y 6)



Figura 4. Modulo armado

**ENSAMBLE DE MODULOS**

Perforar las macetas por la parte de atrás para lograr sujetarlas.



Hacer una apertura en la tapa del contenedor de 13 x 9 cm por la parte frontal; en la parte de atrás hacer dos perforaciones con ayuda de un taladro.



Sujetar dos macetas de plástico con el alambre en la parte superior de la rejilla con una inclinación de 45°



Colocar un cordón de algodón a través de los orificios de la maceta e introducirlos en las perforaciones de la tapa del

Fijar el contenedor con silicón a la parte baja de la rejilla dejando la abertura grande hacia el frente cubierto por una tela de yute.



Trasplantar una planta por maceta siguiendo el diseño experimental.



Llenar los contenedores de agua y montar los módulos en el mueble metálico que se encuentra adosado al muro del invernadero de la FES Zaragoza Campus II.





Figura 6. Ensamble y trasplante a) ensamble de módulos b) trasplante c) módulos con plantas d) riego posterior al trasplante

### 8.8 Montaje del muro

Una vez armados todos los módulos, el espacio disponible en el muro fue dividido en dos. En la primera parte se colocó el experimento 1 de micorrización, se ubicaron los módulos al azar entre testigos y plantas con tratamiento procurando un acomodo estético. En el segundo espacio se colocó el experimento 2 de abono orgánico, de igual manera se acomodaron plantas con tratamiento y sin tratamiento al azar y se procuró la estética del muro. Ambos experimentos quedaron sobre una sola base metálica (Figura 7, Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Contenido del muro

CONCEPTOS	EQUIVALENCÍA
Unidad de cultivo	Una maceta con una planta
Unidad experimental (Modulo)	Rejilla con dos macetas y reserva hídrica
Repeticiones	Cada una de las macetas



Figura 7. Montaje del muro en la base metálica

Cuadro 4. Colocación de los módulos en el muro

Tratamiento	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Tratamiento	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1	Modulo1
M+	a,a	a,a	a,a	a,a	a,a	a,a	A+	d,e	d,e	d,e	d,e	d,e	d,e
M+	b,c	b,c	b,c	b,c	b,c	b,c	A+	f,e	f,e	f,e	f,e	f,e	f,e
M -	b,c	b,c	b,c	b,c	b,c	b,c	A -	f,e	f,e	f,e	f,e	f,e	f,e
M -	a,a	a,a	a,a	a,a	a,a	a,a	A -	d,e	d,e	d,e	d,e	d,e	d,e

M+: Plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares M-: Plantas no micorrizadas (testigos).

A+: Plantas enriquecidas con abono orgánico A-: Plantas no abonadas (testigos)

(a) *Mammillaria voburnensis*, (b) *Echeveria simulans*, (c) *Mammillaria compressa*, (d) *Haworthia fasciata*, (e) *Sedum moranense*, (f) *Sempervivum tectorum*

### 8.9 Experimento 1. Micorrización

Para este experimento se prepararon 48 plantas en una maceta cada una, 24 plantas de tres especies diferentes inoculadas con micorrizas arbusculares y 24 sin inoculo, las cuales funcionaron como testigo. Las plantas se acomodaron en los módulos y se colocaron en el muro al azar tal como se muestra en el cuadro 5 y se obtuvo la apariencia de la figura 8.

**Cuadro 5. Número de repeticiones de la unidad experimental (rejilla con dos macetas)**

Tratamiento Micorrización	Especie (a y a)	Especie (b y c)
	(a) <i>Mammillaria voburnensis</i>	(b) <i>Echeveria simulans</i> (c) <i>Mammillaria compressa</i>
M+	6(a)+6(a)= 12 macetas (a,a) = 6 módulos	6 (b) + 6 (c) = 12 macetas (b,c) = 6 módulos
M-	6(a)+6(a)= 12 macetas (a,a) = 6 módulos	6 (b) + 6 (c) = 12 macetas (b,c) = 6 módulos

**M+:** Plantas inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares **M-:** Plantas no micorrizadas (testigos).



**Figura 8. Experimento 1. Micorrización.**

### 8.10 Experimento 2. Abono orgánico

Se prepararon 48 plantas en una maceta cada una, 24 plantas de tres especies diferentes con un sustrato enriquecido con abono orgánico y 24 que funcionaron como testigo, las plantas se acomodaron en los módulos y se distribuyeron en el muro al azar (cuadro 6), la apariencia se muestra en la figura 9.

**Cuadro 6. Número de repeticiones de la unidad experimental (rejilla con dos macetas)**

Tratamiento  Abono orgánico	Especie (d y e)  (d) <i>Haworthia fasciata</i>  (e) <i>Sedum moranense</i>	Especie (f y e)  (f) <i>Sempervivum tectorum</i>  (e) <i>Sedum moranense</i>
A+	6(d)+6(e) = 12 unidades (d,e) = 6 módulos	6(f)+6(e) = 12 unidades (f,e) = 6 módulos
A-	6(d)+6(e) = 12 unidades (d,e) = 6 módulos	6(f)+6(e) = 12 unidades (f,e) = 6 módulos

**A+: Plantas enriquecidas con abono orgánico A-: Plantas no abonadas (testigos)**



**Figura 9. Experimento 2. Abono orgánico.**

### 8.11 Variables de respuesta

**Supervivencia:** Ésta se registró semanalmente durante un periodo de 25 semanas, se inicio con el trasplante a las unidades experimentales. Con estos datos, se calculó el porcentaje del número de plantas que sobrevivió con respecto al número inicial de individuos montados en el experimento.

El porcentaje de supervivencia de las distintas especies se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de supervivencia} = [(\text{Número de individuos iniciales})/(\text{Número de individuos finales})] \times 100$$

**Tasa de crecimiento relativo:** Se calculó a partir de la altura máxima al inicio y final del periodo de cultivo de las plantas. Los datos se registrarón durante un periodo de 25 semanas después del trasplante. Se utilizó el modelo de crecimiento exponencial. Para calcular este parámetro, se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{TCR} = [\ln(\text{altura final}) - \ln(\text{altura inicial})] / t \text{ (días)}$$

donde:

TCR= Tasa de crecimiento relativo

Altura final e inicial: en milímetros      Tiempo: en días

**Cobertura:** La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprende una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Martínez *et al.*, 2013)

En este experimento, la cobertura se refiere a la proyección perpendicular de las partes aéreas del individuo visto desde la superficie de las plantas. La cobertura de las plantas crasas no está influenciada de forma determinante por variaciones estacionales y anuales por lo que provee una medida más indicativa de la ocupación del terreno e influencia que ejerce una planta (Montan y Busso, 2004)

Para obtener una aproximación de la cobertura de las plantas estudiadas, se midió el diámetro mayor y diámetro menor de cada individuo, ambos perpendiculares y pasando por el centro de la planta, para después calcular la superficie de un círculo con el diámetro medio registrado.

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Experimento 1. Micorrización

#### Supervivencia

La supervivencia para *Echeveria simulans*, *Mamillaria compressa* y *Mamillaria voburnensis* fue del 100% para plantas micorrizadas y no micorrizadas (Figura 10 y 11). En el caso de plantas micorrizadas se atribuye esta supervivencia a que los HMA proveen de resistencia a las plantas ante el estrés hídrico, tolerancia a ciertos patógenos del suelo e incrementan el porcentaje de supervivencia al trasplante (Linderman, 1992). La supervivencia de las plantas no micorrizadas se atribuye a la resistencia natural de las plantas crasas ante factores ambientales como el estrés hídrico y la radiación solar.

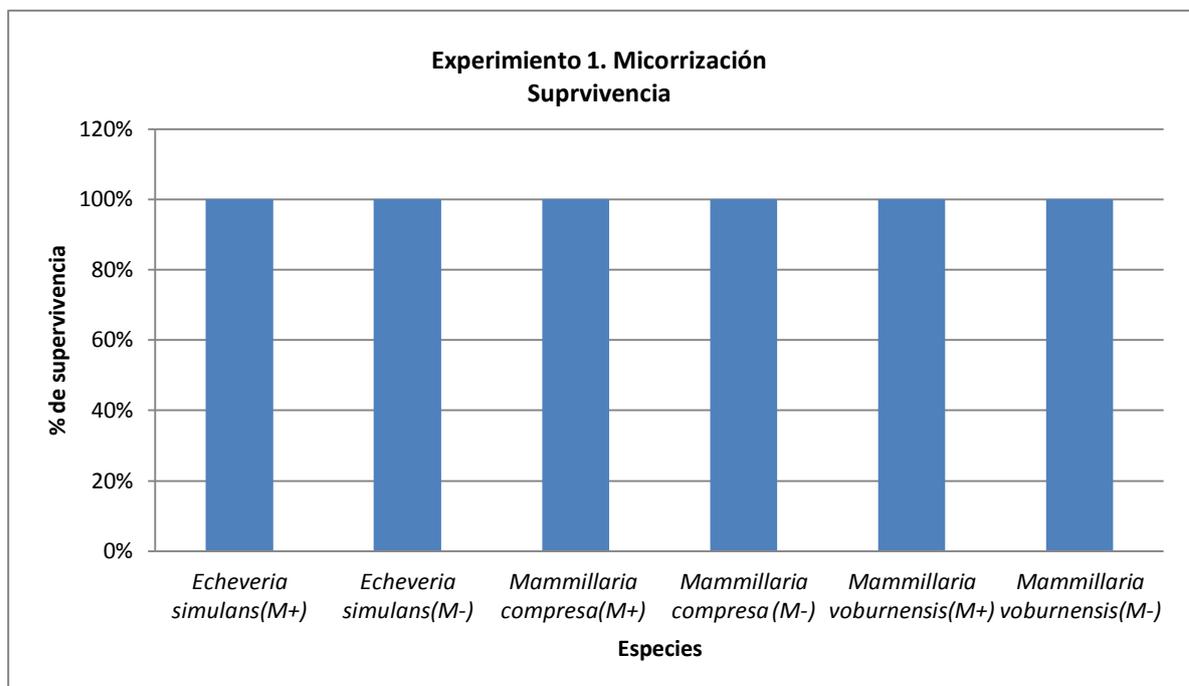


Figura 10. Supervivencia de *Echeveria simulans*, *Mamillaria compressa* y *Mamillaria voburnensis*. M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas



Figura 11. Supervivencia del 100% en plantas micorrizadas

### Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Se encontró una diferencia significativa en la tasa de crecimiento relativo de *Echeveria simulans* y *Mamillaria compressa* (Figura 12 y 13); las plantas con el tratamiento M+ presentan los valores más altos gracias al efecto de los HMA, ya que éstos hacen más eficiente el suministro hídrico hacia el vegetal (Rundel y Novel, 1991). En el caso de *Mammillaria voburnensis* las plantas con tratamiento M+ también presentaron TCR mayor, pero sin diferencia estadísticamente significativa (Figura 14).

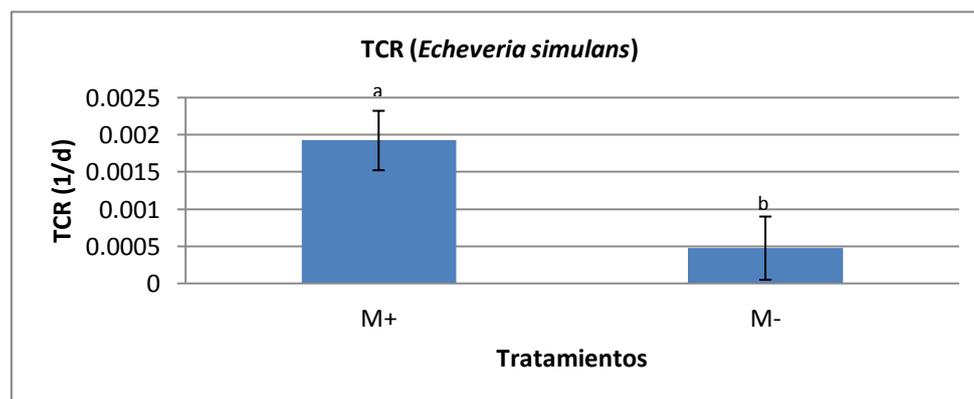


Figura 12. TCR *Echeveria simulans*. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

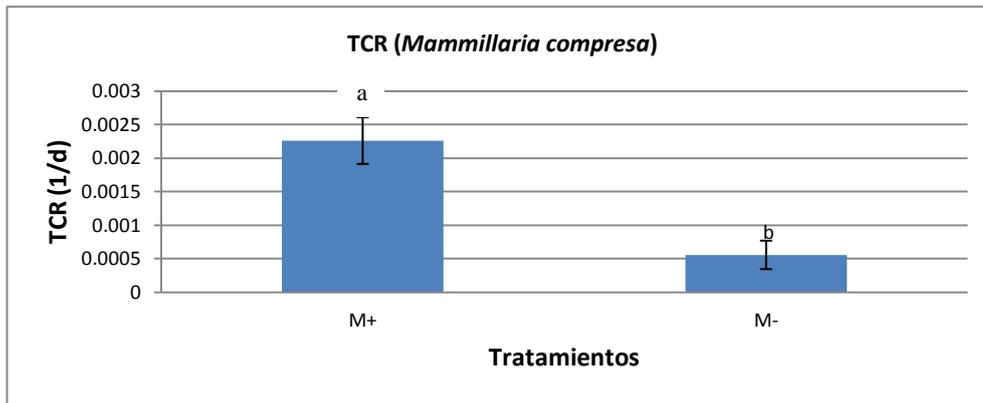


Figura 13. TCR *Mamillaria compressa*. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

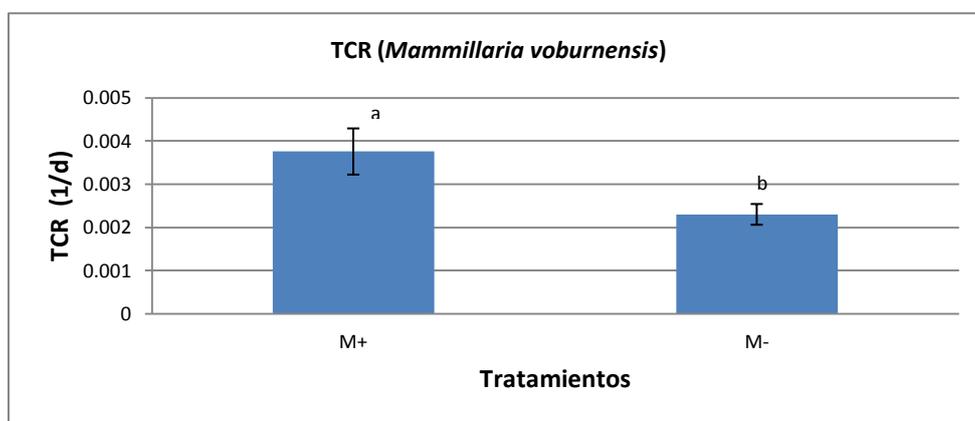


Figura 14. TCR *Mamillaria voburnensis*. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

## Altura

Solo *Echeveria simulans* no muestra diferencia significativa cuyo valor obtenido fue  $p=0.3988$  (Figura 14), mientras que *Mamillaria compressa* y *Mamillaria voburnensis* sí mostraron diferencia significativa lo cual favoreció a las plantas micorrizadas con valores de  $p=0.0007$  y  $p=0.0016$  respectivamente (Figura 15 y 16).

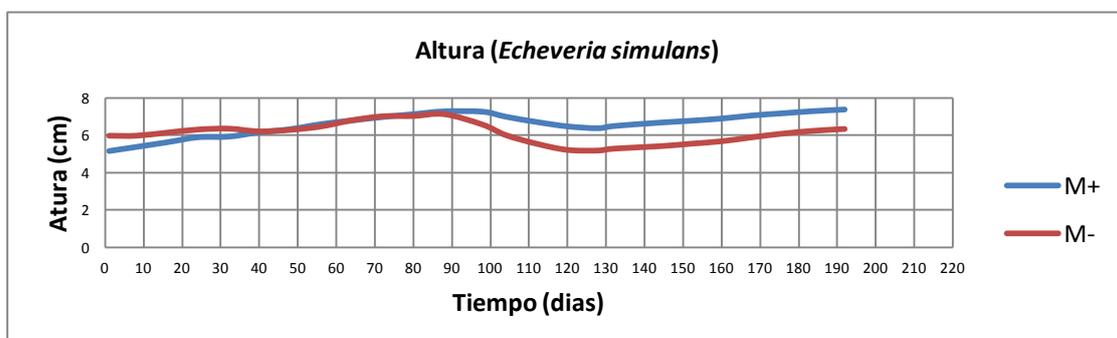


Figura 15. Altura de *Echeveria simulans* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas.

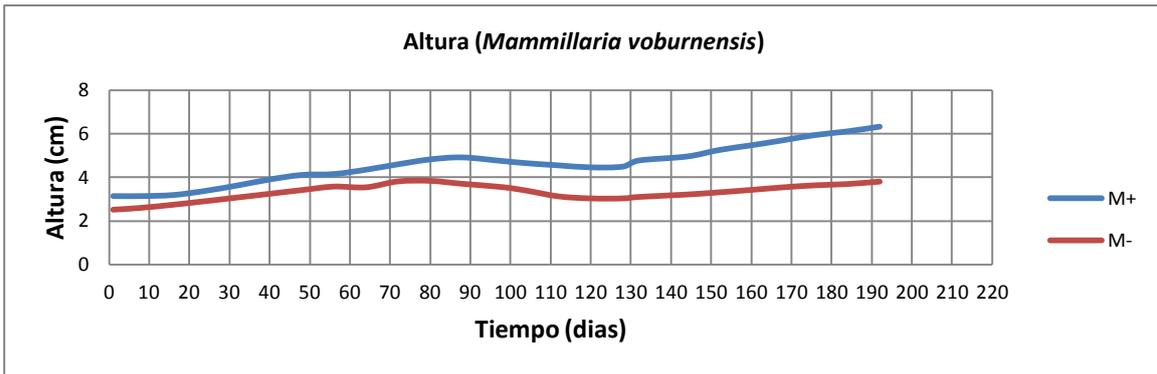


Figura 16. Altura de *Mammillaria voburnensis* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas  
M-: plantas no micorrizadas

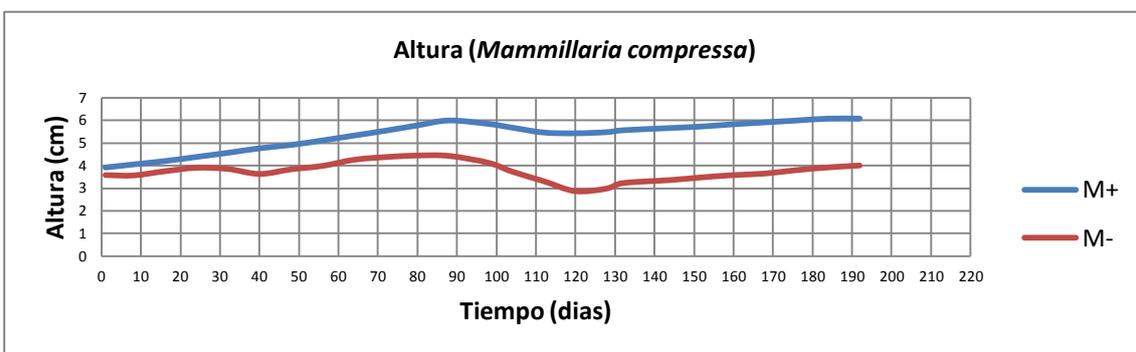


Figura 17. Altura de *Mammillaria compressa* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas  
M-: plantas no micorrizadas

## Cobertura

No se encontraron diferencias significativas entre plantas micorrizadas y no micorrizadas para ninguna de las tres especies: *Mammillaria voburnensis*, *Echeveria simulans* y *Mammillaria compressa*, donde los valores obtenidos por los análisis estadísticos fueron  $p=0.44$ ,  $p=0.0514$  y  $p=0.105$  respectivamente (Figura 17,18 y 19).

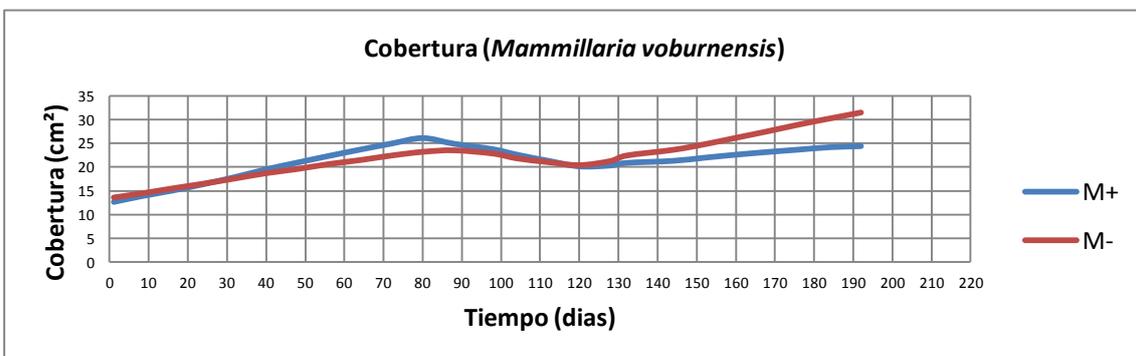


Figura 18. Cobertura de *Mammillaria voburnensis* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas

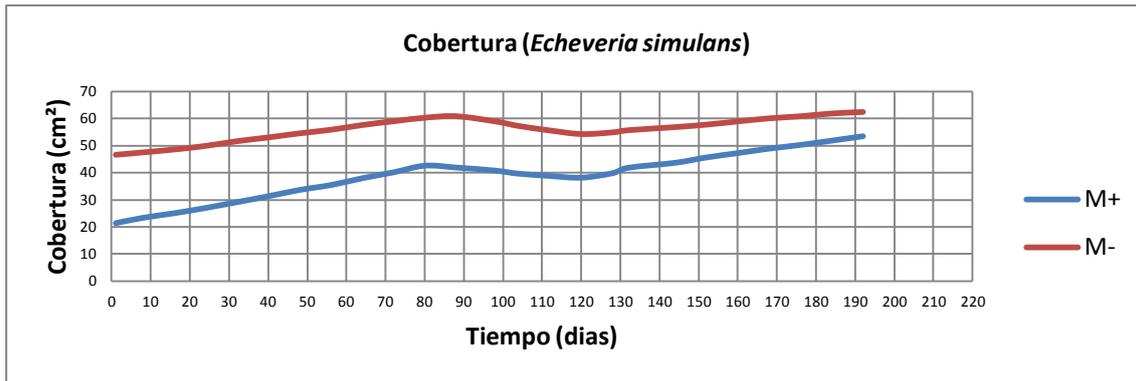


Figura 19. Cobertura de *Echeveria simulans* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas

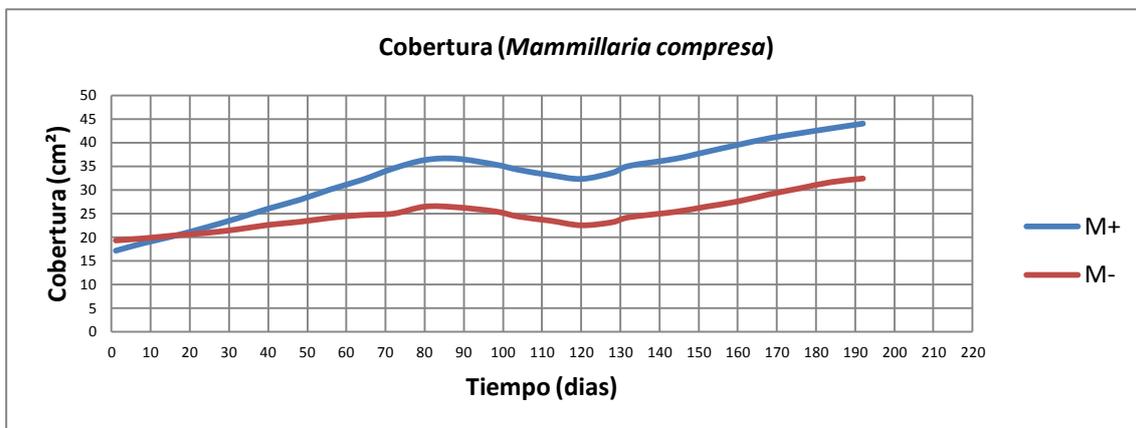


Figura 20. Cobertura de *Mammillaria compressa* a lo largo del experimento M+: plantas micorrizadas M-: plantas no micorrizadas

Con base en los resultados de altura, diámetro, tasa de crecimiento relativo y cobertura, se puede decir que aunque no en todos los casos hubo diferencia significativa entre tratamientos, si se observó una tendencia en el incremento del crecimiento de las plantas del tratamiento micorrizado (M+), la cual se atribuye al efecto de los hongos micorrizogenos arbusculares, ya que promueven el incremento en la longitud radical y aumentan la absorción de minerales necesarios para el crecimiento vegetal (Luna y Monroy, 2009).

### Floración

Sólo las plantas de *Mammillaria voburnesis* inoculadas con micorrizas presentaron floración en los meses de enero y febrero del año 2012, esto debido a que uno de los efectos más importantes de las micorrizas en las plantas es el incremento en la absorción de nutrientes y agua del suelo que se traduce en mayor crecimiento y desarrollo de las plantas donde se incluye la floración (Sanders y Tinker, 1973).

Los resultados de las pruebas estadísticas para este experimento se encuentran en el Anexo 1.

## 9.2 Experimento 2 Abono orgánico

### Supervivencia

La supervivencia fue del 100% en plantas abonadas y no abonadas de *Haworthia fasciata* y *sempervivum tectorum* (Figura 21). En el caso de *Sedum moranense* la supervivencia fue únicamente del 25% esto posiblemente porque las raíces de las plantas fueron dañadas durante el trasplante o por la formación de ácidos húmicos formados en el suelo con la materia orgánica aportada con el abono y el agua (Figura 22).

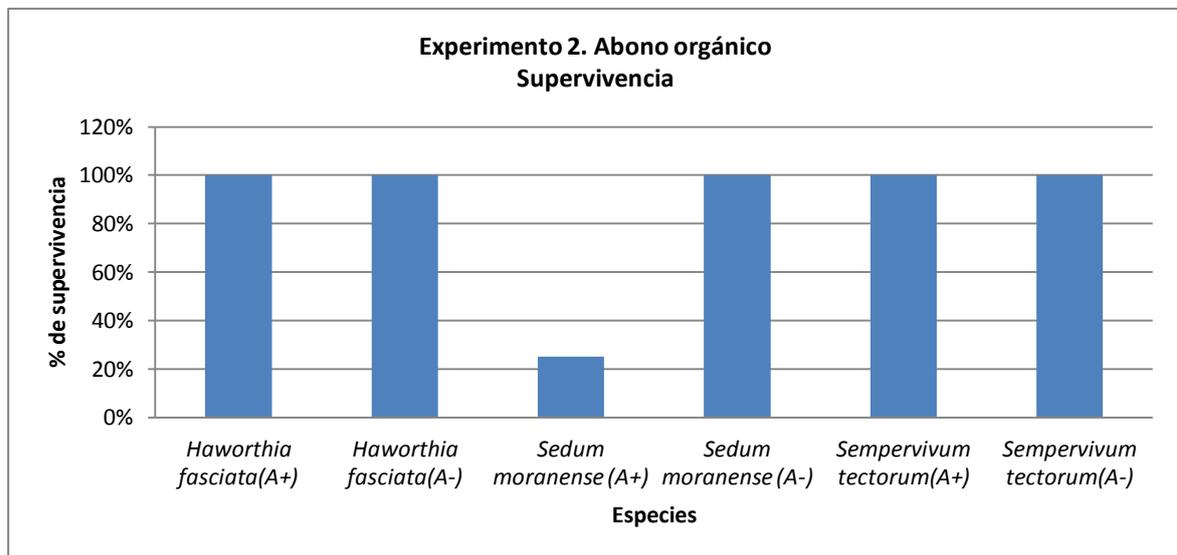


Figura 21. Supervivencia de *Haworthia fasciata*, *Sedum moranense* y *Sempervivum tectorum*. A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas



Figura 22. Muerte de individuos de *Sedum moranense*

### Tasa de crecimiento relativo (TCR)

No se encontraron diferencias significativas entre plantas abonadas y no abonadas de *Sedum moranense* y *Haworthia fasciata* (Figura 23 y 24). Para el caso de *Sempervivum tectorum* la TCR fue mayor en plantas abonadas que en las no abonadas con un valor de  $p=0.012$ , lo que indica una diferencia significativa (Figura 25).

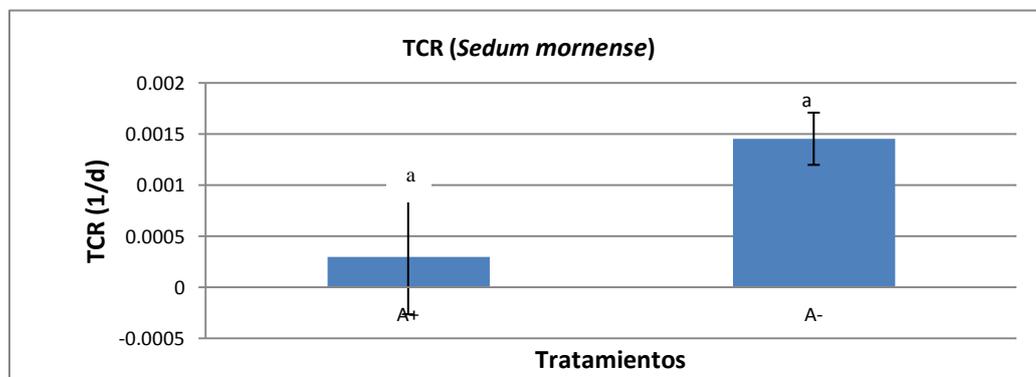


Figura 23. TCR *Sedum moranense*. Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

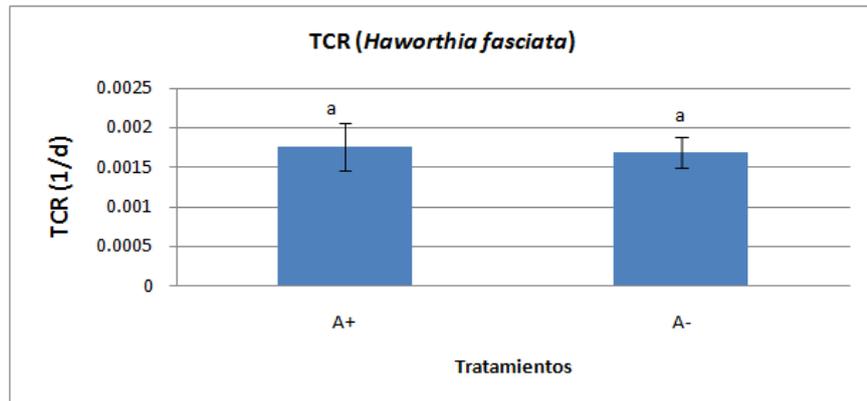


Figura 24. TCR *Haworthia fasciata*. Letras diferentes indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

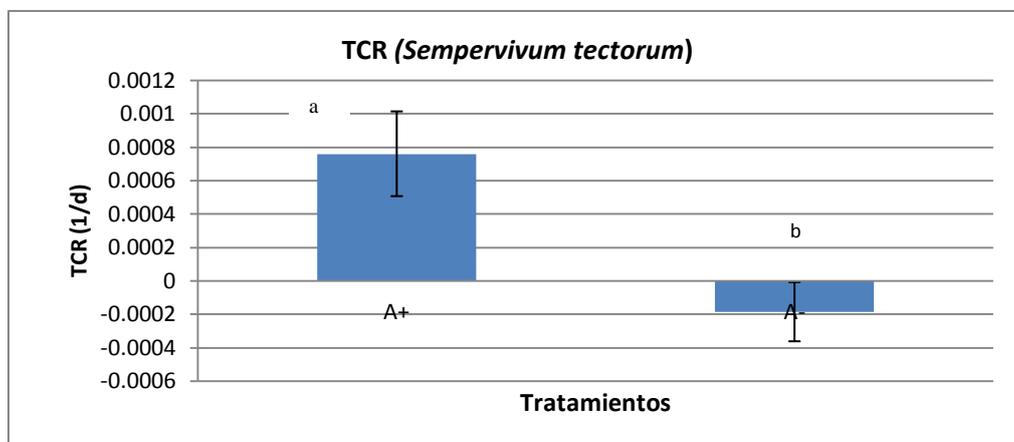


Figura 25. TCR *Sempervivum tectorum*. Letras sobre las barras indican diferencias significativas  $p \leq 0.5$

## Altura

La altura fue mayor para en plantas de las especies *Haworthia fasciata* y *Sempervivum tectorum* (Figura 26 y 27) sin embargo el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre plantas abonadas y no abonadas, donde los valores obtenidos fueron  $p=0.75$  y  $p=0.98$ . En el caso de plantas de la especie *Sedum moranense* tampoco se encontró diferencia significativa con un valor de  $p=0.38$  (Figura 28).

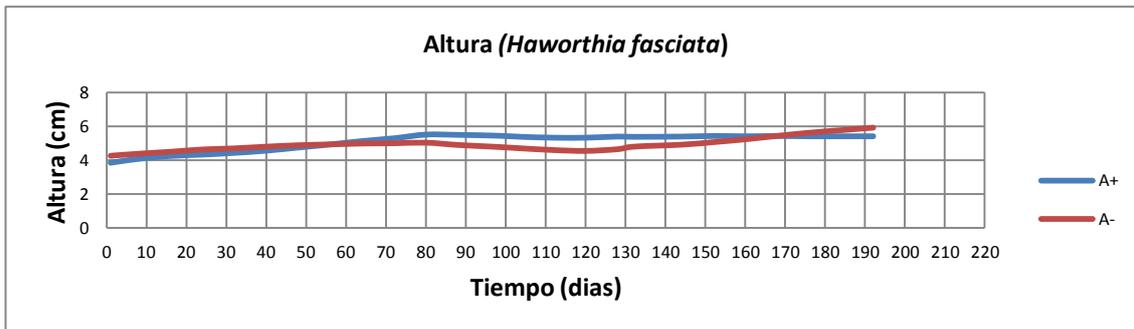


Figura 26. Altura de *Haworthia fasciata* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas

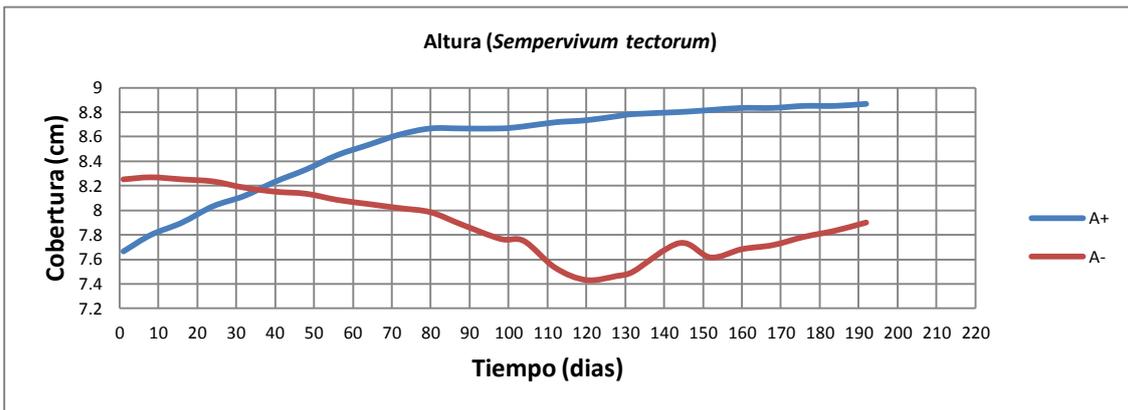


Figura 27. Cobertura de *Sempervivum tectorum* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas.

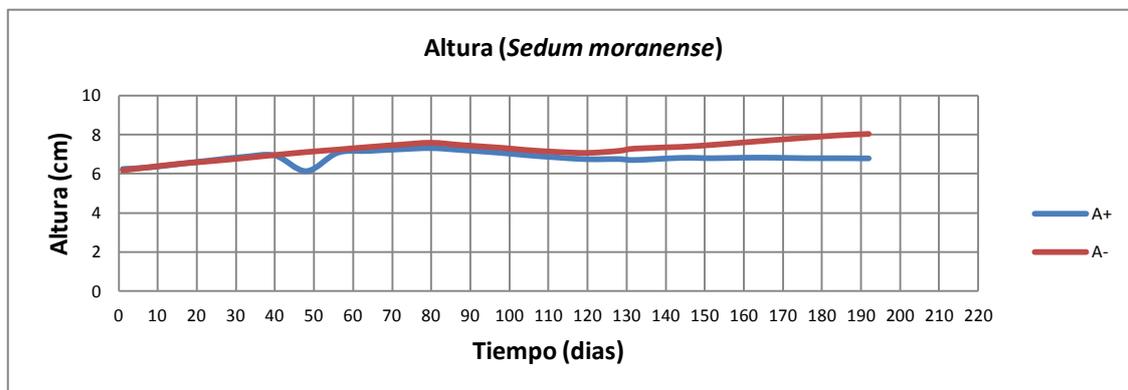


Figura 28. Altura de *Sedum moranense* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas

## Cobertura

La cobertura no mostró diferencias significativas entre plantas abonadas y no abonadas para ninguna de las tres especies: *Sedum moranense*, *Haworthia fasciata* y *Sempervivum tectorum* cuyos valores obtenidos fueron  $p=0.38$ ,  $p=0.75$  y  $p=0.98$  respectivamente (Figura 29, 30 y 31).

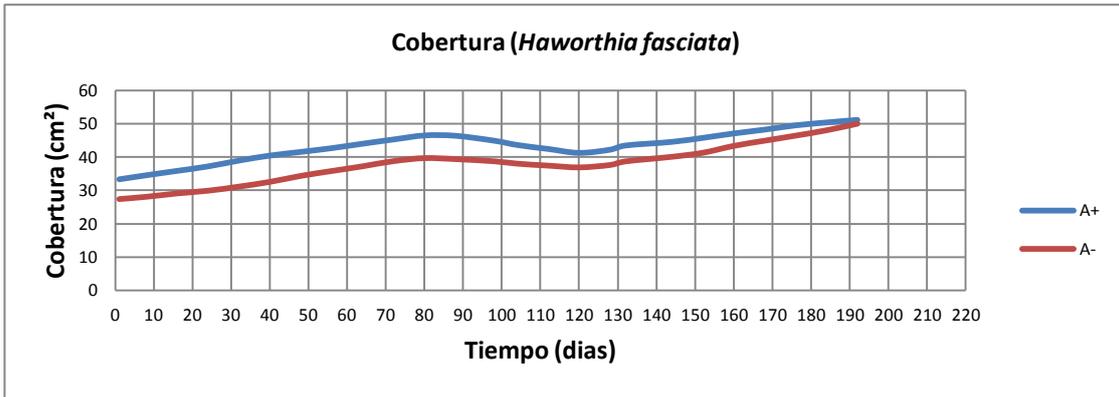


Figura 29. Cobertura de *Haworthia fasciata* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas

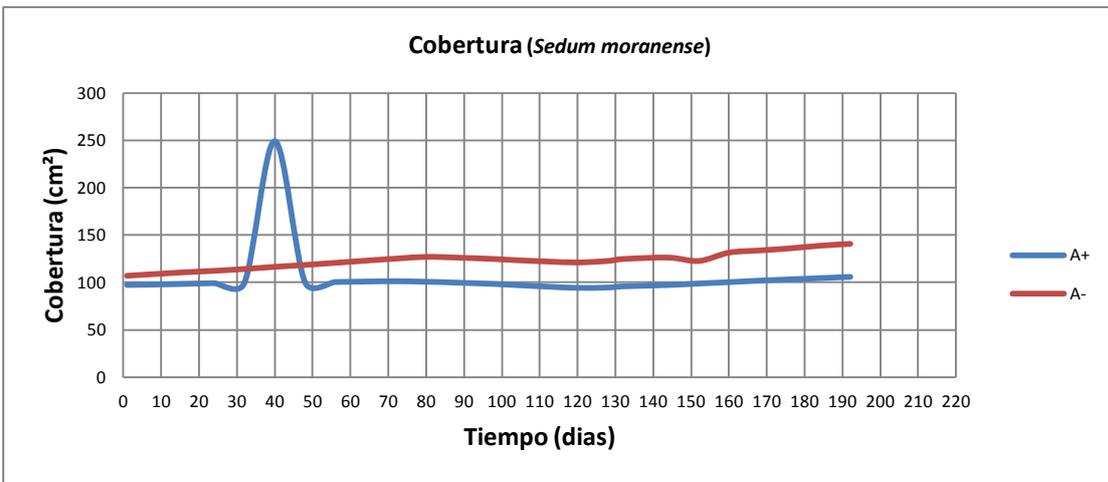


Figura 30. Cobertura de *Sedum moranense* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas

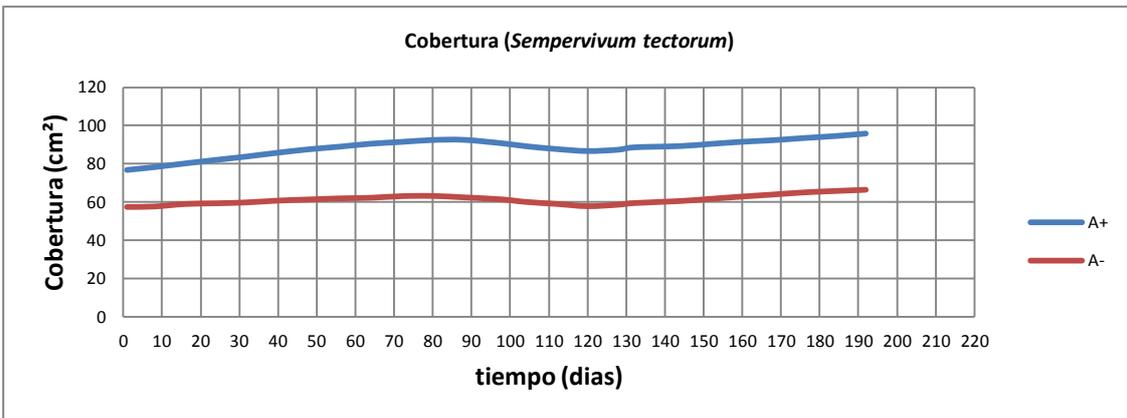


Figura 31. Cobertura de *Sempervivum tectorum* a lo largo del experimento A+: plantas abonadas A-: plantas no abonadas

## Floración

Las plantas abonadas de *Haworthia fasciata* presentaron floración a lo largo de todo el experimento (Figura 32) las plantas abonadas y no abonadas de *Sedum moranense* y *Sempervivum tectorum* no presentaron floración.



Figura 32. Floración de *Haworthia fasciata*

Con base en los resultados de altura, diámetro, tasa de crecimiento relativo, cobertura y floración, se puede decir que aunque no en todos los casos hubo diferencia significativa entre tratamientos, si se observó una tendencia en el incremento del crecimiento de las plantas del tratamiento abonado (A+) el cual se atribuye a que bajo la mayoría de las condiciones, el crecimiento y desarrollo vegetal se puede estimular mediante la aplicación apropiada de nutrientes complementarios (Ludwick, *et al.* 1957).

Cuadro 7. Síntesis de resultados

Síntesis de resultados												
Especie												
	1 M+	1 M-	2 M+	2 M-	3 M+	3 M-	4 A+	4 A-	5 A+	5 A-	6 A+	6 A-
Parámetro												
TCR (d <sup>-1</sup> )	3.8E-03 a	2.3E-03 b	1.9 E-03 a	4.8E-04 b	2.3E-03 a	5.6E-04 b	1.8E-03 a	1.7E-03 a	2.9E-04 a	1.5E-03 a	7.6E-04 a	-1.9E-04 b
Cobertura (cm <sup>2</sup> )	21.13 a	22.28 a	38.79 a	40.40 a	32.56 a	44.54 a	43.22 a	37.80 a	105.26 a	123.29 a	90.80 a	91.08 a
Altura (cm)	4.58 a	3.31 b	6.60 a	6.10 a	5.34 a	3.75 b	5.06 a	4.91 a	6.81 a	7.23 a	8.53 a	7.89 a
Supervivencia (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	25%	100%	100%	100%
Floración (+/-)	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-

1 *Mammillaria voburnensis*, 2 *Echeveria simulans*, 3 *Mammillaria compressa*, 4 *Haworthia fasciata*, 5 *Sedum moranense*, 6 *Sempervivum tectorum*; M+: plantas micorrizadas, M-: plantas no micorrizadas; A+: plantas abonadas, A-: plantas no abonadas. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ )

Los resultados de las pruebas estadísticas para este experimento se encuentran en el Anexo 2.



Figura 33. Muro completo 25 semanas después

### 9.3 Análisis costo-beneficio

#### Costo económico

Cuadro 8. Materiales y costos para la construcción del muro verde

Materiales	Precio unitario	Cantidad requerida	Precio total
Estructura metálica	\$ 2000	1	\$ 2,000
Plantas	\$ 5.00	96	\$ 480
Macetas	\$ 7.00	96	\$ 672
Contenedores	\$ 14.00	48	\$ 1,372
Yute	\$ 20.00	1	\$ 20
Piola	\$ 30.00 x 5 m	1	\$ 30
Silicón	\$ 30.00	1	\$ 30
Abono orgánico	\$ 30.00 x 2 kg	1	\$ 30
Micorrizas	\$ 70.00	1	\$ 70
Rejillas	\$ 11.00	48	\$ 528
Mano de obra	\$30.00 x módulo	48	\$1,440
			Total: \$6,672.00
	Precio del muro (3.456 m <sup>2</sup> )		\$ 6,672.00
	Precio por m <sup>2</sup>		\$1 930.55
	Costo por módulo (Rejilla con dos plantas, dos macetas y captador de agua)		\$139

#### Beneficio económico

El inmueble aumenta un 10% su valor comercial al instalarle un muro verde, en este caso se estima el precio del invernadero en \$ 600,000. El área cubierta únicamente fue del 5% por lo que aumentaría alrededor de \$ 3,000 por lo que el precio final sería de \$603,000.00

#### Beneficio social y ambiental

Los beneficios sociales y ambientales se enlistan a continuación:

- Disminuye el sobrecalentamiento de las instalaciones durante el periodo estival, produce ondas frescas alrededor de la edificación mediante la evapotranspiración de las plantas.
- Funciona como sumideros de CO<sub>2</sub> en una de las zonas más sobrepobladas del Distrito Federal

- Se genera un espacio agradable y fresco, que ayuda a disminuir el estrés, común en los habitantes de la Ciudad de México.
- No se requiere riego ni mantenimiento durante largos periodos de tiempo para mantenerlo funcional y estético.

El muro verde instalado en el invernadero de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza *Campus II* resultó estable y funcional, ya que las plantas de *Echeveria simulans*, *Haworthia fasciata*, *Mammillaria compressa*, *Mammillaria voburnensis* y *Sempervivum tectorum* lograron establecerse con una supervivencia del 100%, con tratamiento o no. *Sedum moranense* presentó una supervivencia únicamente del 25% para plantas con tratamiento A+ y 100% para plantas testigo, por lo que no se recomienda el uso de este abono en esta especie en particular.

## 10. CONCLUSIONES

La hipótesis se rechaza parcialmente pues no en todos los casos se vio favorecida la TCR, cobertura, altura, supervivencia y floración de las especies con tratamiento M+ (micorrizadas) y A+ (abonadas) (Cuadro 7). Sin embargo fue acertada en plantas con tratamiento (M+) de *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis* quienes presentaron TCR y altura mayor con diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). *Echeveria simulans* con tratamiento (M+) y *Sempervivum tectorum* (A+) únicamente presentaron TCR mayor con diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (Figura 33).

El modelo del muro resultó funcional pues no recibió ningún riego ni mantenimiento, los contenedores fueron capaces de recolectar el agua de lluvia para suministrar a las plantas. La pérdida de sustrato fue mínima, a pesar de que el muro se encuentra a la intemperie y las macetas inclinadas hacia el frente en un ángulo de 45° aproximadamente.

La micorrización favorece el establecimiento y supervivencia de *Echeveria simulans*, *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis* en el muro verde.

La micorrización permitió una supervivencia del 100% en un periodo de 25 semanas abarcando los periodos de invierno y primavera a la intemperie.

La simbiosis micorrizica arbuscular permitió que las plantas con tratamiento M+ de *Echeveria simulans*, *Mammillaria compressa* y *Mammillaria voburnensis* tuvieran mayor tasa de crecimiento relativo y mayor altura respecto a las plantas testigo.

Las plantas con tratamiento A+ de *Haworthia fasciata* y *Sempervivum tectorum* presentaron una tasa de crecimiento mayor respecto a las testigo de la misma especie, sin embargo la diferencia no fue estadísticamente significativa.

Las plantas con tratamiento A+ no se vieron favorecidas ni en altura ni en cobertura respecto a las testigos.

A pesar de que el modelo del muro fue diseñado para ser de cero riego y bajo mantenimiento, se concluye que es conveniente regar las plantas por lo menos dos veces al año durante la época de estía, además de proporcionar mantenimiento por lo menos una vez al año para limpiarlo y mantener la estética del muro y de las plantas.

Las plantas crasas resultan una excelente opción para este modelo de muro verde, por lo que se sugiere aprovecharlas por su extensa variedad así como la elección de especies vistosas y con mayor floración, lo que favorecerá el componente estético del muro.

## 11. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS

Es conveniente la inoculación de otras plantas crasas más llamativas con hongos micorrizogenos arbusculares (HMA) y abono orgánico para analizar sus respuestas y el resultado estético en el muro.

Hay especies donde el beneficio de asociación micorrizica y abono orgánico no se reflejan en parámetros de crecimiento, por lo que es importante valorar otros indicadores que determinen la influencia de la simbiosis micorrizica y la adición de abono orgánico al sustrato.

Incrementar el tiempo de monitoreo y aumentar el tamaño de muestra también pueden reflejar con mayor precisión la influencia de hongos micorrizogenos arbusculares (HMA) y abono orgánico en el crecimiento de las plantas.

Es recomendable realizar una evaluación del porcentaje de colonización micorrízica a lo largo del tiempo de monitoreo para comprobar que las plantas se micorrizarán satisfactoriamente.

En cuanto a la construcción del muro, se recomienda mejorar la calidad de los materiales utilizados, ya que esto garantizará mayor durabilidad, así mismo utilizar macetas más grandes y con mayor profundidad podría evitar que las plantas se desprendan del sustrato con las lluvias fuertes.

En cuanto a la limpieza, es recomendable lavar los captadores de agua por lo menos una vez al año para evitar la propagación de hongos y/o bacterias patógenas para las plantas.

Finalmente es conveniente señalar que este trabajo abre perspectivas para la construcción de nuevos modelos de muros verdes de cero riego o bien de riego reducido y bajo mantenimiento, así como para continuar con el estudio de los beneficios de los hongos micorrizogenos arbusculares (HMA) y los abonos orgánicos que se encuentran en el mercado.

Es muy importante considerar que este trabajo asigna un valor agregado a las especies de plantas crasas endémicas de México, ya que además de tener una extensa variedad, pueden formar parte de muros verdes de bajo mantenimiento en las grandes ciudades como el Distrito Federal y de este modo contribuir en la contante lucha contra el deterioro ambiental presente en distintos grados en las grandes ciudades.

## 12. LITERATURA CITADA

- Acevedo-Rosas, R., K. Cameron, V. Sosa y S. Pell. 2004. A molecular phylogenetic study of *Graptopetalum* (Crassulaceae) based on ETS, ITS, RPL16, and TRNLF nucleotide sequences. *American Journal of Botany* **91(7)**: 1099-1104.
- Allen, E.B. 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge Studies in Ecology. University Press. Cambridge. 184 pp.
- Allen, E.B. 1994. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant and Soil*. **170**:447-462.
- Álvarez-Sánchez, J y A.A. Monroy. 2008. Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 6-11.
- Arroyo, V.A., M.G. Martínez y M.J. Sánchez. 1998. Efecto de las micorrizas vesículoarbusculares (VA) en cultivos de maíz en dos sitios del estado de México. Universidad Veracruzana. Veracruz. pp. 201-215.
- Azcón G.C. y J.M. Barea. 1980. Micorrizas. Investigación y ciencia. Ed. Prensa Científica. Barcelona. pp 8-92.
- Bagoo, B., C. Azcón-Aguilar, Sachar-Hill y P.E. Pfeffer. 2000. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. En: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. (Eds.). Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Colegio de Postgraduados. Mundi Prensa. Texcoco, México. 251 pp.
- Ballester O. J. 1973. Los cactus y las otras plantas suculentas. Floraprint. Valencia. 5pp.
- Barea, M.J., C. Azcón-Aguilar y B. Roldan Fajardo. 1984. Avances recientes en el estudio de la micorriza vesículoarbuscula. Formación, funcionamiento y efectos recientes en nutrición vegetal. *Anales de edafología y agrobiología*. Granada. pp. 659-677.
- Barea, M. J. 1998. Biología de la rizosfera. *Investigación y Ciencia*. pp. 74 – 81

- Bravo-Hollis, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. Las Cactáceas de México. Vol. 3. Universidad Autónoma de México, UNAM. Dirección General de Publicaciones. México, D.F.
- Bravo-Hollis, H. y L. Scheinvar. 1999. El interesante mundo de las cactáceas. Fondo de Cultura Económica. UNAM. México, D.F.
- Britton, N.L. y J.N. Rose. 1963. The Cactaceae. Descriptions and illustrations of plants of the Cactus Family. E.E.U.U. Dover Publications. Vol. I. pp. 100.
- Buenas Prácticas Agrícolas manual (B.P.A.). 2011. Gestión de la calidad y Buenas Prácticas Agrícolas. Fertilizantes orgánicos. Consultado el 22 de agosto del 2011. Perú. [http://bpa.peru-v.com/abono\\_organico.htm](http://bpa.peru-v.com/abono_organico.htm)
- Carrillo, L. E. 2013. Guadalajara con alto déficit de arboles. Disponible en <http://www.gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/321/321-10.pdf>. Consultado el 29 de septiembre de 2013.
- Centro de investigación de Landscape México (C.I.L.M). S.A de C.V. 2011. Ficha técnica *Mammillaria compressa*. México, D.F. Consultado el 12 de octubre del 2011. [http://www.landscape-mexico.com/img\\_/mammillaria\\_compressa.pdf](http://www.landscape-mexico.com/img_/mammillaria_compressa.pdf).
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Ed. Columbia University Press. 1062 p.
- Daubenmire, R. 1979. Ecología Vegetal. 3<sup>ra</sup> Ed. Ed. Limusa. México, D.F. 496 p.
- Domene E. y D. Sauri 2006. Urbanization and class-produced natures: Vegetable gardens in the Barcelona Metropolitan Region.
- Efloras. 2011. Disponible en <http://www.efloras.org/>. Consultado el 29 de diciembre del 2011.
- Fersini, A. 1978. Horticultura práctica. 2<sup>ed</sup>. Ed. Diana. México, D.F. pp. 57-58.
- Flores, C. 2000. Especies espontáneas y establecidas en los techos naturados de la Universidad Autónoma Chapingo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Filotecnia. Texcoco, México. 153pp.

- Friese, C. F. y M. F. Allen. 1991. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external hyphal architecture. *Mycologia* **83**:409-418.
- Fuentes Y. J. 1992. Los abonos. Edición Mundi Prensa. 4ta edición. Madrid.
- Gaffin S. 2002. Combatiendo el calor en las grandes ciudades del mundo. Meteored.com
- Gaffin, S., C. Rosenzweig, L. Parshall, D. Beattie, R. Berghage, G. O'Keefe y D. Braman. 2005 Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. Presentation at Greening Rooftops for Sustainable Communities, Third Annual International Conference, May 6, 2005, Washington, D.C.
- George, E., H. Morschner y I. Jakobsen, 1995. Role of arbuscularmycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. *CriticReview of Biotechnology* **15**:257-270.
- Gerdemann, J.H. y T.H. Nicholson. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* **46**:235-244.
- Gianinazzi-Pearson, V. y S. Gianinazz. 1983. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. *Plants and soil*. **7**:19-29.
- Gibson, A.C. y P. S. Nobel. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Gil-Marín, J. A., R. Rodríguez, D. Jasso-Cantú y A. Zermeño, 2006. Resistencia estomática, transpiración y potencial hídrico en sábila con diferentes condiciones ambientales. *Terra Latinoamericana*, núm. Julio-Septiembre, pp. 355-365.
- Gómez S. A. 2006. Enciclopedia ilustrada de los cactus y otras suculentas (Descripción de las especies, hábitat y cuidados de cultivo). Vol. II. Ediciones mundo prensa. Madrid.

- Guadarrama, P., J. Sánchez Guillen, J. Álvarez Sánchez y J. Ramos. 2004. Hongos y plantas: beneficios a grandes escalas. *Revista Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM*.73:39-45
- Guttenberger, M. 2000. Arbuscules of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inhabitan Acidis Compartment Within Plant Roots, *Springer-Verlag* **211**:299-304.
- Harley, J.L. y S. E. Smith. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. Londres. Pp 483.
- INEGI. 2010. Censo Estadístico de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Consultado el 10 de agosto del 2011.<http://www.inegi.gob.mx>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2011. El abono. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. II programa Pro-Huerta. Santa Cruz, Argentina. Consultado el 22 de agosto del 2011. [http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/agri/horti/como\\_preparar\\_abono.htm](http://www.inta.gov.ar/santacruz/info/documentos/agri/horti/como_preparar_abono.htm)
- Janos, D.P. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica***12**:56-64
- Jáuregui, O. E. y P. M. Heres, 2008. El clima/bioclima de un parque periurbano de la Ciudad de México. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, núm. 67. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 101-112.
- Jiménez-Sierra, C. y J. Reyes. 2000. Las Cactáceas de Metztitlán, En: M.A. Armella, L. Yáñez, y M.E. Sandoval (Eds.). *Metztitlán: Lugar de la luna y las maravillas*. SEMARNAP-UAM, México, D.F. 46-82 pp.
- Le Tacon, F. 1985. Las micorrizas, una cooperación entre plantas y hongos. *Mundo Científico*. 49 (5): 776-784.
- Linderman, R. G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rizosperemicroflora. The mycorrhizospere effects. *Phytopathology* **78**: 366-371.
- Linderman, R. G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial

- Linneo. Carl Von 1753. Species Plantarum .Flora of North América.464 pp. Consultado el 6 de agosto de 2011. Disponible en: [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=1&taxon\\_id=220012387](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=220012387)
- Ludwick, A. E.1995. Manual de fertilizantes para horticultura. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F. pp. 123-124.
- Luna, C. A. y A. A. Monroy 2009. El efecto de hongos micorrozógenos arbusculares (HMA) sobre el desarrollo de *Agave salmiana* y *Opuntia streptacantha* en condiciones de invernadero. Unidad de investigación en ecología vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Mahlau E. M. y P. Merino. 1995. Naturación urbana. Disponible en [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Agri%2FAgri\\_1995\\_761\\_1014\\_1016.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agri%2FAgri_1995_761_1014_1016.pdf). Consultado el 29 de diciembre del 2011.
- Márquez A., V. Pereda, D. Jiménez y J. Valdés. 2002. Micorrizas: La faceta menos conocida de los hongos. *Conversus*. N° 10. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.
- Martínez, R., M. Arizmendiz, M. Calderón y N. Camacho. La cobertura vegetal del Canal de Panamá. Unidad de sensores remotos de la autoridad del canal de Panamá. Consultado el 16 de junio de 2013. Disponible en: [http://www.geoinstitutos.com/art\\_03.asp](http://www.geoinstitutos.com/art_03.asp)
- Meyran G. J. y C. L. López 2003. Las Crasuláceas de México. Sociedad Mexicana de Cactología A.C. México, D.F. 163-196 pp.
- Meza, A. M. y M. J. Moncada. 2010. Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*. Vol XIV, núm. 331. Universidad de Barcelona. Consultado el 12 de Octubre de 2011. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm>
- Monroy A. A. y S. R. García. 2009. Plantas y hongos. Micorrizas arbusculares: un mutualismo esencial en zonas semiáridas. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.

- Montan, T. y C. Busso. 2004. Metodos de estudio de la vegetación. Universidad Nacional del Sur. Argentina, Buenos Aires. Pp. 11-12
- Mort, M. E., D. E. Soltis, P. S. Soltis, J. Francisco-Ortega y Santos-Guerra. 2001. Phylogenetic relationships and evolution of Crassulaceae inferred from matk sequence data. *American Journal of Botany* **88(1)**: 76-91.
- Mort, M. E., N. Levens, C. P. Randle, E. Van Jaarsveld y A. Palmer. 2005. Phylogenetics and diversification of Cotyledon (Crassulaceae) inferred from nuclear and chloroplast DNA sequence data. *American Journal of Botany* **92(7)**: 1170-1176.
- Mukerji, K.G. y B.P. Chamola. 1996. Mycorrhizal Biology, Kluwer Academic Plenum Publisher, United States of America.
- Nakano, K. Takahashi, R.T. Koide y M. Kimura. 2001. Determination of the nitrogen source for arbuscular mycorrhizal fungi by <sup>15</sup>N. *Application to soil and plant*, Springer-Verlag **10**:267-273.
- Newsham, K. K., A. H. Fitter y A. R. Watkinson, 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution* **10**:407-411.
- Ojembarrena J. A., Champa M., Guerra A. R. y Oliver F. 2010. Sistemas vegetales que mejoran la calidad ambiental de las ciudades. La Serene Chile. Consultado el 12 de noviembre de 2011. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ab-mcha.html>
- Ordoñez, M. M. 2003. Propagación in vitro de *Mammillaria voburnensis* Scheer. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos Guatemala. Guatemala.
- Pimienta-Barrios, E. 2003. Ecofisiología de la fotosíntesis. Temas selectos en Ecología y Fisiología Vegetal. Academia de Ecofisiología Vegetal. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas. Guadalajara, Jalisco, México.

- Planchette, C., Fortín y J.A., Furlan, V. 1983. Growth responses of several plants species to mycorrhizal in a soil of moderate P fertility. *Plant and Soil*. **70,2**:199-209.
- Redecker, D. 2008. Glomeromycota. Arbuscular mycorrhizal fungi and their relative (s). Versión 14 January 2008. Consultado el 15 de agosto de 2011. <http://tolweb.org/Glomeromycota/28715/2008.01.14> in the tree of life Web Project, <http://tolweb.org/>.
- Reyes S. 2010. Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE*. Revista latinoamericana de estudios urbanos y regionales. **109**: 89-110.
- Richter, B. S., R. L. Tiller, y J. C. Stutz. 2002. Assessment of arbuscular mycorrhizal fungal propagules and colonization from abandoned agricultural fields and semi-arid grasslands in riparian floodplains. *Applied Soil Ecology* **20**:227-238.
- Roldan-Fajardo, B.E. 1994. Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal endophytes on the development of six wild plants colonizing a semi-arid area in south-east Spain. *The New Phytologist*. **127**:115-121.
- Rundel, P. W. y Nobel, P. S. 1991. Structure and functions in desert root systems en *Plant root growth an ecological perspective*. Blackwell Scientific Publications. Oxford. Pp. 349-378.
- Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerógamica del Valle de México. Ed. Limusa. México. 226 pp.
- Sánchez, M. 2005. Micorrizas aspectos generales. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 13-24.
- Sanders, F.E. y P.B. Tinker. 1973. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pesticide Science*, **4**:385-95.
- Schüßler, A., D. Schwarzott y C. Walker, 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research* **105**: 1413-1421.

- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Vegetación de México. Consultado el 10 de agosto de 2011. Disponible en: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/02\\_vegetacion/recuadros/c\\_rec1\\_02.htm](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/02_vegetacion/recuadros/c_rec1_02.htm)
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Eschborn. Federal Republic of Germany. Pp. 17-69.
- Simancas, J.E. 2007. Influencia de hongos micorrizicos arbusculares y de *Azospirillum brasilense* y de su interacción sobre el desarrollo de plantulas de maguey (*Agave salmiana* var. *salmiana*) en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Smith, J. A. 1995. Semi-structured interviewing and cualitative analysis en Rethinking methods in psychoalogy. Pp 9-26. London.
- Smith, S.E. y D.J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Londres. Academic Press. Londres. 605 pp.
- Soemy F., J.L. Fumadó y E. Usón. 2007. Arquitectura y sostenibilidad. Herramientas de diseño y técnicas de control medioambiental. Las cubiertas ecológicas en los edificios y la renovación de la ciudad. Universidad Politécnica de Catalunya. pp. 15-22
- Standley, P.C. y J. Williams, 1962. Flora of Guatemala. Fieldana Botany Chicago Natural History Museum. Vol. 24, parte VII, No. 2. pp. 187-233.
- Stevens, P. F. 2001. «Liliaceae» (en inglés). Angiosperm Phylogeny Website. Versión 7, Mayo 2006. Consultado el 28 de abril de 2012.
- Sylvia, D.M. 1990. Inoculation of native woody plants with vesicular. Arbuscular mycorrhizal. Journal of Agriculture. *Ecosystems and Environments*. **31**:253-261.
- T' Hart, H. 1997. Diversity within Mediterranean Crassulaceae. *Lagasalia* **19(1-2)**: 93-100.

- United States Department of Agriculture (USDA). 2011. *Sempervivum tectorum* L. Consultado 07 de agosto de 2011 Disponible en: <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=SETE5>
- Van der Heijden, M.G.A. e I.R. Sanders, 2002. *Mycorrhizal ecology*. Heidelberg: Springer-Verlag. Berlín,. 471pp.
- Vignal N. I. 2008. Medio ambiente y sociedad, los riesgos del desarrollo. Tesis de Licenciatura en Sociología. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 90 pp.
- Villegas, J. y J. A. Fortin, 2001. Phosphorus solubilization and pH changes as a result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi and a médium containing NH<sub>4</sub><sup>+</sup> as nitrogen source. *Canadian Journal of Botany* **79**:865-870
- Yarborough, A. 1936. Regeneration in the Foliage Leaf of *Sedum*. *American Journal of Botany* **23(4)**: 303-307
- Zambrano, L. 2010. Supervía en el D.F. Perturbaciones locales de efectos regionales. Ciencias, núm. 99. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. pp. 60-63.

## 13. ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL EXPERIMENTO 1.  
MICORRIZACIÓN*Mammillaria voburnensis*

TCR

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	3.8E-03	1.9E-03	0.95	0.7629

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	2.3E-03	8.3E-04	0.95	0.713

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	12	12	2.3E-03	3.8E-03	0.0133	-2.48	0.0245	Bilateral

COBERTURA

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	21.13	3.65	0.88	0.1377

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	22.28	3.60	0.89	0.1997

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	12	12	22.28	21.13	0.9639	0.78	0.4448	Bilateral

ALTURA

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	4.58	0.48	0.98	0.9889

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	3.31	0.96	0.86	0.0752

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	12	12	3.31	4.58	0.0317	-4.12	0.0007	Bilateral

***Echeveria simulans***

TCR

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	1.9E-03	9.8E-04	0.97	0.8795

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	4.8E-04	1.0E-03	0.91	0.4825

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	6	6	4.8E-04	1.9E-03	0.8958	-2.48	0.0325	Bilateral

COBERTURA

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	38.79	4.24	0.89	0.4032

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	40.40	3.98	0.91	0.4708

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	6	6	40.40	38.79	0.8934	0.68	0.5140	Bilateral

ALTURA

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	6.60	1.14	0.68	0.0023

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	6.10	1.30	0.93	0.6704

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba de Kruskal Wallis**

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columna1	M-	6	6.10	1.30	6.00	0.92	0.3939
Columna1	M+	6	6.60	1.14	6.99		

**Mamillaria compressa**

TCR

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	2.3E-03	8.5E-04	0.89	0.3615

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	5.6E-04	5.2E-04	0.92	0.6052

**DIFERENCIA DE MEDIAS****Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	6	6	5.6E-04	2.3E-03	0.3032	-4.18	0.0019	Bilateral

**COBERTURA**

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	32.56	5.80	0.95	0.8043

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	44.54	15.43	0.92	0.5784

**DIFERENCIA DE MEDIAS****Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	6	6	44.54	32.56	0.0510	1.78	0.1053	Bilateral

**ALTURA**

M+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	5.34	0.81	0.88	0.3082

M-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	3.75	0.41	0.94	0.6843

**DIFERENCIA DE MEDIAS****Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{M-}	{M+}	6	6	3.75	5.34	0.1555	-4.30	0.0016	Bilateral

## ANEXO 2. RESULTADOS ESTADISTICOS DEL EXPERIMENTO 2. ABONO ORGÁNICO

### *Sedum moranense*

TCR

A+

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	2.9E-04	1.9E-03	0.83	0.0289

A-

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	1.5E-03	8.9E-04	0.94	0.6546

DIFERENCIA DE MEDIAS

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columna1	A-	12	1.5E-03	8.9E-04	1.4E-03	1.92	0.1655
Columna1	A+	12	2.9E-04	1.9E-03	8.2E-04		

COBERTURA

A+

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	105.26	31.46	0.96	0.8140

A-

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	123.29	47.30	0.80	0.0121

DIFERENCIA DE MEDIAS

#### Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columna1	A-	12	123.29	47.30	111.17	0.75	0.3865
Columna1	A+	12	105.26	31.46	104.63		

ALTURA

A+

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	6.81	1.54	0.93	0.5813

A-

#### Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	12	7.23	1.31	0.85	0.0699

DIFERENCIA DE MEDIAS

#### Prueba T para muestras Independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{A-}	{A+}	11	12	7.13	6.81	0.6507	0.53	0.6010	Bilateral

**Haworthia fasciata**

TCR

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	1.8E-03	7.3E-04	0.84	0.1585

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	1.7E-03	4.6E-04	0.98	0.9330

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{A-}	{A+}	6	6	1.7E-03	1.8E-03	0.3346	-0.20	0.8480	Bilateral

COBERTURA

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	43.22	6.17	0.98	0.9397

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	37.80	7.09	0.75	0.0310

DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba de Kruskal Wallis**

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas H	p
Columna1	A-	6	37.80	7.09	41.36	2.08
Columna1	A+	6	43.22	6.17	43.08	0.1797

ALTURA

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	5.06	0.60	0.89	0.4038

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	4.91	0.98	0.85	0.1955

DIFERENCIA DE MEDIAS

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{A-}	{A+}	6	6	4.91	5.06	0.2993	-0.33	0.7511	Bilateral

**Sempervivum tectorum**

## TCR

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	7.6E-04	6.2E-04	0.84	0.1567

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna2	6	-1.9E-04	4.3E-04	0.83	0.1213

## DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{A-}	{A+}	6	6	-1.9E-04	7.6E-04	0.4481	-3.06	0.0121	Bilateral

## COBERTURA

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	90.80	20.77	0.96	0.8596

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	91.08	20.81	0.96	0.8596

## DIFERENCIA DE MEDIAS

**Prueba T para muestras Independientes**

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	pHomVar	T	p-valor	prueba
Columna2	Columna1	{A-}	{A+}	6	6	91.08	90.80	0.9967	0.02	0.9818	Bilateral

## ALTURA

A+

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	8.53	1.02	0.78	0.0505

A-

**Shapiro-Wilks (modificado)**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna1	6	7.89	1.49	0.91	0.5316

## DIFERENCIA DE MEDIAS

Variable	Columna2	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Columna1	A-	6	7.89	1.49	8.11	0.23	0.6991
Columna1	A+	6	8.53	1.02	8.19		