



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

NATURACIÓN DE MUROS: UN ANÁLISIS FUNCIONAL DE SEIS ESPECIES

NATIVAS DEL CENTRO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. JORGE ROBERTO BLANCO MARTÍNEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ÁNGEL SALVADOR ARIAS MONTES

INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

DR. JOSÉ ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, UAM-I

MÉXICO, Cd. Mx.

Abril, 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA

MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

NATURACIÓN DE MUROS: UN ANÁLISIS FUNCIONAL DE SEIS ESPECIES

NATIVAS DEL CENTRO DE MÉXICO.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

BIÓL. JORGE ROBERTO BLANCO MARTÍNEZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. ÁNGEL SALVADOR ARIAS MONTES

INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ALMA DELFINA LUCIA OROZCO SEGOVIA

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM

DR. JOSÉ ALEJANDRO ZAVALA HURTADO

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, UAM-I

MÉXICO, Cd. Mx.

Abril, 2017

Lic. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 3 de octubre de 2016, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** del alumno **BLANCO MARTÍNEZ JORGE ROBERTO** con número de cuenta **99038696** con la tesis titulada **"Naturación de muros: un análisis funcional de seis especies nativas del centro de México"**, realizada bajo la dirección del **DR. ÁNGEL SALVADOR ARIAS MONTES**:

Presidente: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
Vocal: DR. VÍCTOR MANUEL CHÁVEZ ÁVILA
Secretario: DRA. ALMA DELFINA LUCÍA OROZCO SEGOVIA
Suplente: DRA. MARÍA DEL ROCÍO CRUZ ORTEGA
Suplente: DRA. MARGARITA COLLAZO ORTEGA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 8 de marzo de 2017.



DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES.

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por los conocimientos, atenciones y apoyos recibidos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de manutención otorgada, la cual me permitió dar continuidad con mis estudios de posgrado, impulsarme con mi formación académica y desarrollo profesional.

A los proyectos “Escalamiento y primera serie de sistema modular de naturación urbana vertical.” PROINNOVA (2015) 2124834. “Tolerancia al estrés hídrico en semillas y plántulas de diversos ecosistemas e inducción de esta con tratamientos de acondicionamiento hídrico y natural”. PAPIIT IN, 205715. Y, “El acondicionamiento mátrico una herramienta para vigorizar, revigorizar e incrementar la viabilidad de semillas ortodoxas y recalcitrantes de especies tropicales: Estudios ecofisiológicos y moleculares”, CONACyT 221015.

Al Dr. Salvador Arias Montes, por el constante apoyo, tutoría, consejos e infinita paciencia que me impulsaron a la mejoría de mi formación académica y profesional.

A mi comité tutor; Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia y al Dr. José Alejandro Zavala Hurtado por el apoyo logístico, facilidades técnicas y tecnológicas, asesorías y conocimientos constantes para el desarrollo, mejoramiento y culminación del proyecto.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por brindarme los conocimientos y facilidades para alcanzar el desarrollo personal y profesional.

Al jurado asignado para examen de grado, Dr. Luis Zambrano González, Dr. Víctor Manuel Chávez Ávila, Dra. Alma Delfina Lucía Orozco Segovia, Dra. María del Rocío Cruz Ortega y Dra. Margarita Collazo Ortega por los consejos en este último trayecto, por su paciencia, diligencia y observaciones certeras que hicieron posible la versión final de este manuscrito.

A la coordinadora del Posgrado en Ciencias Biológicas, Dra. María del Coro Arizmendi y el Dr. Ernesto Armando Rodríguez Reyes por las atenciones prestadas y apoyo académico durante los procesos de trámite en este Posgrado.

A la Oficina de Posgrado en Ciencias Biológicas del Instituto de Biología, Dr. José Martín García Varela y su auxiliar Rocío González Acosta por su atención siempre dispuesta, puntual y pertinente de principio a fin durante mi estancia.

A la Dra. Saraí Montes Recinas y al M. en C. Jorge Alberto Escutia Sánchez por el apoyo inicial del proyecto. Por las facilidades y vinculación otorgadas con la empresa Naturación Integral S. de R. L. de C.V. (Generación Verde) quien donó y mostró constante interés en los avances y desempeño del sistema de naturación proporcionado.

A la M. en C. María Esther Sánchez Coronado por su apoyo incondicional desde el área técnica, revisiones, análisis académico, profesional y personal hasta la cúspide de este trabajo.

A la M. en C. Yuriana Martínez Orea y Omar González Zorzano por su gran apoyo y asesoría durante la etapa de selección de especies.

Al Instituto de Ecología y al Jardín Botánico y colecciones del Instituto de Biología de la UNAM y a la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I) por facilitar materiales, apoyo administrativo, bibliográfico, de sistemas e infraestructura durante la gestión y desarrollo del proyecto.

Agradezco a mis padres Roberta Martínez y Jorge I. Blanco por los valores que me inculcaron, por impulsarme, acompañarme y confiar siempre en mis decisiones y metas de vida. Por todos los esfuerzos y sacrificios personales, profesionales y económicos previos para mantener una familia íntegra.

A mi abuela materna Aurelia Cruz, mi tía abuela Agapita Cruz y mi abuela paterna Elsa Belloc. Por los cuidados y atenciones hacia mi persona, por los valores, y quienes han sido el primer contacto de amor por la vida, amor a las plantas, amor al prójimo y demostrarme que la voluntad es el guerrero infalible contra las adversidades.

A mi hermana Marisol Blanco por ser el hogar desde mi infancia. Ella que siempre me ha brindado apoyo en todo momento y quien me invitó a cerrar los ojos y confiar en que puedo materializar mis sueños.

A mi hermana Mariana Blanco por ser modelo de fuerza, perseverancia y constancia. Gracias por mostrar esa admiración, confianza, orgullo y seguridad en lo que hago.

A Brenda García y Esteban Ramírez, por la paciencia, la disposición y el apoyo en la fase experimental, por las incontables horas de esfuerzo para aligerar la carga en las mediciones y conteos. El sacrificio de tiempo que implicó hacer a un lado sus actividades no tiene justicia con decir un sencillo *¡gracias por todo!*

A mis tías que no dejan de enorgullecerse y enorgullecerme por la labor que realizo, por el apoyo constante, por ser la sonrisa cariñosa y ese sitio de descanso en los buenos y malos momentos.

A los tres hermanos (mis hermanos) García; Omar, Itzel y Brenda, saben el cariño que les tengo y el lazo que ha generado nuestra amistad, que con el tiempo ha trascendido las barreras de la herencia y la sangre. Gracias por ser tantas cosas, amigos, familia, colegas y gran parte de mí vida.

A mis compañeros de laboratorio de Sistemática de Cactáceas, Isaura Rosas, Ma. Luisa Bárcenas y Héctor Tapia. No dejo de pensar en cuántas convivencias y peripecias pasamos por separado y en conjunto. Me quedo con esos momentos muy nutritivos en los planos académico, moral y de amistad.

A Cristian Cervantes, David Aquino, Daniel Franco, Marisela Yáñez y Miguel Cruz, Yolanda Morales y la M. en C. Aida Téllez por los consejos, el tiempo y el auxilio otorgados en todo momento. Por el apoyo, confianza, asesoría y ánimo constantes.

A mi gran amigo Ricardo Zúñiga por los ánimos para optar por mi desarrollo personal y profesional, tu amistad ha sido gran cobijo y respaldo durante los momentos de duda y hastío.

A Patricia Pliego por tenerme siempre presente como amigo, profesionista, por tantas consideraciones, compañía y sacrificios para mantenerme sonriendo por la vida. Literalmente me enseñaste a volar.

A Margot Herrera, por ser ese complemento y alma gemela. Por los momentos de deleite, por la ayuda en momentos de cansancio, por ese oído leal y siempre atento, por los consejos tajantes y terminantes, por el ánimo moral, académico para la toma de decisiones.

In memoriam: Inocencio Martínez (†) y Margarita García (†), a quienes día a día tengo muy presentes. Gracias por esos consejos, por la sonrisa sempiterna y el tiempo en vida que me otorgaron.

Para aquellos que creen que los olvidé, no es así; ya sea para bien o para mal, les dedico estas últimas palabras; les doy gracias por esos momentos que me han hecho crecer, que me han hecho esforzarme, valorar y sopesar mis decisiones, a veces de la duda nace el coraje para seguir avanzando. Del cansancio la esperanza. De la ausencia el aprecio, y de la soledad, la reflexión. Solo cabe decir que aquí yace el producto de mi esfuerzo, perseverancia, paciencia y amor que hasta el día de hoy me han permitido brindarles. Por esto y todo les estaré eternamente agradecido.

*Dedicado por y para la vida. Simplemente,
dedicado a ustedes y a mí.*

*“Entre las historias de dolor y de ruina que nos
llegaron de la oscuridad de aquel entonces, hay
sin embargo algunas en las que en medio del
llanto resplandece la alegría, y a la sombra de la
muerte hay una luz que resiste.”*

-J. R. R. Tolkien

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	
2.1 Historia de la naturación de espacios.....	3
2.2 Áreas urbanas, falta de planeación y su problemática ambiental.....	4
2.3 Especies: plantas nativas, diversidad, formas de crecimiento e importancia de la flora local.....	5
2.4 La naturación en el Centro de México.....	6
2.5 Componentes de la naturación de espacios.....	9
2.6 Componentes de la naturación de muros.....	10
2.7 Clasificación de sistemas de naturación de muros.....	13
2.8 Beneficios de la naturación de espacios.....	15
2.9 Justificación.....	16
3. OBJETIVOS	
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos particulares.....	17
4. HIPÓTESIS.....	18
5. MATERIAL Y MÉTODOS	
5.1 Criterios de selección de especies.....	19
5.2 Obtención de material vegetal.....	19
5.3 Especies seleccionadas.....	20
5.4 Manejo de especies.	
5.4.1 Manejo en invernadero.....	24
5.4.2 Manejo de especies en sistema de naturación de muro.....	24
5.5 Factores ambientales en condición de muro naturado	
5.5.1 Gasto hídrico.....	27
5.5.2 Condiciones climáticas en la etapa de naturación.....	28
5.5.3 Nutrientes.....	30
5.5.4 pH.....	31
5.5.5 Horas de insolación.....	31

5.6	Medición de variables biológicas en condición de muro naturado	
5.6.1	Supervivencia en condiciones de invernadero y en sistema de naturación de muro.....	31
5.6.2	Análisis de cobertura.....	32
5.6.3	Análisis de número de meristemos.....	32
5.6.4	Número de apéndices totales.....	33
5.6.5	Cuantificación de talla máxima.....	33
5.7	Identificación de fauna: plagas y visitantes.....	34
5.8	Análisis estadísticos.....	35
5.8.1	Análisis exploratorios.....	35
5.8.2	Análisis comparativos generales.....	35
5.8.3	Análisis comparativos de Tasa relativa de Crecimiento (TRC)....	36

6. RESULTADOS

6.1	Factores ambientales en condición de muro naturado.....	37
6.1.1	Gasto hídrico.....	37
6.1.2	Temperatura (T°) y Humedad Relativa (HR) en muro naturado.....	38
6.1.3	Nutrientes.....	40
6.1.4	pH.....	41
6.1.5	Horas de insolación.....	41
6.2	Variables biológicas	
6.2.1	Análisis exploratorios.....	42
6.2.2	Supervivencia en condiciones de invernadero y en sistema de naturación de muro.....	47
6.2.3	Análisis de cobertura.....	49
6.2.4	Análisis comparativos de número de meristemos, número total de apéndices y talla máxima.....	50
6.2.5	Tasa Relativa de Crecimiento de variables biológicas.....	60
6.3	Identificación de fauna: plagas y visitantes.....	70

7. DISCUSIÓN	
7.1 Factores ambientales.....	72
7.2 Respuesta biológica en sistema de naturación.....	74
8. CONCLUSIONES.....	79
9. LITERATURA CITADA.....	80

RESUMEN

Se presenta el estudio funcional de seis especies vegetales nativas del centro de México (*Cheilanthes myriophylla*, *Pellaea cordifolia*, *Sedum moranense*, *Echeveria halbingeri*, *Selenicereus hamatus* y *Epiphyllum hookeri*). Los individuos fueron obtenidos por cambio de ubicación, colecciones vivas y el programa de adopción de plantas en peligro de extinción. Se evaluó la eficiencia de estas seis especies en condiciones sistema de incorporación de elementos naturales bajo tratamientos técnicos (naturación de muro), las especies seleccionadas fueron colocadas aleatoriamente en tres diferentes niveles de estrato (superior, medio e inferior) y posteriormente se evaluaron las variables de cobertura total, número de meristemas, número total de apéndices, talla máxima y sus tasas relativas de crecimiento. Del mismo modo, se evaluó la sobrevivencia y factores ambientales que influyeron en el sistema de naturación a través de un año para identificar los periodos pertinentes para el uso de las especies en este tipo de sistemas.

Las seis especies respondieron a los factores ambientales de manera distinta al considerar los niveles de estrato y periodos acorde a los análisis exploratorios y comparativos de las variables. También, se registró la presencia de factores intrínsecos y extrínsecos que intervienen en el manejo de especies vegetales para la naturación, como pH, horas de insolación, nutrientes, temperatura y humedad relativa, plagas y visitantes. La cobertura total mostró modificaciones en su área a través de los periodos de estudio, así mismo la producción meristemática ocurrió en diferentes momentos, p. ej. todas las variables de respuesta el factor determinante fue la humedad relativa. La mayor actividad meristemática ocurrió en el primer y segundo periodo, las cactáceas en el cuarto periodo en el estrato superior y las pteridáceas produjeron mayor cantidad de meristemas en el estrato inferior. *E. halbingeri* produjo apéndices en todos los periodos y el resto de las especies hasta el segundo periodo. Para la talla máxima hubo mayor variación con respecto a las temporadas, p. ej. en *C. myriophylla* se presentó en el primer periodo, *P. cordifolia* entre el primer y segundo periodo, en crasuláceas la talla máxima se sostuvo a lo

largo del experimento, pero fueron más dependientes de la humedad relativa en el sistema durante el primer periodo, en *S. hamatus*, *E. hookeri* y la cobertura total en el tercer y cuarto periodo fue mediado por la temperatura. El pH y los nutrientes mostraron diferencias significativas en el primer semestre del experimento, las horas de insolación denotaron diferencias de horas luz entre periodos, y la temperatura y la humedad relativa mostraron diferencias entre el primer (2014) - cuarto periodo (2015) y segundo y tercer periodo de 2014. La presencia de plagas ocurrió principalmente por parte de moluscos, artrópodos distintos y mamíferos. Mientras que las visitas a las plantas por animales fueron de arácnidos, insectos y también mamíferos. La utilización incipiente de los sistemas de naturación en la Ciudad de México debe prestar especial atención hacia la flora nativa como una alternativa de baja demanda y potencial ornamental. Evaluar la eficiencia de las especies como recursos aprovechables dentro de los sistemas de naturación actuales pueden acercarnos a resolver el paradigma del aprovechamiento del capital natural y la aparente oposición al desarrollo urbano, es decir, que la naturación de espacios funge como una alternativa para incorporar a las especies nativas del Centro de México a los desarrollos urbanos.

Palabras clave: Análisis periódico, ecotecnias, especies nativas, muros verdes.

ABSTRACT

This work shows a functional study of six native plant species of Central Mexico (*Cheilanthes myriophylla*, *Pellaea cordifolia*, *Sedum moranense*, *Echeveria halbingeri*, *Selenicereus hamatus* y *Epiphyllum hookeri*). Individuals were obtained from plant relocations, living collections, and a program of plant species on extinction hazard. The efficiency of these six species was evaluated by incorporating those natural elements under technical treatments (vertical greening system) who were placed randomly on three different strata levels (superior, middle and low), full coverage, number of meristems, total number of appendices, maximum sizes and their respective relative growth rates. Likewise, survival and environmental factors who influenced the greening system were measured through a year to identify the relevant periods of plant species used in such systems.

Exploratory and comparative analysis considering strata levels and between periods on the six plant species responded differentially to environmental factors. Also, the presence of intrinsic and extrinsic factors as pH, insolation hours, nutrients, temperature, relative humidity, plagues and visitors on the six species for greening management were recorded. Area on full coverage showed modifications through periods, meristematic production occurred at different moments, *i.e.* on all the response variables the responsible factor was relative humidity. Meristematic activity happened between the first to second periods, but cacti on fourth had it on the most exposed stratum, ferns produced more meristems on low stratum. Thus, *E. halbingeri* produced more number of leaves on the fourth-first periods. The rest of the species presented until second period. For maximum size was greater variation with periodicity, *i.e.* *C. myriophylla* showed their highest sizes on the first period, *P. cordifolia* on first-second period, crassulaceans sustained their maximum size through the experimental phase but they were the most dependent to relative humidity on the greening system during first period, on *S. hamatus*, *E. hookeri* and total coverage it occurred by temperatures through third-fourth period. On the first half of experimental greening system, the pH and nutrients showed significant differences, the insolation hours denoted differences through periods, and

temperatures and relative humidity showed differences between first (2014)-fourth period (2015) and second-third period (2014). Common plagues were mollusks, different arthropods and mammals. Meanwhile, visitors were arachnids, insects and mammals. Incipient using of greening systems on Mexico City must pay special attention to native flora as an alternative of low demand and its ornamental potential. Species efficiency and evaluating harvestable capability under actual greening systems can reach to solve the paradigm between natural capital and the apparent opposition of urban development, that is, vertical greening systems serves as an alternative to incorporate native plant species of the Center of Mexico to its urban development.

Key words: Periodical analysis, ecotechnologies, native species, green walls.

1. INTRODUCCIÓN

A la par que la arquitectura, las técnicas de jardinería y las urbes se han ido modificando, por lo que se hace manifiesta la necesidad de desarrollar técnicas y modificar conceptos que se adecúen a la interacción planta/humano. Igualmente, dentro de las urbes nace el interés para remediar los impactos climáticos y ambientales, y así participar de forma activa en el desarrollo y comprensión de la estructura sociedad/naturaleza (Mendoza-García *et al.*, 2011). Con esto se intenta actuar de manera responsable y crear diseños arquitectónicos y construcciones sostenibles acordes a las necesidades locales, culturales y ambientales.

Tradicionalmente, la vegetación ha sido utilizada como elemento decorativo en las edificaciones (Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011), sin embargo, es necesario enfocar los esfuerzos hacia la investigación de temas como la mitigación de contaminantes y conectividad, entre otros servicios que son considerados como propios de los ecosistemas naturales; sin embargo, la información para ecosistemas urbanos es escasa (Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011) y es donde emerge el concepto de naturación de espacios, definido como la acción de incorporar o fomentar la naturaleza al entorno mediante el aprovechamiento aceptable y coherente de la flora y fauna en los espacios urbanos (Briz, 1999; Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011; Urbano-López, 2013). De acuerdo con Camarena (2010), las condiciones básicas de naturación deben considerar los principios biorregionales, el desarrollo socioeconómico sustentable basado en su capital natural, la utilización óptima de los recursos (principalmente energéticos) y el

mejoramiento del ecosistema. Donde, es necesario recuperar zonas degradadas y promover socialmente la cultura del aprovechamiento adecuado de los recursos naturales (Bray *et al.*, 2005; Sarukhán *et al.*, 2009; Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011; Urbano-López, 2013) puesto que en las ciudades hace falta la inclusión de espacios verdes naturales se ha optado por la naturación de casas, edificios y vías de comunicación como una alternativa para mitigar la pérdida de áreas verdes y mejorar a los entornos urbanos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Historia de la naturación de espacios.

La inclusión de las especies vegetales nativas en centros urbanos data desde el inicio de la horticultura y la domesticación de plantas para su aprovechamiento. Respecto a las especies vegetales utilizadas, existen registros desde el año 2600 a. C. en Egipto y Persia con presencia de jardines y huertos (Urbano-López, 2013) fomentando el uso de las plantas tanto nativas como exóticas, e incluyéndolas en actividades sociales. En Sri Lanka existen registros de jardines reales y de monasterios antiguos basados en los principios de suministro de agua con manejo hortícola de los jardines, drenaje superficial para evitar la erosión de terrazas y jardines, aprovechando las pendientes de rocas y colinas; así como zonas de cursos de agua recreativos para flora y fauna ornamental funcionando como sistemas de enfriamiento de áreas verdes y patios (Bandaranayake, 1993). Posteriormente, este estilo se conservó, tratando de mantener la imagen de paisajes naturales con colinas, arroyos, árboles, rocas, flores, animales, insectos y caídas de agua. Los jardines se modelaban de acuerdo a las ideologías religiosas y filosóficas que predominaban en el momento, también se respetaban las condiciones geográficas y geológicas del sitio, los diferentes tipos de vegetación presente de acuerdo con la época del año, temporadas de floración y fructificación (Sue-Hee, 1993).

Los jardines islámicos enfatizan su diseño en recreaciones del paraíso según el Corán, donde predominaban los rosales como arbustos y árboles frutales que, en esta región fungían como recepción de peregrinos en días calurosos y para ofrecer ambientes frescos (Daneshdoust, 1993). Gran parte de esta cultura de jardinería

asiática fue desarrollada entre 1200-1000 a.C. en China y Japón, en India (S. I), Irán (S. I-V) y Rusia (S. XVIII); para después ser adoptada por la cultura europea en Grecia, Roma, España, Portugal (S. I-IV), Bulgaria (S. X) e Inglaterra (S.XIX) (Bhagwat, 1993; De-Araujo, 1993; Lennox-Boyd, 1993; Micoulina, 1993).

Con base en esto se acuñan tres categorías en la jardinería que aún se utilizan: jardín clásico, ubicado al interior de las construcciones con uso recreativo; jardín exterior, cercano a construcciones para mejorar la apariencia de edificios y parajes, o jardinería formal y finalmente jardines naturales, ecológicos o sustentables (García-Albarado y Dunnett, 2009), los cuales son los sitios con una mayor presencia de flora nativa (Kim, 1993).

En el siglo XX (1928-33), durante el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) cuando Le Corbusier propone el concepto de eficiencia energética en el desarrollo de las zonas urbanas surge como objetivo redirigir la arquitectura urbana bajo los principios de confort y la generación de tecnologías amigables con el ambiente. Este autor retoma el concepto de “cubiertas ajardinadas” en las estructuras urbanas, tales como en el siglo VI a. C. en los “Jardines Colgantes de Babilonia” (Castillo-Martínez, 2014).

2.2 Áreas urbanas, falta de planeación y su problemática ambiental.

Los centros urbanos conforman actualmente una pieza importante de la actividad humana, de ellos depende la modificación ambiental a diferentes escalas, éstas determinan las condiciones temporales a nivel económico, social, político y cultural (García-Albarado y Dunnett, 2009; Mendoza-García *et al.*, 2011). Los centros

urbanos son el eje neural de toda actividad antrópica, en ellos viven 3, 972, 230,162 personas que representan el 53.85% de la población humana actual (Blanc, 2011; Mendoza-García *et al.*, 2011; Banco Mundial, 2016). Las urbes tienen efectos directos sobre los niveles antes mencionados, sin embargo, Jennings y Jarnagin (2002) reportan que hay modificaciones en los factores ambientales como la temperatura, disponibilidad de luz y precipitación a causa de la interrelación entre los factores bióticos y abióticos en las urbes. Pisanty *et al.* (2009) al igual que Mendoza-García *et al.* (2011) mencionan que el efecto negativo cuando hay modificaciones en la biota original de los centros urbanos, dado que en ellos la demanda constante de espacios verdes y la necesidad de amortiguar las condiciones ambientales es urgente; por lo que se ha desarrollado la técnica de naturación como una estrategia para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en las ciudades y en las zonas donde se ubican.

2.3 Especies: plantas nativas, diversidad e importancia de la flora local.

Conocer la capacidad de especies nativas con potencial ornamental para su aprovechamiento en áreas verdes urbanas (Ottelé *et al.*, 2011; Ramírez-Hernández *et al.*, 2012) y el aprovechamiento de especies con estos propósitos se ha desarrollado con notable énfasis en Estados Unidos y Europa. Por ejemplo, para el sureste de los Estados Unidos, Brzuszek *et al.* (2007) proponen el uso de especies nativas sobre las exóticas debido a que las primeras tienen un mejor desempeño ante las condiciones ambientales de los sitios evaluados, disminuyen la demanda de mantenimiento en sistemas de naturación y tienen capacidad de respuesta a los cambios periódicos.

En el caso de México los estudios sobre aprovechamiento de especies nativas principalmente arbóreas como *Acacia cochliacantha*, *Caesalpinia cacalaco*, *Spondias purpurea* y *Tabebuia rosea* entre otras 76 especies de arbustos y árboles nativos aprovechables del centro de Veracruz con propósitos de restauración (Suárez *et al.*, 2012), sin embargo, se reduce a 18 especies con potencial ornamental para su aprovechamiento en sistemas de naturación (Ramírez-Hernández *et al.*, 2012). Han sido pocos los estudios sobre sistemas de naturación, y los cuatro existentes se enfocaron a conocer el funcionamiento del sistema efectos de inclinación en el Colegio de Postgraduados de Chapingo (Peralta-Sánchez, 2008), eficiencia energética en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Castillo-Martínez, 2014), fertilización con bacterias y micorrizas en el Colegio de Postgraduados de Chapingo (Sánchez-López, 2008) y de especies crasas (Serrato-Gallardo, 2014) donde fueron utilizadas las especies *Cynodon dactylon*, *Festuca rubra*, *Lolium multiflorum*, *Alternanthera ficoidea*, *Lysimachia nummularia*, *Sedum moranense*, *Echeveria simulans*, *Haworthia fasciata*, *Mammillaria compressa*, *Mammillaria bovurnensis*, *Sempervivum tectorum*, mientras que los estudios comparativos sobre especies nativas y su utilidad siguen siendo inexistentes. En consecuencia, la selección de especies y la generación de información son cruciales para establecer un sistema de naturación adecuado (Perini *et al.*, 2013; Jim, 2015).

2.4 La naturación en el Centro de México.

En el Centro de México la naturación ha estado presente desde la época prehispánica. Se sabe a través de los códices que existía una infraestructura dedicada al aprovechamiento de especies vegetales nativas e incluso exóticas

(Morales-Folguera, 2004). Entre los Siglos XVI y XVII (1788-1811) Martín de Sessé encabezó una expedición para inventariar los recursos florísticos de la Nueva España. No obstante, permaneció la influencia europea en la jardinería hasta 1881 cuando el botánico Alfonso Herrera introduce el concepto de Jardín Botánico de plantas nativas basado en clasificaciones taxonómicas de orquídeas, cactáceas y pinos, principalmente. A partir de su contribución se definieron los principios básicos de los jardines botánicos en México que son: educación, investigación, conservación, difusión, publicación y recreación (Vovides *et al.* 2010).

Conforme el crecimiento poblacional en las zonas urbanas ha aumentado, se ha provocado mayor presión de uso de suelo sobre áreas verdes, las cuales se convierten en relictos que posteriormente son eliminados o desplazados (Mendoza-García *et al.*, 2011). Si bien es cierto que el hombre llegó a enriquecer la flora nativa con plantas adventicias a la flora original, los asentamientos o centros urbanos han modificado de manera drástica los hábitats y condiciones ecológicas necesarias para el desarrollo de los organismos en cuestión (Rzedowski y Rzedowski, 2010) y actualmente ha complicado el establecimiento de nuevas áreas verdes urbanas en la región. En zonas urbanas como la Ciudad de México donde se presentan solamente 3.5 m² de los 9 m² de áreas verdes por habitante recomendados por la OMS (Rodríguez-Salvador, 2002), el desarrollo de linderos o barreras rompevientos con las especies apropiadas como las del género *Pinus* y *Quercus* constituyen otra alternativa para integrar las estrategias de conservación de nuestra biodiversidad al contexto socioeconómico (Becerra-Zavaleta, 2012), haciendo énfasis en los beneficios ecológicos y servicios ambientales que proveen

(Rodríguez-Salvador, 2002; Mendoza-García *et al.*, 2011) y así promover su aumento, y es hasta 1999 que ocurre la primer instalación de naturación de azotea para la ciudad de México en el edificio de colecciones del Jardín Botánico Exterior en Ciudad Universitaria (DGCS, 2015).

Los esfuerzos de naturación de muros en el país tienen tres vertientes, la primera inició en el sector privado con base en conocimientos empíricos y dirigidos por arquitectos, arquitectos del paisaje e ingenieros; en el sector público a través de instancias que colaboran a través de la iniciativa privada e instancias gubernamentales para la recuperación de espacios públicos (SEDEMA, 2017) y; en el sector académico que involucra líneas de investigación mediante instituciones de educación (Peralta-Sánchez, 2008; Sánchez-López, 2009; Castillo-Martínez, 2014; Serrato-Gallardo, 2014).

Actualmente el papel de la jardinería y, por consecuencia indirecta, la naturación competen a la conservación de la diversidad biológica del planeta debido a la actividad humana y deben ser enfocadas al aprovechamiento histórico, temático, ornamental (Ramírez-Hernández, 2012) comestible y medicinal (Leyva-Trinidad *et al.* 2013) para el mejoramiento hortícola, la agrobiología, protección de vida silvestre o simplemente como colecciones botánicas (Vovides *et al.* 2010). Es por ello que hoy en día se ha trabajado a través de diferentes técnicas de manejo y uso de ecotecnias que permitan mejorar el desempeño y aprovechamiento de los recursos vegetales disponibles en una región (Camarena, 2010; Castillo-Martínez, 2014; Serrato-Gallardo, 2014).

2.5 Componentes de la naturación de espacios.

Los componentes principales en la naturación como son la aplicación de plantas en estructuras arquitectónicas, superficies, localidades y para modificar un ambiente específico no son una nueva tecnología (Köhler, 2008), sin embargo, pueden ofrecer beneficios como una alternativa en el diseño urbano. El potencial de los muros naturados para mejorar los microclimas y construcciones es alto, pero esta técnica no se ha fomentado por la carencia de información y no es tan conocida como la naturación de azoteas quienes han tenido mayor auge en el sector privado y gubernamental, con fines de investigación se han realizado revisiones bibliográficas (Köhler, 2008), aplicaciones (Morris, 2009), resistencia de materiales y efectos ambientales (Lundholm, 2006; Loh, 2008; García-Villalobos, 2011; Perini *et al.*, 2011) y los efectos sobre las especies vegetales ante variaciones ambientales como las pendientes de colocación (Peralta-Sánchez, 2008), selección de sustratos (Castillo-Martínez, 2014), inoculación microbiana en los sustratos (Sánchez-López, 2009), selección de especies (Serrato-Gallardo, 2014). Köhler y Peralta-Sánchez (2008), al igual que Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado (2011) señalan que existen deficiencias en técnicas y falta de desarrollo en sistemas de naturación. Sin embargo, Jim en 2015 realizó una clasificación y evaluó el manejo para este específico de sistemas de naturación.

2.6 Componentes en la naturación de muros.

Los elementos a considerar para la naturación bajo estos sistemas son: a) orientación y clima, b) selección, composición y permanencia de las especies, c) características del sistema de riego, d) mantenimiento, e) integración con el diseño arquitectónico o estructural (Jim, 2015) y f) costos (Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011); los cuales se describen a continuación.

a) La orientación de las plantas y el clima determinan de manera importante la selección de especies a incluir en la estructura del muro. Esta orientación modificará las condiciones lumínicas, viento y humedad para la supervivencia de éstas. En caso de ser un muro interior es necesario complementar con las condiciones necesarias para la supervivencia de las plantas (Loh, 2008; Jim, 2015).

b) Para la selección de especies, cabe mencionar que existe el aprovechamiento de plantas tanto nativas como exóticas en sistemas de naturación y esto depende de la disponibilidad de plantas en la región (Loh, 2008; Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011). En cuanto a la composición, el sistema de naturación se categoriza en dos tipos; monoespecífico donde se utiliza una especie en el sistema de naturación o poliespecífico en el cual se utiliza dos especies o más en el sistema (Jim, 2015). Existen reportes de plantas nativas que han sido utilizadas exitosamente, inclusive con fines de fitoremediación (Mesa *et al.* 2015). Pero es recomendable el uso de plantas de bajo peso, mantenimiento mínimo, como también resistencia a la sequía, temperaturas extremas, acumulación temporal de agua, cambios de radiación, viento y a la contaminación urbana (SEDEMA, 2013). Blanc (2011) y Jim (2015) hacen principal énfasis en el ciclo de vida de las especies

vegetales, en conjunto con la permanencia de las especies para efectuar la naturación de cualquier espacio.

c) El riego y su regulación son partes primordiales en la instalación del muro naturado, generalmente a través del riego se aportan los nutrientes y definirán las condiciones microambientales del sistema (Jim, 2015). La temporalidad y control de los tiempos en el sistema de riego aseguran la supervivencia de los individuos en caso de falla por deficiencia energética (Loh, 2008; Jim, 2015). Por esto, Blanc (2011) sugiere hacer una selección adecuada de especies y del ciclo de vida. Los cuales son indicadores de los factores ambientales necesarios para sostener a la naturación de espacios. En el mismo sentido, Camarena en 2010 debate el tópico haciendo principal énfasis en el aprovechamiento de especies locales, las cuales permitirían una disminución del consumo de agua por estar adaptadas a las condiciones ambientales del sitio.

d) El mantenimiento que requieren las especies en un muro naturado desemboca en costos, por lo tanto, los edificios que de manera anticipada cuentan con la infraestructura para sostener alguna clase de sistema de naturación implicarán menores costos de mantenimiento (Jim, 2015). Así mismo, un sistema que puede ser desmontable y en sitios accesibles facilita su manejo, tanto en podas, nutrición, control de plagas e hidratación, lo cual aumentará la probabilidad de supervivencia del muro (Loh, 2008; Jim, 2015). Igualmente, Camarena (2010) indica que al obtener una disminución de gasto hídrico por el aprovechamiento de flora local se traduce en la disminución de costos, menor mantenimiento y así modificar la visión del paisajismo contemporáneo.

e) La integración de un muro naturado en un diseño arquitectónico e impacto estructural facilitará la coordinación con los servicios requeridos, como la estructura de la construcción y los suministros de energía y agua. Igualmente, una planeación previa implica una menor demanda de recursos (Jim, 2015) y evita un uso de recursos energéticos como otras tecnologías de optimización como captación de agua o sistemas de energía fotovoltaica (Castillo-Martínez, 2014), lo cual implica una regulación en los costos de modificación cuando no hay una planificación previa para un sistema de naturación (Loh, 2008; García Villalobos, 2011; Perini *et al.*, 2013). Por otra parte, Blanc (2011) categorizó el impacto del crecimiento de la vegetación en estructuras de zonas urbanas en tres tipos:

-Impacto superficial, vegetación que no modifica estructuras, generalmente es vegetación de lento crecimiento y el daño potencial es a largo plazo (p. ej. algas, musgos y helechos). Por lo general, este impacto es visible en sitios con humedad abundante o temporal donde la vegetación finalmente reaparece.

-Impacto peligroso, es aquel donde la plantas de raíces tuberosas pueden generar daños a una estructura como tejas, ampliar grietas, canales y tuberías, es propio de vegetación con crecimiento intermedio a rápido (p. ej. helechos, crasuláceas, asteráceas, litráceas, begoniáceas, commelináceas y caparáceas), sin embargo la permanencia de la vegetación no permite generar daño mecánico suficiente y este puede quedar trunco a causa de la temporalidad o del ciclo de vida propio de la especie, este tipo de impacto es visible en ambientes y mediterráneos.

-Impacto destructivo, es aquel donde el sistema radicular es capaz de invadir la estructura, modificarla por completo o destruirla. La vegetación dentro de esta categoría es de rápido crecimiento (p.ej. las familias Moraceae, Araceae, Tetramelaceae y Litraceae), y es vegetación característica de ambientes tropicales y de humedad ambiental alta.

f) Los costos indican los montos operacionales que implica la presencia de un muro naturado, con ello es necesario evaluar los puntos anteriormente mencionados y así conocer los gastos de montaje, hídricos, energéticos, nutricionales, de mantenimiento (Köhler, 2008), nivel de impacto estructural (Blanc, 2011) y control de plagas (García Villalobos, 2011).

La disminución de costos para obtener el mayor número de beneficios posibles a través de la optimización de estos factores contribuye a la mejora en la funcionalidad de muros naturados como los obtenidos por Camarena (2010), Blanc (2011), Castillo-Martínez (2014), Serrato-Gallardo (2014).

2.7 Clasificación de sistemas de naturación de muros.

La clasificación de sistemas de naturación vertical según Loh (2008), Perini *et al.* (2011; 2013) y Jim (2015) son:

-Sistema de tablero o panel. Tiene por ventaja ser un sistema preplantado que sólo requiere ser colocado en sistemas de riego y soporte. Útil para plantas de talla pequeña (5-50 cm) y mediana (50-100 cm) (SEDEMA, 2013). Tiene como limitante la estructura de soporte que debe resistir el peso del

tablero, dificultad de poda según su accesibilidad y los tableros deben ajustarse a las dimensiones de la estructura de soporte.

-Sistema de fieltro. Comprende bolsos de textiles e incluyen el sustrato y medios para promover el crecimiento de la(s) planta(s). Este sistema debe estar aislado de la estructura a natural para evitar daños por humedad. Es útil en plantas de talla pequeña (5-50 cm) y mediana (50-100 cm) (SEDEMA, 2013) y es ajustable desde la colocación. La desventaja de este sistema es la compactación de los sustratos y la dificultad de poda en estructuras de grandes dimensiones.

-Sistema de contenedores, malla o reja. Este sistema incluye contenedores individuales y generalmente se aplica a plantas trepadoras. Útil en plantas de talla pequeña (5-50 cm) si es un sistema suspendido y de talla mediana (50-100 cm) (SEDEMA, 2013) cuando el sistema de sustrato soporta mayor peso. Requiere mayor atención en los sistemas de riego y mantenimiento para el control de las plantas (Köhler, 2008). Tiene por desventajas el mantenimiento de los contenedores y dificultad de poda en sistemas de grandes dimensiones y difícil acceso.

De acuerdo con Jim (2015) existen doce formas distintas para referirse a un sistema de naturación vertical, de los cuales los más frecuentes son fachada verde, muro viviente, vegetación vertical, muro verde, y como menos comunes son; sistema arquitectónico de soporte acojinado para vegetación, epidermis viviente, verdor en casas, fachada vegetada, muro cubierto de plantas, sistema vertical verde: extensivo e intensivo, y vegetación colocada cerca de una construcción, sin

embargo el autor refiere a que la clasificación se realizó con base en el componente estructural que encierra o subdivide una construcción bajo el contexto arquitectónico (Harris, 2006).

2.8 Beneficios de la naturación de espacios.

Dentro de los beneficios obtenidos a través de la naturación de espacios se encuentran el amortiguamiento ante temperaturas extremas (Perini *et al.* 2011; Cameron *et al.* 2014), captura de partículas suspendidas (Perini *et al.* 2013), retención de agua a través de la biomasa, mejoramiento de la calidad de vida humana (García-Albarado y Dunnett, 2009), aumento de la vida útil en las construcciones y la generación de espacios verdes (Lundholm, 2006; Köhler, 2008; Loh, 2008; Peralta-Sánchez, 2008; Sánchez-López, 2009; Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011; Perini *et al.*, 2011; Perini *et al.*, 2013; Castillo-Martínez, 2014), así como disminución del efecto isla de calor (Rodríguez-Salvador, 2002; Breinnessen, 2006). La selección de especies vegetales es un elemento clave para el éxito de estos sistemas (Perini *et al.*, 2013), y la información aportada por las variables ambientales y la biología de las especies pueden disminuir elementos de incertidumbre y permitir su aprovechamiento en estos sistemas (Lundholm, 2006; Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado, 2011; Jim, 2015).

2.9 Justificación

La demanda de áreas verdes en zonas urbanas especialmente del Centro de México es creciente, en donde de forma histórica se ha valido del aprovechamiento vegetal durante siglos; sin embargo, con el desarrollo urbano no planificado ha disminuido la proporción de áreas verdes por habitante. Por lo tanto, es indispensable ampliar el conocimiento del potencial de las especies vegetales nativas de la región para cubrir esta demanda con base en la integración de criterios biológicos, funcionales, ambientales y ecosistémicos, para así desarrollar métodos de evaluación del desempeño de las especies nativas cuando son aprovechadas en condiciones de muro naturado adjunto a la generación de información de la biología de las especies nativas de la región con fines científicos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Integrar las especies nativas de la flora del Centro de México a la técnica de naturación y su aprovechamiento sostenible.

3.2 Objetivos particulares

-Seleccionar un grupo de especies de ambientes distintos del Centro de México que por sus características morfofisiológicas puedan resistir a los factores ambientales en condiciones de naturación.

-Identificar cuáles son los factores ambientales que favorezcan o limiten la naturación.

-Evaluar la viabilidad del aprovechamiento sostenible de especies nativas del Centro de México para el desarrollo de naturación de muros en la Ciudad de México.

4. HIPÓTESIS

-Si, en general, las especies seleccionadas del Centro de México presentan características que les permitan tolerar las condiciones ambientales para la naturación de muro, entonces las especies tendrán alta supervivencia y rápido crecimiento en el muro naturado por un año.

-Si los factores ambientales tienen un efecto diferencial sobre la supervivencia y crecimiento de las especies utilizadas en el muro naturado, entonces habrá diferencias significativas en la supervivencia y crecimiento de cada especie a lo largo del año y entre los distintos niveles del muro.

-Si las variables de respuesta en las especies evaluadas indican que las especies utilizadas son exitosas en condición de muro naturado, entonces se propondrán para la naturación de muros de la región del Centro de México.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Criterios de selección de especies.

Los criterios utilizados para la selección de especies fueron:

- a) Disponibilidad de individuos.
- b) Forma de vida, se seleccionaron aquellas plantas de follaje perenne de porte pequeño (5-50 cm) a mediano (50-100 cm) y que incluyeran herbáceas o trepadoras.
- c) Resistencia a los cambios de temporal, insolación, presencia de plagas, visitantes y con capacidad de coexistencia mutua para que no afecten las variables de supervivencia, talla y cobertura de las seis especies entre sí.
- d) Impacto con su manejo, aquellos individuos con sistema radicular pequeño, que no propiciaran el deterioro de la estructura del muro y del edificio a mediano plazo.
- e) Permanencia del material vegetal, se seleccionaron, través del manejo en invernadero, los ejemplares que pudieran ser perennes en cultivo.

5.2 Obtención de material vegetal.

Se realizó una revisión bibliográfica para ubicar y seleccionar las especies de estudio considerando su presencia en la Región del Centro de México (Mickel y Smith, 2004; Castillo-Argüero *et al.* 2007; Rzedowski y Rzedowski, 2010). La adquisición de individuos se realizó a través de tres tipos de instancias:

- Las pteridofitas se obtuvieron en una labor de *cambio de ubicación* de las especies del Pedregal de San Ángel; previo a las labores de construcción del

terreno que actualmente pertenece al Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), Circuito Centro Cultural #20, Col. Insurgentes Cuicuilco en Ciudad Universitaria, en colaboración con el Arq. Psj. Pedro Camarena Berruecos.

-*Colecciones científicas*, las cactáceas y una especie de crasulácea fueron obtenidas de la Colección de Cactáceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

-*Centro de adopción de plantas mexicanas en peligro de extinción* del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, para una especie de crasulácea.

Todos los ejemplares fueron trasplantados y manejados en el invernadero agronómico del Instituto de Ecología en Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México entre los meses de abril a noviembre de 2013.

5.3 Especies seleccionadas.

Se seleccionaron seis especies de tres familias diferentes (Pteridaceae, Crassulaceae y Cactaceae) considerando todos los atributos señalados en el apartado 5.1 (p. 19), así como la factibilidad de contar con ejemplares para la naturación (tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las especies seleccionadas para la naturación de muro.

Nombre científico	Imagen de especie	Nombre común	Características de interés
<i>Cheilanthes myriophylla</i> Desv.		<p>“Cola de zorra”, “chujcho”, “coca”, “yerba coca”</p>	<p>Familia: Pteridaceae. Rizoma compacto, cortamente rastrero. Hojas de crecimiento lateral determinado, simpodial, rítmico y homogéneo. Con patrón de foliación continuo de desarrollo acroscópico. Hojas 3-4 pinnado pinnatífidas, equiláteras y moniliformes de 10-30 x 3.6 cm de largo (Yatskievych y Moran, 1995).</p>
<i>Pellaea cordifolia</i> (Sessé & Moc.) A. R. Sm.		<p>“Ítamo real”</p>	<p>Familia: Pteridaceae. Rizoma compacto, decumbente. Hojas de crecimiento lateral determinado, simpodial, rítmico y homogéneo. Con patrón de foliación continuo de desarrollo acroscópico. Hojas 2-3 pinnado equiláteras y cordadas de 15-80 cm (Yatskievych, 1995).</p>

Tabla 1 (continuación). Descripción de las especies seleccionadas para la naturación de muro.

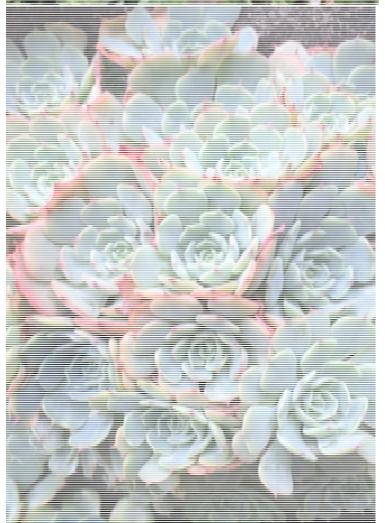
Nombre científico	Imagen de especie	Nombre común	Características de interés
<i>Sedum moranense</i> Kunth		<p>“Chisme”, “cardoncillo”, “jaspalache”, “xalache”</p>	<p>Familia: Crassulaceae. Perenne, extendida o colgante de hasta 20 cm de largo. Tallo con hojas imbricadas, muy ramificado tornándose de color café a gris rojizo. Meristemos axilares, sobre el tallo. Hojas muy abundantes, muy gruesas, carnosas y ovadas (Rzedowski, 2010).</p>
<i>Echeveria halbingeri</i> E. Walther		<p>“Conchita”, “echeveria”</p>	<p>Familia: Crassulaceae. Perenne de tallo en roseta compacta. Meristemos axilares de donde crecen hijuelos alrededor del tallo. Hojas espatuladas abundantes, pruinosas, en la parte superior aplanada e inferior convexa, con quilla redondeada, con margen liso y ápice obtuso, redondeado, hialino, mucronado, con mucrón muy fino (Jimeno, 2008).</p>

Tabla 1 (continuación). Descripción de las especies seleccionadas para la naturación de muro.

Nombre científico	Imagen de especie	Nombre común	Características de interés
<p><i>Selenicereus hamatus</i> (Scheidweiler) Britton & Rose</p>		<p>“Cactus de espolones”, “reina de la noche”</p>	<p>Familia: Cactaceae. Perenne, extendida, trepadora, de hasta 4 m de largo. Tallo recto, cilíndrico (4 a 5 costillas), muy ramificado, de color verde. Areolas con espinas cortas, densamente imbricadas, delgadas, deciduas (Bravo-Hollis, 1978).</p>
<p><i>Epiphyllum hookeri</i> (Link & Otto) Haw.</p>		<p>“Nopalillo”, “noche tropical”, “cactus orquídea”</p>	<p>Familia: Cactaceae Perenne, extendida, trepadora, de hasta 1.5 m de largo. Tallo recto, aplanados (filocladios), flexible, muy ramificado, de color verde. Areolas sin espinas (Bravo-Hollis, 1978).</p>

5.4. Manejo de especies.

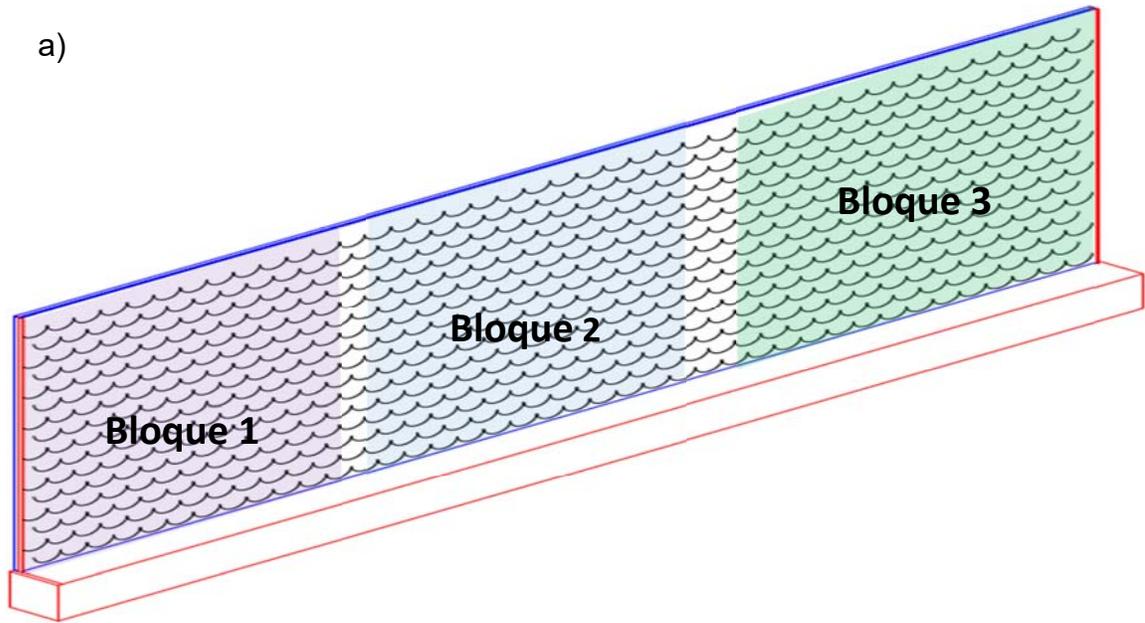
5.4.1 Manejo en invernadero.

Las especies seleccionadas fueron propagadas vegetativamente a partir de individuos adultos, simultáneamente en el mes de noviembre de 2013 se agregó un acelerador de crecimiento vegetal e inductor de raíces de la marca RADIX 10,000 (ácido indol-3 butírico al 1%) y se colocaron en tres almácigos, cada uno en una caja marca Alica, modelo gigante mediana anaranjada con dimensiones de 51 cm x 33.5 cm x 14.8 cm. Se colocaron 10 cm de sustrato hecho con 1/3 de tepojal, 1/3 de peat moss (The Canadian Sphagnum Peat Moss Association) y 1/3 de composta (40% de tepojal, 20% de tezontle tipo arcilla, 30% de tierra negra y 10% abono de borrego). Se seccionaron los rizomas de pteridofitas que tuvieran de 4-10 hojas en *C. myriophylla* y *P. cordifolia*. Se generaron esquejes de 10 cm para *S. hamatus* y *E. hookeri* y se separaron guías de *S. moranense* e hijuelos de *E. halbingeri*. Se fertilizó el sustrato con 10 g de Osmocote (15-15-15) mensualmente durante noviembre de 2013 a mayo de 2014.

5.4.2 Manejo en condiciones de sistema de naturación de muro.

El manejo vertical se llevó a cabo en un muro exterior de tabique rojo con acabados aparentes, con una altura pequeña de 3-15 m y angosto 3-15 m, no segmentado de 90° de inclinación a nivel de piso (Jim, 2015). El material de los módulos fueron bolsas de fieltro de geotextil con mezcla de sustrato en cada módulo para hierbas y arbustos ensamblado por la empresa Naturación Integral S. de R. L. de C.V. (Generación Verde) en el Instituto de Ecología de Ciudad Universitaria, de la

Universidad Nacional Autónoma de México. Las dimensiones del sistema de naturación fueron 2 m de altura x 4.88 m de ancho, los componentes de la instalación comprendieron un marco de aluminio calibre 20 para tablaroca con grosor de 2.6 cm, placa aislante de Tetra pack reciclado de 5 mm, bordeado de ángulo de aluminio de 0.5 mm de grosor por 2.6 cm de ancho (fig. 1). El sistema de riego fue por emisores múltiples de goteo, fraccionado por tres llaves de paso para riego y fue seccionado en tres columnas con 12 módulos por 15 filas con un módulo de separación entre la columna 1 y la columna 2, y dos módulos de separación para la columna 2 y la columna 3 (fig. 1). Del mismo modo, la posición de cada estrato se numeró en orden descendente, donde el estrato superior (ES) comprendió las filas de 1-5, el estrato medio (EM) de las filas 5 a 10 y el estrato inferior (EI) las filas 11 a 16. La orientación de la instalación fue 309° NO, con coordenadas 19°19'18" N y 99°11'33" O. Cada módulo se rellenó con una mezcla de ¼ de tezontle rojo, ¼ de agrolita, 1/2 de peat moss, dentro de cada módulo se colocó un individuo de cada especie y su distribución en el espacio fue aleatoria. Por medio de un dado fue asignado un número a cada especie, las cuales fueron colocadas una a una con el número que le correspondió hasta llenar un bloque, cada bloque fue reiterado con la misma combinación de especies obtenida (Gotelli y Ellison, 2004; Zar, 2010). Se colocaron 11 individuos de cada especie por cada uno de los estratos y conformando un total 33 individuos por cada especie en cada bloque.



b)

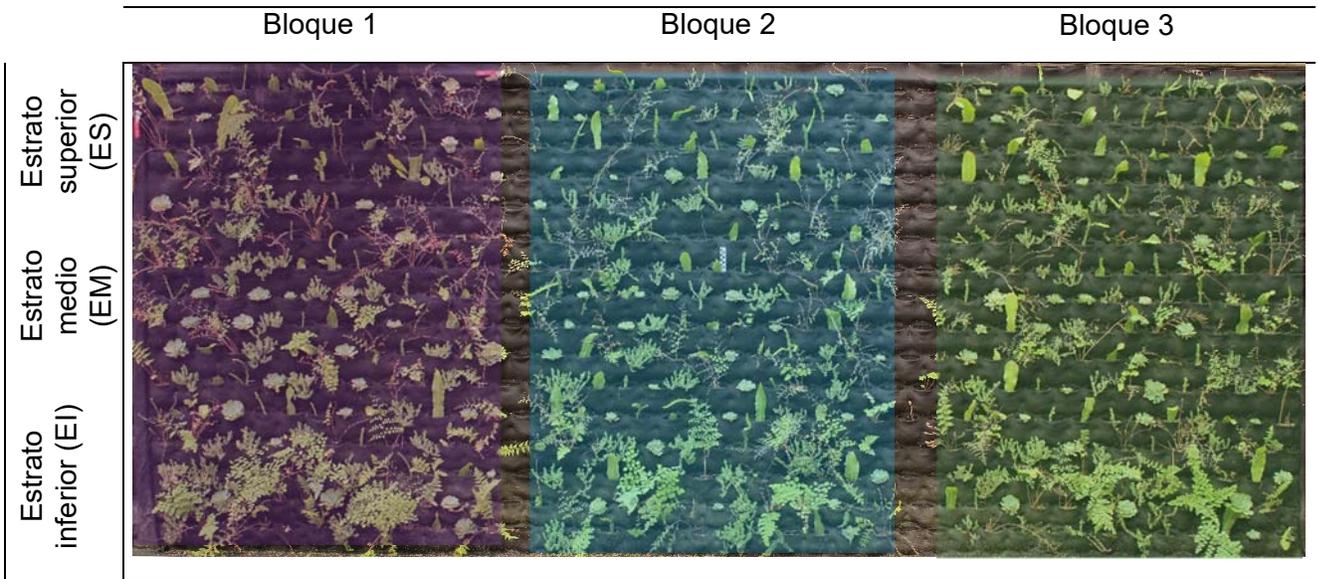


Figura 1. a) Sistema de naturación vertical y, b) posicionamiento de especies para la fase experimental.

El trasplante de los individuos por esqueje en condición de muro fue realizado manualmente en mayo de 2014. La etapa de aclimatización se efectuó con riego diario programado por un temporizador digital marca Tecno Lite Modelo TT-158 con batería de respaldo, durante 15 días a las 18:00 h por 10 min para alcanzar la capacidad del campo. Posteriormente se modificó a 5 min dos veces al día de 9:00-9:05 h. y de 18:00-18:05 h., durante la primera quincena de mayo de 2014 a junio de 2015. La fertilización en condiciones de muro se realizó cada quince días con Follanil® Grow de BIO Orgánica en proporción 0.5 mL/L de agua corriente y cada cuarenta y cinco días se agregaron sales para solución hidropónica estándar small de la marca Cosechando Natural en proporción 0.15 g/L de agua corriente de junio-diciembre de 2014 y se reanudó la fertilización de marzo-junio de 2015.

5.5 Factores ambientales en condiciones de muro naturado.

5.5.1 Gasto hídrico del sistema de muro naturado.

Para la medición del consumo de agua del sistema de naturación se determinó con el límite máximo y mínimo de agua necesario para permitir la recirculación a través de la bomba hidráulica; del mismo modo se determinó la periodicidad con la que se requiere adición de agua. También se calculó el volumen de agua consumida a través de la diferencia del nivel máximo y mínimo de agua en el contenedor tres veces por periodo, y el cálculo de pérdida de agua por asimilación o retención en el sistema de naturación se efectuó midiendo el volumen de agua en el contenedor de agua antes de la activación del sistema de riego y al momento posterior que el agua cubrió un ciclo de circulación para llegar nuevamente al contenedor de agua. Las

mediciones se realizaron diariamente en el periodo de mayo de 2014 a junio de 2015.

5.5.2 Condiciones climáticas en la etapa de naturación.

Para la recolección de datos a nivel zonal se solicitaron los datos de temperatura y precipitación al Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México: "Mtro. Francisco Hernández". Se observaron tres periodos secos, ver figura 2; en el mes de noviembre de 2014, enero a febrero donde se presentó la precipitación más baja y abril de 2015. Los meses con precipitaciones mensuales totales superiores a los 100 mm fueron de julio a octubre 2014 y de mayo a junio de 2015 con lluvias intermitentes de noviembre de 2014 a abril de 2015, figura 2.

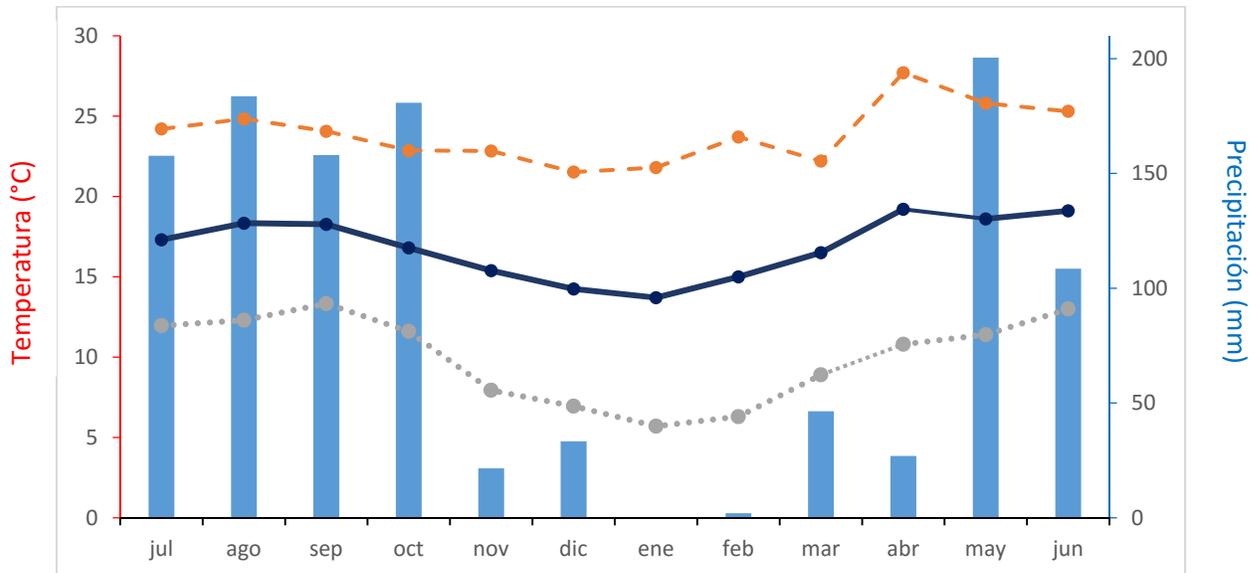


Figura 2. Climograma de Ciudad Universitaria durante los meses de julio de 2014 a junio de 2015 durante la etapa experimental, las barras indican la precipitación mensual promedio (mm), la línea superior discontinua indica temperatura máxima promedio, la línea media continua indica la temperatura promedio mensual y la línea inferior punteada indica temperatura mínima promedio.

Para el seguimiento de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (HR) a nivel microambiental se colocaron dos Data Loggers en el extremo superior e inferior izquierdo del muro naturado. Los Data Loggers fueron de la marca Onset, HOBO® Data Loggers, Modelo UX100-023 con extensiones de 2 m para temperatura y humedad relativa, los cuales fueron programados para registrar datos cada 15 minutos durante 365 días. Las terminales de registro para cada extensión fueron colocadas en el estrato superior (fila 2) e inferior (fila 14) del muro en el bloque uno y se realizó un promedio para aproximar el valor en el estrato intermedio del muro naturado. La programación y extracción de datos para cada Data Logger fue con el programa HOBOWare, Graphing & Analysis Software de Onset Computer Corporation, 470 MacArthur Blvd. Bourne, MA., E. U. A.

Las condiciones de HR en la zona de Ciudad Universitaria disminuyeron en el mes de febrero de 2015, sin embargo, la HR alcanzada durante toda la etapa experimental fue superior al 60%. En el mes de febrero de 2015 se presentó el mayor descenso ($\approx 20\%$) en la HR.

Concurrentemente, se presentaron ascensos de temperatura a partir del mes de enero de 2015, figura 3.

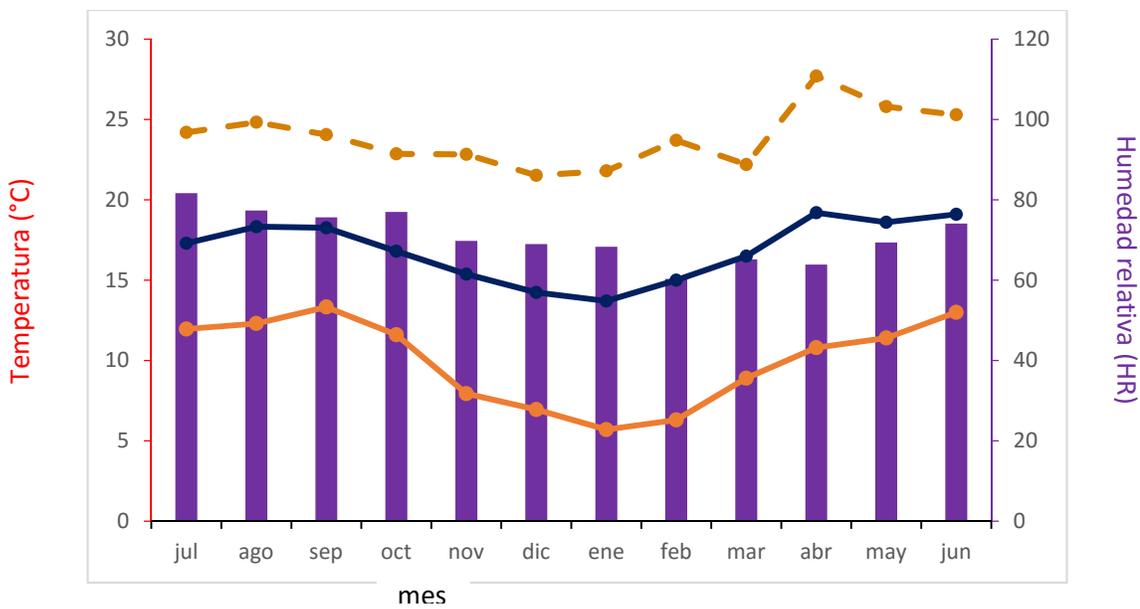


Figura 3. Temperatura (°C) y humedad relativa (HR) en la zona de Ciudad Universitaria en los meses de julio de 2014 a junio de 2015 durante la etapa experimental, la línea superior discontinua indica temperaturas máximas, la línea continua media indica temperatura promedio, la línea continua inferior indica temperatura mínima, las barras verticales indican humedad relativa (HR).

5.5.3 Nutrientes.

El monitoreo de nutrientes (N, P, K) fue efectuado con un Soil Test Kit HI3896 (Hanna Instruments. Woonsocket RI USA) basado en cuatro patrones de colorimetría (trazas, bajo, intermedio y alto) según la presencia del nutriente. La medición se realizó en los meses de agosto, noviembre, enero y abril (primer, segundo, tercer y cuarto periodo, respectivamente). Las proporciones de sensibilidad a nutrientes (N, P, y K) a las que la prueba está calibrada para cultivo agronómico fueron: Nitrógeno Total (N) 8.30 %, Fósforo asimilable (P_2O_5) 5.90 %, Potasio asimilable (K_2O) 11.70 %, Calcio (Ca) 7.50 %, Azufre nutricional (S) 5.60 %, Magnesio (Mg) 3.70 %, Boro (B) 0.03 %, Zinc (Zn) 0.003 %, Cobre (Cu) 0.002 %, Manganeso (Mn) 0.03 % y Hierro (Fe) 0.16 %.

5.5.4 pH.

El monitoreo de pH se realizó en la solución nutritiva con Follanil®Grow y sales hidropónicas en el agua del contenedor. Las mediciones se realizaron en cada periodo con un medidor de pH marca Jenco®, Modelo Vision Plus pH 618C, USA.

5.5.5 Horas de insolación.

Para determinar las horas de insolación en muro naturado se siguió visual y fotográficamente con una cámara Canon Modelo EOS Rebel T3i de 18 megapíxeles, Canon Inc., para cuantificar las horas de insolación directa sobre el muro en los meses de agosto, noviembre, enero y abril (primer, segundo, tercer y cuarto periodo) y determinar a mediados de cada periodo con mayor y menor insolación.

5.6 Medición de variables biológicas en condición de muro.

5.6.1 Supervivencia en condiciones de invernadero y condiciones de muro.

-Supervivencia en condiciones de invernadero: se cuantificó mensualmente durante tres meses la proporción final de individuos sobrevivientes de cada especie donde se trasplantaron 33 individuos de cada especie por almácigo durante noviembre de 2013 a abril de 2014.

-Supervivencia en sistema de naturación: se cuantificó mensualmente durante un año la supervivencia de cada especie a través de un censo de supervivencia en condiciones de muro naturado.

5.6.2 Análisis de cobertura.

El análisis de cobertura a través de registro fotográfico se realizó mediante registros mensuales con una cámara fotográfica Canon EOS Rebel T3i de 18 megapíxeles posicionada desde la misma distancia en el mismo horario de 9:00-18:00 h del día. Para la cuantificación de cobertura en el muro se aplicó un análisis de imagen con fotografías de exposición programada con el software ImageJ National Institute of Health de The Federal Government, E. U. A. para calcular el valor de área en m² de cubierta total vegetada en el sistema de naturación. Se elaboró un análisis estadístico y una tasa relativa de crecimiento basado en la cobertura, y cobertura promedio para cada estrato.

5.6.3 Análisis de número de meristemas.

Como indicadores de la actividad fisiológica de los individuos, se contaron en las seis especies el número de meristemas, la producción de hojas o brotes nuevos y la producción de individuos que puedan ser potencialmente independientes de la planta madre. Es decir, la producción de circinos nuevos en pteridofitas (*C. myriophylla* y *P. cordifolia*), producción de yemas axilares y/o guías en *S. moranense*, nuevas rosetas en *E. halbingeri*, y nuevas ramas en cactáceas (*S. hamatus* y *E. hookeri*). Los valores obtenidos fueron promediados por bloques y estratos, y a su vez comparados por ANDEVA de medidas repetidas en los tres meses correspondientes a cada periodo.

5.6.4 Análisis de número de apéndices totales.

En el conteo del número total de apéndices solo se incluyeron a toda aquella hoja o rama que no presentara indicios de senescencia con la finalidad de identificar actividad fisiológica en los individuos. Se realizó un promedio en el periodo de los tres meses correspondientes a cada periodo y comparados por ANDEVA de medidas repetidas. Para pteridofitas (*C. myriophylla* y *P. cordifolia*) se contabilizaron pares de pinas por hoja en máxima expansión. En crasuláceas, para *S. moranense* se cuantificó el número de guías/ramas nuevas y en *E. halbingeri* se contabilizó el número total de hojas de cada individuo. En el caso de las cactáceas (*S. hamatus* y *E. hookeri*), en los conteos, no se diferenció entre ramas y meristemas, ya que cada meristemo nuevo implica una ramificación nueva que es activa fotosintéticamente.

5.6.5 Cuantificación de talla máxima en individuos.

La cuantificación de las tallas se realizó con un calibrador digital de la marca Truper®, modelo CALDI-6MP, Jilotepec, Estado de México, México, y con cinta métrica de 1.5 m de longitud de la marca Fiber-Glass Butterfly Brand. En las pteridofitas *C. myriophylla* y *P. cordifolia*, se midió la talla mayor y menor desde la base del peciolo a la punta de la hoja en completa extensión; de la base del tallo, longitud de guía o tallo mayor y menor en *S. moranense*, la roseta con mayor y menor talla en *E. halbingeri* y longitudes mayores y menores en tallos de *S. hamatus* y *E. hookeri* en los meses de mayo de 2014 a junio de 2015. Las mediciones de talla máxima obtenidas se promediaron y fueron comparadas por ANDEVA de medidas repetidas

5.7 Identificación de fauna: plagas y visitantes.

Se le consideró plaga a aquella fauna nociva que generó daño directo al sistema de naturación, comprendiendo infraestructura o material vegetal, y visitante a aquel organismo que solo perchara en el muro sin generar daños. Se generó un registro de plagas y de visitantes. Así mismo, los niveles impacto o frecuencia de visitas de plagas y/o visitantes al sistema de naturación fueron: bajo (menor a tres visitas por familia de plagas y/o visitantes), medio (>3 individuos y <5 individuos por familia de plagas y/o visitantes) y alto (mayor a cinco individuos por familia de plagas y/o visitantes).

En ambos casos se colectaron o se registraron fotográficamente en los tiempos de mantenimiento y cuantificación del sistema, posteriormente fueron llevados con especialistas para la determinación taxonómica de los individuos colectados, al taxón más cercano posible a especie, para así generar protocolos de erradicación y/o regulación para los organismos que presentaron indicios de nocividad. La identificación realizada de artrópodos fue llevada a cabo con la colaboración del Laboratorio de Colección Nacional de Arácnidos y la Colección Nacional de Insectos del Instituto de Biología, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

5.8 Análisis estadísticos.

5.8.1 Análisis exploratorios.

Se efectuaron análisis canónicos de correspondencia (CCA) donde se empataron como ejes canónicos a los datos obtenidos de las variables de respuesta biológica (meristemas, apéndices totales y talla máxima), contra la base de datos de los factores ambientales medidos en el muro naturado que fueron temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$), temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$) y humedad relativa (HR). Se reportaron los valores del coeficiente canónico y la correlación de cada eje de ordenación en las bases de datos de las variables biológicas y los factores ambientales.

5.8.2 Análisis comparativos generales.

a) Gasto hídrico: El análisis de gasto hídrico se realizó con un análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías para calcular su efecto el volumen requerido de agua para cada periodo en el sistema de naturación.

b) Supervivencia: La probabilidad de supervivencia a lo largo del tiempo, así como la probabilidad de supervivencia al final del experimento, se estimó con regresiones logísticas; para cada especie en cada estrato, utilizando el paquete estadístico JMP (ver. 8.0 SAS, Institute Inc., Cary, NC, USA). El estadístico de prueba es χ^2 de Wald, y se consideró la significancia del modelo con $\alpha \leq 0.05$.

c) Cobertura: El análisis de cobertura se realizó con un Análisis de varianza (ANDEVA) de dos vías para calcular el efecto de los periodos y de los estratos en el muro naturado.

d) Número de meristemas, número de hojas totales y talla máxima fueron comparados a través de ANDEVA de medidas repetidas.

5.8.3 Análisis comparativos de Tasa Relativa de Crecimiento (TRC).

Igualmente se realizaron ANDEVA sobre las TRC de dichas variables biológicas de cobertura, número de meristemas, número de apéndices totales y talla máxima en el orden que se mencionaron.

La TRC fue calculada como:

$$TRC = \ln(X_{t_2}) - \ln(X_{t_1})/t \quad (\text{Hunt, 1982})$$

donde:

\ln = Logaritmo natural X = Variable de respuesta

t = tiempo t_1 = tiempo inicial t_2 = tiempo final

Todos los análisis se realizaron con el programa JMP (ver. 8.0 SAS, Institute Inc., Cary, NC, USA), fueron utilizados los valores promedio de los tres meses que comprenden al primer periodo (julio, agosto y septiembre), segundo periodo (octubre, noviembre y diciembre), tercer periodo (enero, febrero y marzo) y cuarto periodo (abril, mayo y junio) en los que se ejecutó la etapa experimental, a su vez, en cada análisis se combinó la interacción de efecto de los estratos (superior, medio e inferior) y los bloques (repeticiones) con un valor de $P < 0.05$.

6. RESULTADOS

6.1 Factores ambientales.

6.1.1 Gasto hídrico.

El sistema de naturación incrementó el gasto hídrico a través de los cuatro periodos del año evaluados, donde el mayor consumo de agua se presentó en el tercer y cuarto periodo, se observaron diferencias significativas entre los periodos con un nivel de significancia de ($F_{(3, 12)} = 4859.38, P = 0.0001$), figura 4 y tabla 2.

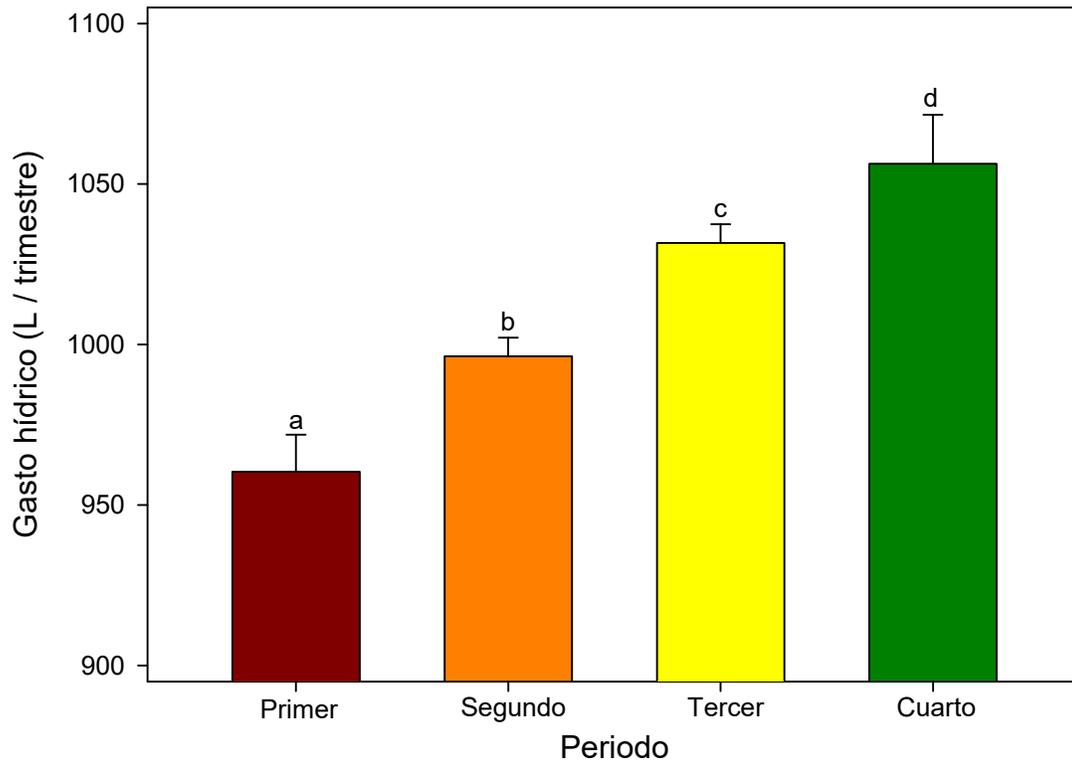


Figura 4. Gasto hídrico (L / trimestre) del sistema de naturación por periodos.

Tabla 2. Gasto hídrico (L/trimestre) por el sistema automatizado de riego en muro naturado.

Periodo anual (trimestre)	Año	Consumo de agua (L / trimestre)	* $P < 0.05$
Primer	2014	960	*
Segundo	2014	996	*
Tercer	2015	1,032	*
Cuarto	2015	1,056	*
Total	2014-15	4,044	

Los cálculos de gasto hídrico indicaron que en promedio se requieren 1,011 L / trimestres de agua, de los cuales el 74% (747 L / trimestre de agua) son necesarios para su recirculación óptima en el sistema de riego en condiciones de naturación, y el 26% (264 L / trimestre de agua) son utilizados por fenómenos fisiológicos como absorción, difusión y evapotranspiración de la vegetación o perdidos por factores ambientales como fuga en el sistema de riego, transpiración, evaporación por altas temperaturas y retención por el tipo de sustrato.

6.1.2 Temperatura (°C) y Humedad Relativa (HR) en muro naturado.

Los datos microambientales de temperatura en el muro naturado de julio de 2014 a junio de 2015 se agruparon en dos bloques de temperatura; primero y cuarto periodo y, segundo y tercer periodo mostrando diferencias significativas ($F_{(3, 36)} = 19.20$, $P = 0.0001$). No se observaron diferencias significativas en la temperatura para cada nivel de estrato ($F_{(2, 36)} = 0.33$, $P = 0.7274$) para esta variable. La humedad relativa (HR) mostró diferencias significativas entre periodos, éstas formaron cuatro grupos distintos ($F_{(3, 36)} = 13.64$, $P = 0.0001$), sin embargo, la humedad relativa no presenta diferencias significativas con respecto a los niveles de estrato ($F_{(2, 36)} = 0.00$, $P = 1.000$) (Tabla 3: a y b).

Tabla 3. a) Temperaturas promedio y Humedad relativa en condiciones de naturación para los estratos superior e inferior. ES: estrato superior; EM: estrato medio; EI: estrato inferior.

Periodo (trimestre)	Año	Temperatura (°C)			Humedad relativa (HR)		
		ES	EM	EI	ES	EM	EI
Primer	2014	18.31	17.68	17.05	72.46	76.29	80.13
Segundo	2014	16.34	15.62	14.91	74.36	79.95	85.54
Tercer	2015	15.27	14.48	13.69	61.99	67.82	73.66
Cuarto	2015	18.59	18.42	18.25	70.51	70.59	70.67

b) Comparación entre temperatura promedio y periodos.

Periodos	Sig.	Estratos	Sig.
Primero - Segundo	*	ES-EM	ns
Primero - Tercero	*	ES-EI	ns
Primero - Cuarto	ns	EM-EI	ns
Segundo - Tercero	ns		
Segundo - Cuarto	*		
Tercero - Cuarto	*		

*Indica una diferencia significativa.

En el mes de abril (2015) se presentó la temperatura media más alta, cercana a los 30 °C y las más bajas en los meses de noviembre, diciembre (2014) y enero (2015), mientras que el registro de HR más alto ocurrió en el mes de julio (2014) y los más bajos en los meses de febrero y abril de 2015 (fig. 5).

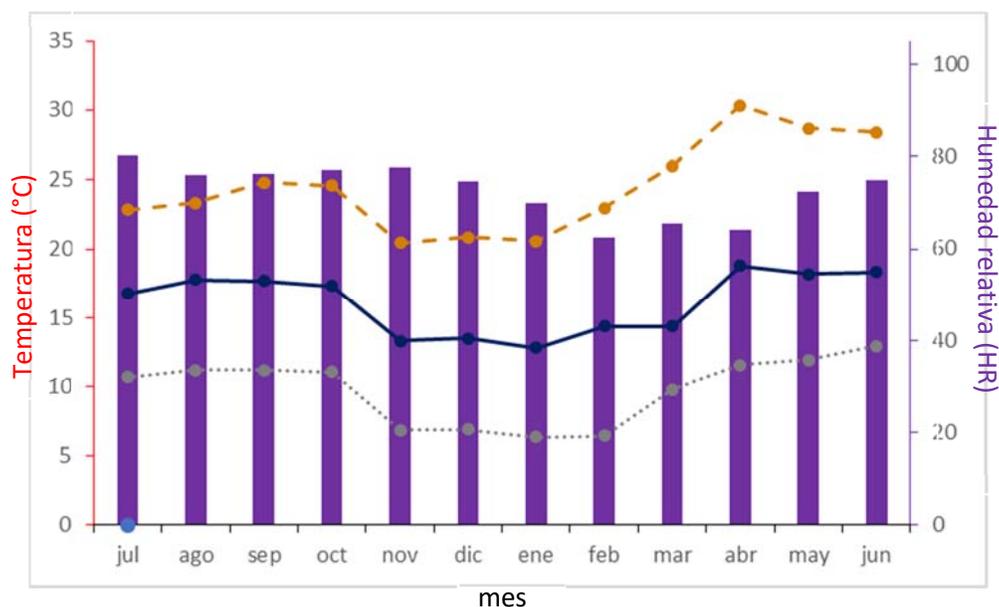


Figura 5. Temperatura media (-.-), máxima (-.-.-), mínima (-.-.-) y barras indican humedad relativa (HR) en el sistema de naturación en los meses de julio 2014 a junio 2015.

6.1.3 Nutrientes

Los nutrientes N, P y K en la solución nutritiva disminuyeron en todo el sistema de naturación a través del tiempo, fueron deficientes (bajo) en K, e intermedios en N y P para el primer periodo. Para el tercer periodo se registraron niveles muy deficientes (trazas) en K, y bajos en N y P (tabla 4).

Tabla 4. Concentración de nutrientes en el contenedor del sistema de naturación.

Periodo anual (trimestre)	Año	Nutriente		
		N	P	K
Primer	2014	Intermedio	Intermedio	Bajo
Segundo	2014	Intermedio	Intermedio	Trazas
Tercer	2015	Baja	Baja	Trazas
Cuarto	2015	Baja	Baja	Trazas

6.1.4 pH

El valor de pH encontrado en la solución nutritiva del sistema de naturación en la temporada inicial (primer periodo) fue de 6.98 previo al rellenado, e incrementó en los periodos subsecuentes. La misma tendencia de aumento en el pH se registró en el momento posterior al rellenado y con los nutrientes aplicados. En el tercer periodo se suspendió la aplicación de nutrientes, se observaron diferencias significativas y se formaron tres grupos; primer, segundo, tercer-cuarto periodo ($F_{(3, 36)} = 27.96$, $P = 0.0001$), tabla 5.

Tabla 5. Valores de pH obtenidos en cada temporada durante la etapa experimental de muro naturado previo al rellenado, posterior al rellenado y con nutrientes.

Periodo (trimestre)	Año	pH		
		Previo rellenado	Posterior rellenado	Con nutrientes
Primer	2014	6.98	7.04	7.08
Segundo	2014	7.19	7.16	7.14
Tercer	2015	7.54	7.60	*
Cuarto	2015	7.80	8.00	8.20

* Suspensión de aplicación de nutrientes.

6.1.5 Horas de insolación.

La estimación de las horas de insolación directa sobre el muro fue diferente entre los cuatro periodos ($F_{(3, 36)} = 3.83$, $P = 0.0256$). En el tercer periodo se registró el menor tiempo de insolación (0.5 horas) mientras que en el cuarto periodo se registró el mayor (3 horas) (Tabla 6) y en los estratos no fueron observadas diferencias significativas ($F_{(2, 36)} = 0.00$, $P = 1.000$).

Por su parte las horas de insolación reportadas por el Observatorio Meteorológico de Ciudad Universitaria fueron 3 - 5.1 horas en el primer periodo, 5.3 - 6 horas en

segundo periodo, 6.3 - 9.5 horas en el tercer periodo y 5.5 - 10 horas en el cuarto periodo.

6.2 Variables biológicas.

6.2.1 Análisis exploratorios.

Los análisis de correspondencia (CCA) efectuados con las variables de respuesta como cobertura, número de meristemas, número de apéndices totales y talla máxima produjeron los siguientes resultados:

-Número de meristemas.

Los factores con mayor correlación canónica para la formación de nuevos meristemas, en las seis especies, fueron la humedad relativa (HR) y la temperatura mínima (T_{mín}). Los estratos medio y superior fueron dependientes de la HR, y las especies *E. hookeri* y *E. halbingeri* mostraron mayor asociación con la temperatura promedio (T_{prom}) y en *S. hamatus* las temperaturas máximas (T_{máx}). Los porcentajes acumulados canónicos más altos ocurrieron del primer al segundo periodo en el eje canónico 1 el cual explica el 76.38% de la interacción ambiente-especies. La correlación canónica entre ambas bases de datos fue de 0.616. Para el eje canónico 2 hubo un 94.94% de explicación por la base de datos ambientales contra las seis especies, donde se obtuvo una correlación canónica no significativa entre ambas bases de 0.545 ($F_{(4, 36)} = 3.88, P = 0.06$), figura 6 y tabla 6.

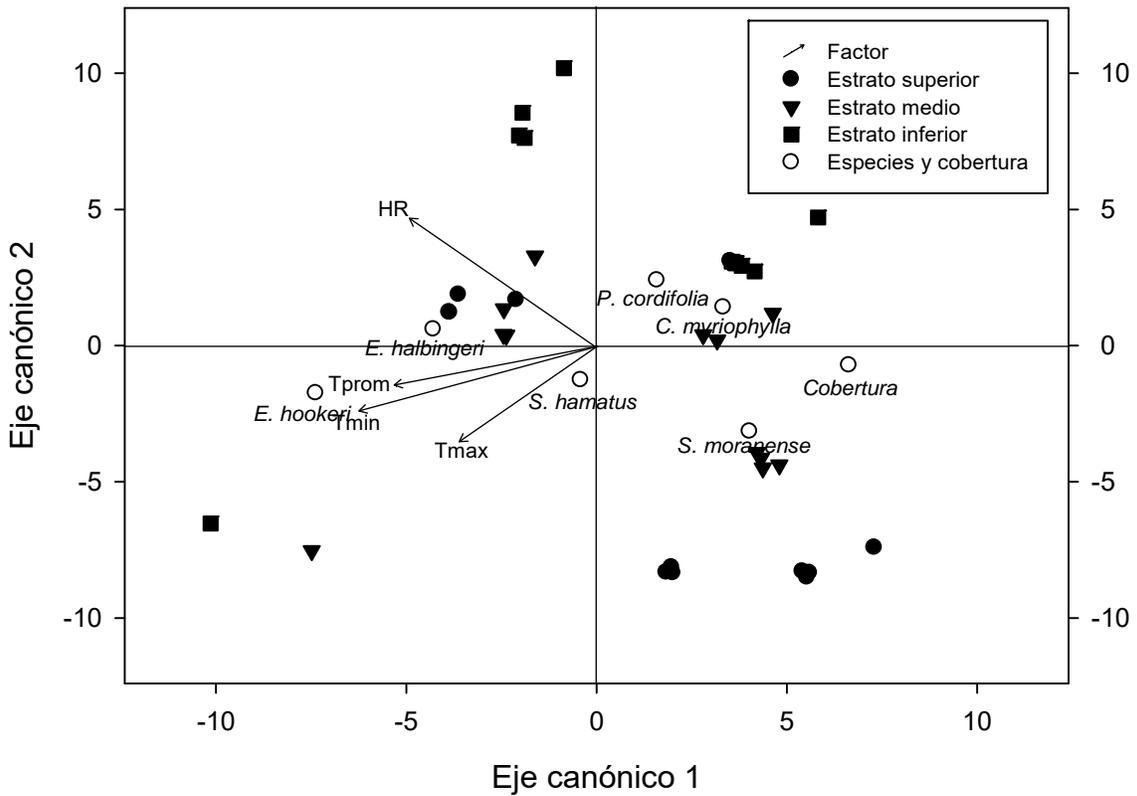


Figura 6. Análisis canónico de correspondencia de factores ambientales vs número de meristemos.

Tabla 6. Valores entre las variables ambientales vs. número de meristemos en las especies estudiadas.

Factor ambiental	CCA1	CCA2
Tprom	-0.430*	-0.121
Tmáx	-0.292	-0.284
Tmín	-0.508*	-0.198
HR	-0.399*	0.379*

*Valores entre bases de datos con mayor correlación canónica.

-Número total de apéndices.

Para la formación de nuevos apéndices el factor HR obtuvo mayor correlación en el EM, mientras que la Tmáx se relacionó más con el ES. *Sedum moranense* mostró mayor correlación con el factor de HR y *Echeveria halbingeri* y *Epiphyllum hookeri* denotaron mayor correlación con las temperaturas extremas (Tmáx y Tmín). El eje

canónico 1 obtuvo mayor correlación con la HR y las temperaturas donde se obtuvo un porcentaje de correlación del 61.56% y una correlación ambiente-especies de 0.549. Para el eje canónico 2 hubo una correlación explicativa por los factores ambientales del 98.18%, y la correlación ambiente y producción de apéndices de las seis especies fue de 0.672 ($F_{(4, 36)} = 3.9123, P = 0.002$), figura 7 y tabla 7.

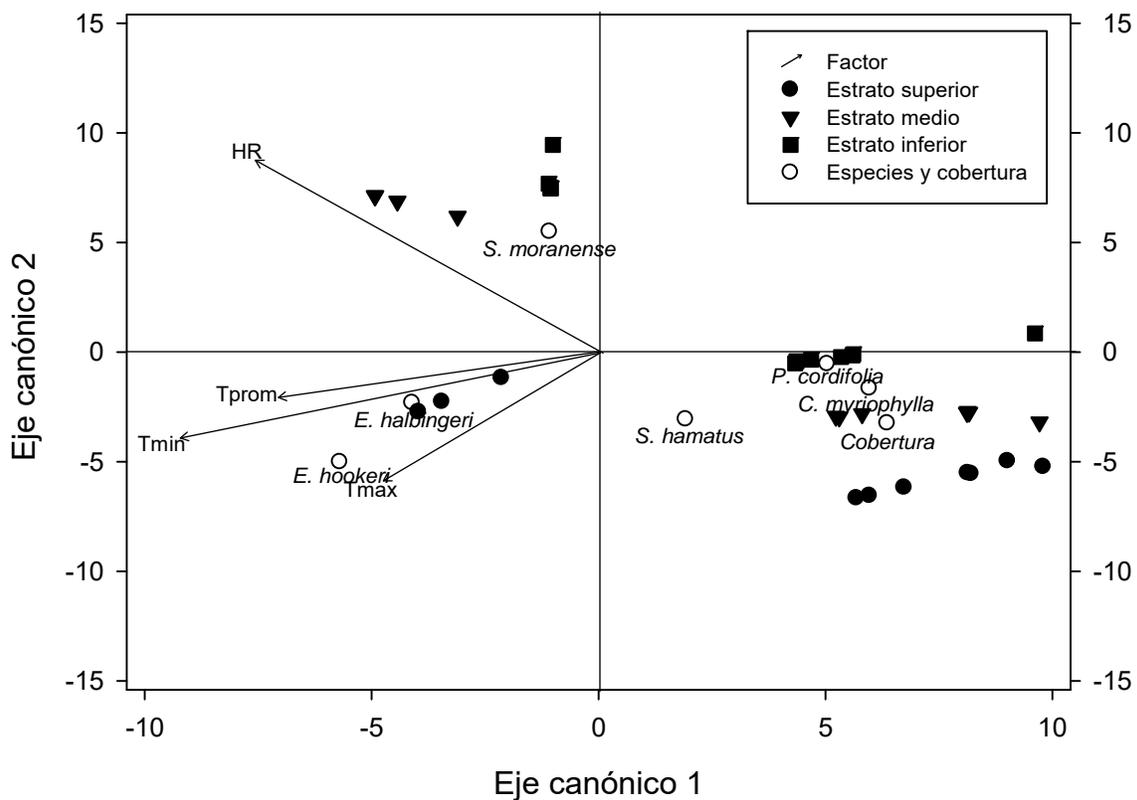


Figura 7. Análisis canónico de correspondencia variables ambientales vs. número de apéndices.

Tabla 7. Valores entre variables ambientales vs. número de apéndices totales en las especies estudiadas.

Factor ambiental	CCA1	CCA2
Tprom	-0.322*	-0.115
Tmáx	-0.216	-0.328*
Tmín	-0.421*	-0.217
HR	-0.346*	0.490*

*Valores entre bases de datos con mayor correlación canónica.

-Talla máxima.

La talla máxima de las seis especies se observó que los factores HR y Tmáx obtuvieron valores de correlación canónica mayores, ambos factores influyeron en la talla máxima. A pesar de que el ES mostró un traslape con la Tprom en el segundo periodo, en el cuarto periodo el EM muestra mayor afinidad con las Tmín y la Tmáx con el ES. Se observó que la talla máxima de *E. halbingeri* dependieron de la HR, y *S. hamatus* de la Tmáx. En el eje canónico 1 se encontró un porcentaje de correlación con el ambiente del 79.67% y una correlación ambiente-especies de 0.659 y en el eje canónico 2 se observó un porcentaje de correlación con el ambiente del 98.86% y una correlación ambiente-especies de 0.412 ($F_{(4, 36)} = 2.9365$, $P = 0.009$), figura 8 y tabla 8.

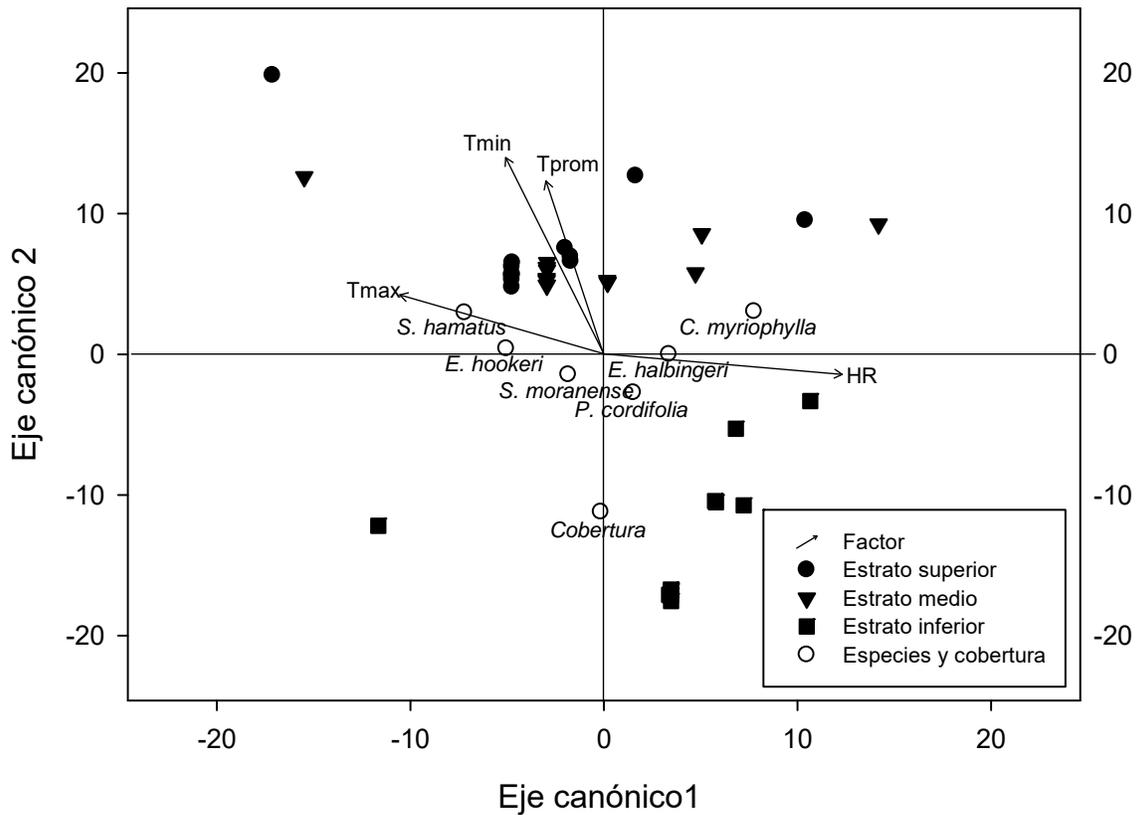


Figura 8. Análisis canónico de correspondencia de factores ambientales vs. talla máxima.

Tabla 8. Valores de coeficientes canónicos para el número de variables ambientales vs. talla máxima en las especies estudiadas.

Factor ambiental	CCA1	CCA2
Tprom	-0.097	0.253*
Tmáx	-0.347*	0.087
Tmín	-0.166	0.286*
HR	0.405*	-0.029

*Valores entre bases de datos con mayor correlación.

6.2.2 Supervivencia en condiciones de invernadero y sistema de naturación de muro.

-Supervivencia en condiciones de invernadero.

Las pteridofitas *C. myriophylla* y *P. cordifolia* presentaron los porcentajes de supervivencia más bajos, con 38 y 61% respectivamente. Una mejor supervivencia se presentó en *E. halbingeri* (Crassulaceae) y *E. hookeri* (Cactaceae) con 90 y 95%, mientras que *S. moranense* (Crassulaceae) y *S. hamatus* (Cactaceae) obtuvieron 100% de supervivencia bajo condiciones de manejo en invernadero durante un periodo de seis meses (tabla 9).

Tabla 9. Probabilidad y porcentajes de supervivencia en condiciones de invernadero de seis especies en un periodo de seis meses.

Especie	Probabilidad de supervivencia	Porcentaje de supervivencia
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	0.38	38%
<i>Pellaea cordifolia</i>	0.61	61%
<i>Sedum moranense</i>	1.00	100%
<i>Echeveria halbingeri</i>	0.90	90%
<i>Selenicereus hamatus</i>	1.00	100%
<i>Epiphyllum hookeri</i>	0.95	95%

-Supervivencia de especies en condiciones de muro.

La especie con menor porcentaje de supervivencia fue *C. myriophylla*, la cual en el primer periodo disminuyó el número de individuos hasta 51.5%. *P. cordifolia* disminuyó hasta 92.9% en el tercer periodo. *S. moranense* se mantuvo con un 100% de supervivencia durante todo el experimento. *E. halbingeri* mostró una supervivencia de 98.9%, *S. hamatus* presentó una supervivencia de 98.9%, y *E. hookeri* se mantuvo con un 100% en sistema de naturación. En todos los casos la

probabilidad de supervivencia a lo largo del tiempo fue descrita por polinomios de segundo orden (fig. 9).

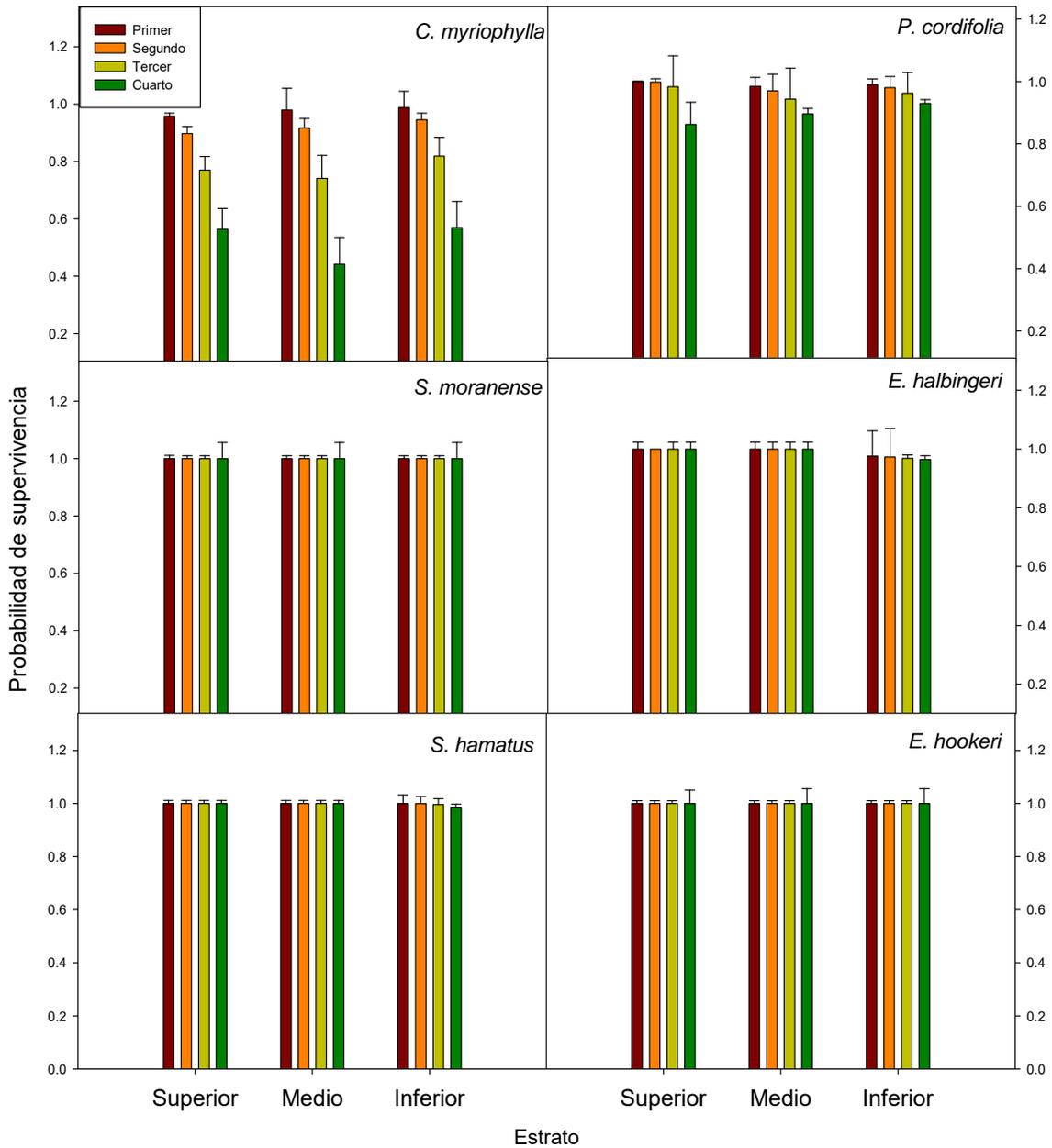


Figura 9. Valores promedio esperados de supervivencia por niveles de estrato en el sistema de naturación a través de los periodos experimentales.

La probabilidad del efecto del estrato en la supervivencia de las seis especies se presentó en la especie *P. cordifolia*. Su supervivencia fue menor en el estrato superior del sistema de naturación, la posición en los estratos no mostró efecto en la supervivencia en el resto de las especies (tabla 10).

Tabla 10. Tabla de probabilidades de χ^2 para comprobación del efecto del factor estrato en sistema de naturación con las especies estudiadas.

Especie	Factor	<i>g. l.</i>	χ^2	$P > \chi^2$
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	Estrato	2	1.0895	0.5800
<i>Pellaea cordifolia</i>	Estrato	2	11.0933	0.0039*
<i>Sedum moranense</i>	Estrato	2	-2.1×10^{-12}	1.0000
<i>Echeveria halbingeri</i>	Estrato	2	2.2190	0.3297
<i>Selenicereus hamatus</i>	Estrato	2	4.4427	0.1085
<i>Epiphyllum hookeri</i>	Estrato	2	0.0192	0.9904

*Probabilidades con significancia $P < 0.05$.

6.2.3 Análisis de cobertura.

El análisis de cobertura se documentó a través de registros fotográficos mensuales, indicando que el EI obtuvo mayor área de cobertura, seguido por el EM, mientras que el ES obtuvo los valores menores. En el segundo y tercer periodo se denotó un aumento en el área de cobertura en el sistema de naturación. Sin embargo, a partir del cuarto periodo se observó una disminución en la cobertura para los tres estratos (fig. 10). Estadísticamente no hubo efecto significativo en el factor ES ($F_{(2, 18)} = 1.23$, $P = 3.003$).

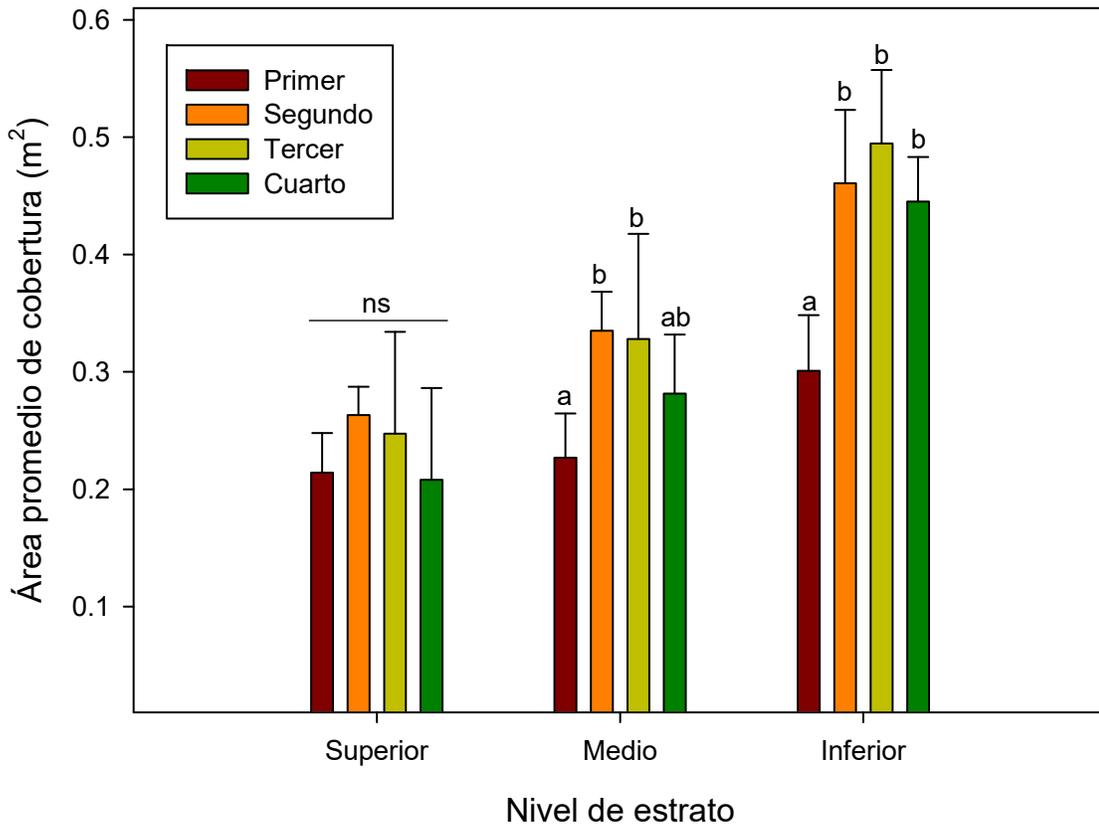


Figura 10. Gráfico de cobertura total (m²) en los tres niveles de estrato en los que se seccionó el sistema de naturación a través de los periodos en los meses de julio (jul) de 2014 a junio (jun) de 2015.

6.2.4 Análisis comparativos de números de meristemos, número total de apéndices y talla máxima.

-Número de meristemos.

Las dos pteridofitas presentaron mayor número de meristemos en el EI. El estrato que se vio más afectado por el cambio de periodos fue en el ES, el cual obtuvo efectos significativos sobre ambas especies. En las dos crasuláceas se presentó mayor producción de meristemos en *E. halbingeri*, con mayor actividad

meristemática en el EM y el tiempo tuvo mayor efecto en la especie. En el caso de *S. moranense* se encontró que en el EI se produjeron más meristemas a lo largo de los cuatro periodos. El factor que tuvo mayor significancia fue la colocación en los bloques del sistema de naturación, por lo cual hubo diferencia entre repeticiones o bloques. Para las cactáceas se presentó un marcado efecto durante el tercer periodo en ambas especies y la tendencia a una mayor producción de meristemas en el EI. En el caso de *S. hamatus* se registró que el tiempo, la ubicación diferenciada en los tres estratos y los tres bloques tuvieron un efecto significativo en el número de meristemas producidos. Mientras que en *E. hookeri* se observó que hay efecto de todos los factores a excepción del bloque de colocación (tabla 11). Dentro de todas las especies quien obtuvo una mayor producción meristemática promedio fue *E. halbingeri* (fig. 11).

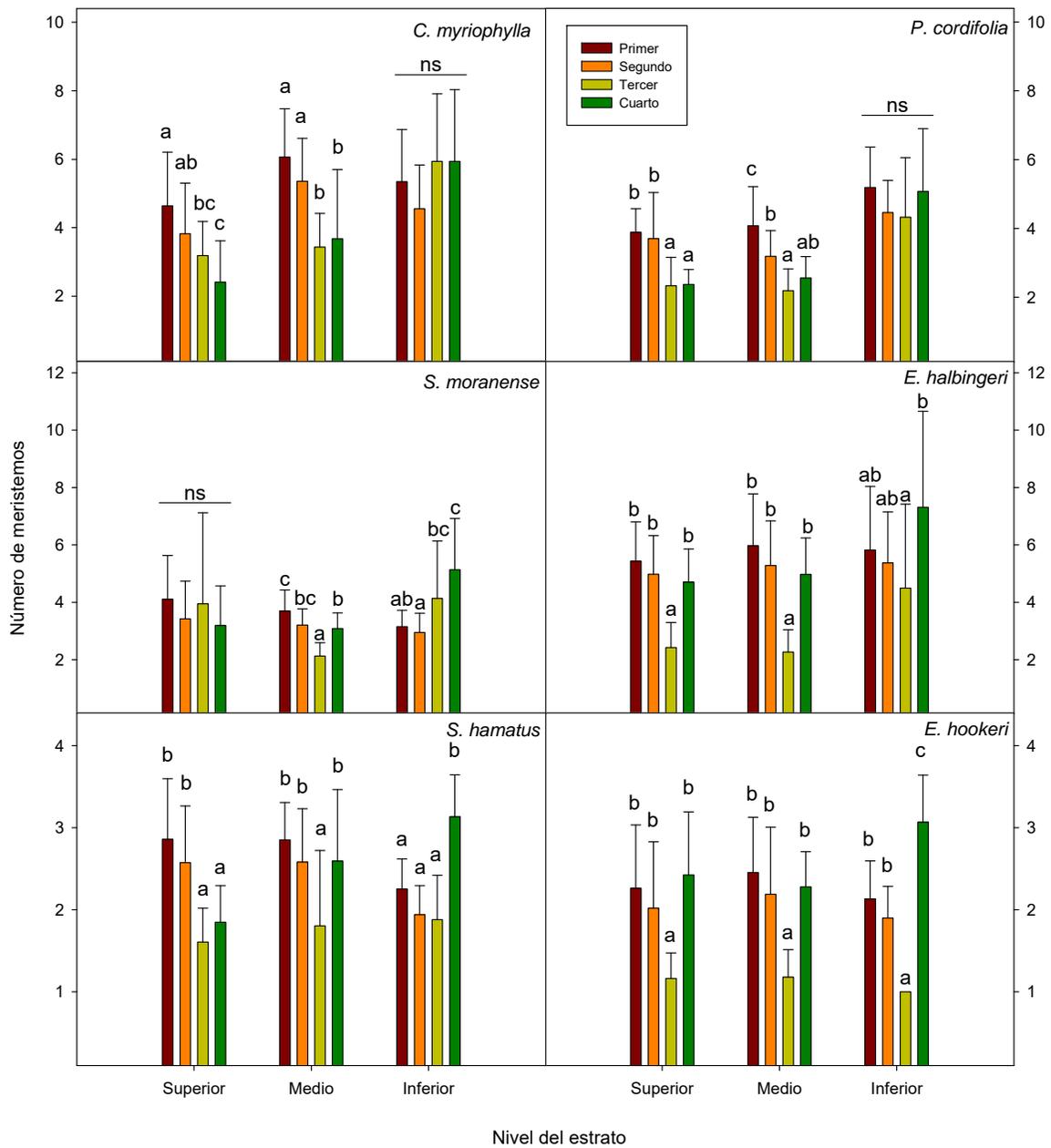


Figura 11. Número de meristemos promedio para las seis especies de estudio en sistema de naturación analizados por niveles de estrato y periodos.

Tabla 11. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para la variable número de meristemos en las especies estudiadas. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	g. l.	Factor	F	P
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	0.0029	0.8379
	2	E	0.0546	0.0005*
	2	B	0.0038	0.5777
	4	BxE	0.0061	0.7796
	3	txB	0.0074	0.5441
	3	txE	0.1118	0.0001*
	4	txBxE	0.0318	0.0599
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	0.0595	0.0009*
	2	E	0.1230	0.0001*
	2	B	0.0547	0.0005*
	4	BxE	0.0800	0.0002*
	3	txB	0.0206	0.1179
	3	txE	0.0571	0.0011*
	4	txBxE	0.0381	0.0286*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	0.0166	0.2043
	2	E	0.0277	0.0219
	2	B	0.1018	0.0001*
	4	BxE	0.0303	0.0786
	3	txB	0.0277	0.0542*
	3	txE	0.0937	0.0001*
	4	txBxE	0.0564	0.0040*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	0.1280	0.0001*
	2	E	0.0194	0.0680
	2	B	0.0017	0.7790
	4	BxE	0.0073	0.7259
	3	txB	0.0165	0.2053
	3	t*E	0.1013	0.0001*
	4	txBxE	0.0526	0.0062*
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	0.1095	0.0001*
	2	E	0.0276	0.0253*
	2	B	0.0453	0.0025*
	4	BxE	0.0455	0.0169*
	3	txB	0.0030	0.8427
	3	t*E	0.0924	0.0001*
	4	txBxE	0.0988	0.0001*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	0.1837	0.0001*
	2	E	0.0283	0.0228*
	2	B	0.0013	0.8323
	4	BxE	0.0519	0.0083*
	3	txB	0.0323	0.0354*
	3	t*E	0.0325	0.0344*
	4	txBxE	0.0569	0.0047*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

-Número de apéndices totales.

En el número de apéndices totales se observó una disminución en el número de hojas de las dos pteridáceas. En *C. myriophylla* la disminución del número de hojas fue paulatina y esta pérdida en los valores iniciales se hizo notoria en el cuarto periodo, se produjo mayor número de hojas en EI y EM. *P. cordifolia* mostró un menor número de hojas y conforme avanzaron los periodos hubo una disminución en el número de hojas que finalmente presentó aumento en el EI. En las dos crasuláceas el tercer periodo tuvo mayor efecto significativo en el número de hojas totales, sin embargo, en la especie *S. moranense* se observó un mayor efecto significativo de todos los factores ambientales, donde el tercer periodo tuvo efecto directo sobre el número de hojas de esta especie y un mayor impacto en el número de hojas en el EI y EM. En *E. halbingeri* también se observaron efectos significativos por efecto del factor tiempo y un aumento en el número de hojas en el EI y EM. Las cactáceas *S. hamatus* y *E. hookeri* mostraron respuesta similar ante el cambio de periodo. Específicamente en el tercer periodo el número de ramas que los ejemplares produjeron disminuyó en ambas especies, sin embargo, *E. hookeri* se vio más afectado durante el tercer periodo que el resto de las especies en el ES. Ambas presentaron un aumento en la producción de hojas al arribo del cuarto periodo (fig. 12 y tabla12) en el EI para ambas especies, cabe denotar la escala en las cactáceas que solo produjeron 3 ramas promedio por periodo, en contraste con las ≈ 125 hojas promedio que produjeron las crasuláceas.

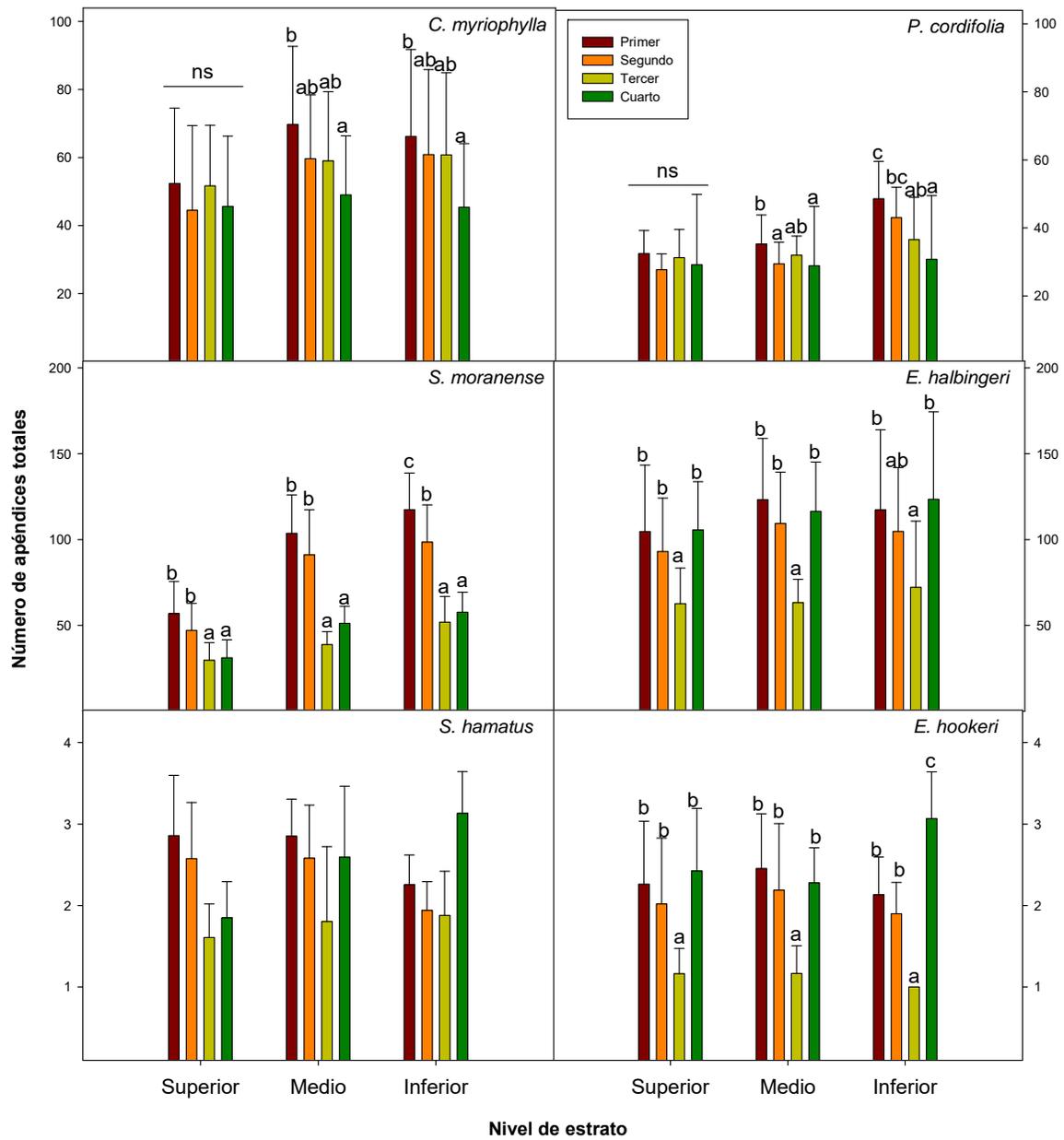


Figura12. Número de apéndices totales promedio para las seis especies de estudio en sistema de naturación analizados por niveles de estrato y periodos en el sistema de naturación.

Tabla 12. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para las especies estudiadas en la variable número de hojas totales. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	<i>g. l.</i>	Factor	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	0.0793	0.0001*
	2	E	0.0277	0.0193*
	2	B	0.0183	0.0731
	4	BxE	0.0169	0.3037
	3	txB	0.0685	0.0003*
	3	txE	0.0309	0.0324*
	4	txBxE	0.0610	0.0018*
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	0.2710	0.0001*
	2	E	0.0441	0.0020*
	2	B	0.0761	0.0001*
	4	BxE	0.1144	0.0001*
	3	txB	0.0972	0.0001*
	3	txE	0.2736	0.0001*
	4	txBxE	0.1790	0.0001*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	1.5073	0.0001*
	2	E	0.3524	0.0001*
	2	B	0.2091	0.0001*
	4	BxE	0.0540	0.0052*
	3	txB	0.0711	0.0003*
	3	txE	0.3125	0.0001*
	4	txBxE	0.0812	0.0002*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	0.4098	0.0001*
	2	E	0.0061	0.4266
	2	B	0.0202	0.0607
	4	BxE	0.0036	0.9069
	3	txB	0.0905	0.0001*
	3	txE	0.0318	0.0332*
	4	txBxE	0.0703	0.0008*
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	0.1095	0.0001*
	2	E	0.0276	0.0253*
	2	B	0.0453	0.0025*
	4	BxE	0.0455	0.0169*
	3	txB	0.0030	0.8427
	3	txE	0.0924	0.0001*
	4	txBxE	0.0988	0.0001*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	0.1837	0.0001*
	2	E	0.0283	0.0228*
	2	B	0.0013	0.8323
	4	BxE	0.0519	0.0083*
	3	txB	0.0323	0.0354*
	3	txE	0.0325	0.0344*
	4	txBxE	0.0569	0.0047*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

- Análisis de talla máxima por especie.

Para la variable de talla máxima se observó que el tiempo tuvo efecto significativo para alcanzar la talla máxima de los individuos, sin embargo, la exposición en los bloques (1, 2 y 3) o los estratos (ES, EM, EI) propiciaron respuestas contrastantes en cada especie. Para la pteridácea *C. myriophylla* se observaron tallas mayores en el EM y EI, y dependió de la interacción con los estratos y los bloques que la especie haya llegado a su talla máxima, mientras que en la pteridácea *P. cordifolia* dependió de manera significativa de los factores tiempo y estrato, esta especie obtuvo los valores más altos de talla en el EI. Para las crasuláceas *S. moranense* y *E. halbingeri* el resultado observado fue similar, las tallas mayores alcanzadas se apreciaron en sitios con menor exposición como lo fue en el EI y EM. En la especie *S. hamatus* las tallas más pequeñas en sus individuos fueron observadas en EI, sin embargo, estas tallas se mantuvieron a través del tiempo y hubo un efecto significativo por el bloque de colocación, mientras que en *E. hookeri* los factores que influyeron significativamente en la especie fueron el tiempo y el estrato, donde el aumento en su talla ocurrió en el EI y ES (fig. 13, tabla 13).

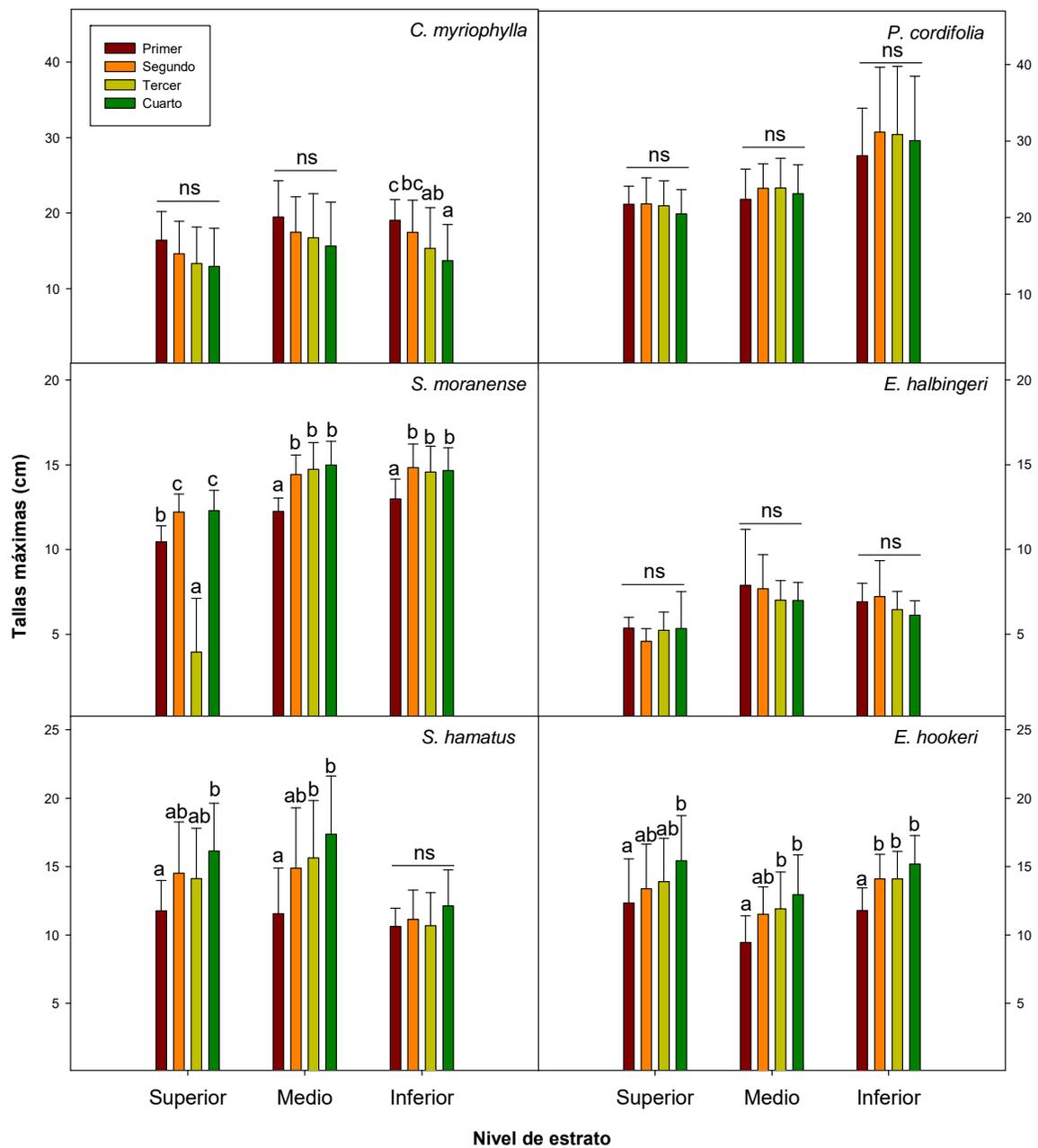


Figura 13. Número de talla máxima promedio para las seis especies de estudio en sistema de naturación analizados por niveles de estrato y periodos en el sistema de naturación.

Tabla 13. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para las especies estudiadas en la variable talla máxima. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	<i>g. l.</i>	Factor	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	0.3176	0.0001*
	2	E	0.0250	0.0963
	2	B	0.0230	0.1159
	4	BxE	0.0487	0.0558
	3	txB	0.1680	0.0001*
	3	txE	0.0780	0.0027*
	4	txBxE	0.0935	0.0019*
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	0.1934	0.0001*
	2	E	0.1149	0.0001*
	2	B	0.0156	0.1074
	4	BxE	0.0175	0.2846
	3	txB	0.1418	0.0001*
	3	txE	0.0645	0.0004*
	4	txBxE	0.1022	0.0001*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	0.2304	0.0001*
	2	E	0.1436	0.0001*
	2	B	0.0056	0.4581
	4	BxE	0.0600	0.0026*
	3	txB	0.0300	0.0412*
	3	txE	0.0357	0.0206*
	4	txBxE	0.1465	0.0001*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	0.0095	0.4507
	2	E	0.0459	0.0019*
	2	B	0.0126	0.1732
	4	BxE	0.0062	0.7814
	3	txB	0.0145	0.2589
	3	txE	0.0073	0.5628
	4	txBxE	0.0271	0.1112
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	0.0163	0.2249
	2	E	0.0187	0.0810
	2	B	0.0591	0.0004*
	4	BxE	0.0190	0.2771
	3	txB	0.0459	0.0071*
	3	txE	0.0760	0.0002*
	4	txBxE	0.0991	0.0001*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	0.1537	0.0001*
	2	E	0.0669	0.0002*
	2	B	0.0088	0.3039
	4	BxE	0.0296	0.0951
	3	txB	0.0347	0.0266*
	3	txE	0.1107	0.0001*
	4	txBxE	0.0968	0.0001*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

6. 2. 5 Tasas Relativas de Crecimiento de las variables biológicas.

-Tasa Relativa de Crecimiento de Cobertura

Los análisis de cobertura obtenidos fotográficamente mediante la TRC promedio de cobertura ($\text{m}^2 \text{m}^2 \text{trimestre}^{-1}$) a través de los periodos demostraron una disminución en la velocidad de producción de cubierta vegetal en el tercer periodo. Por lo que se presentaron diferencias significativas entre periodos ($F_{(2, 36)} = 9.52, P = 0.0002$) (fig. 14).

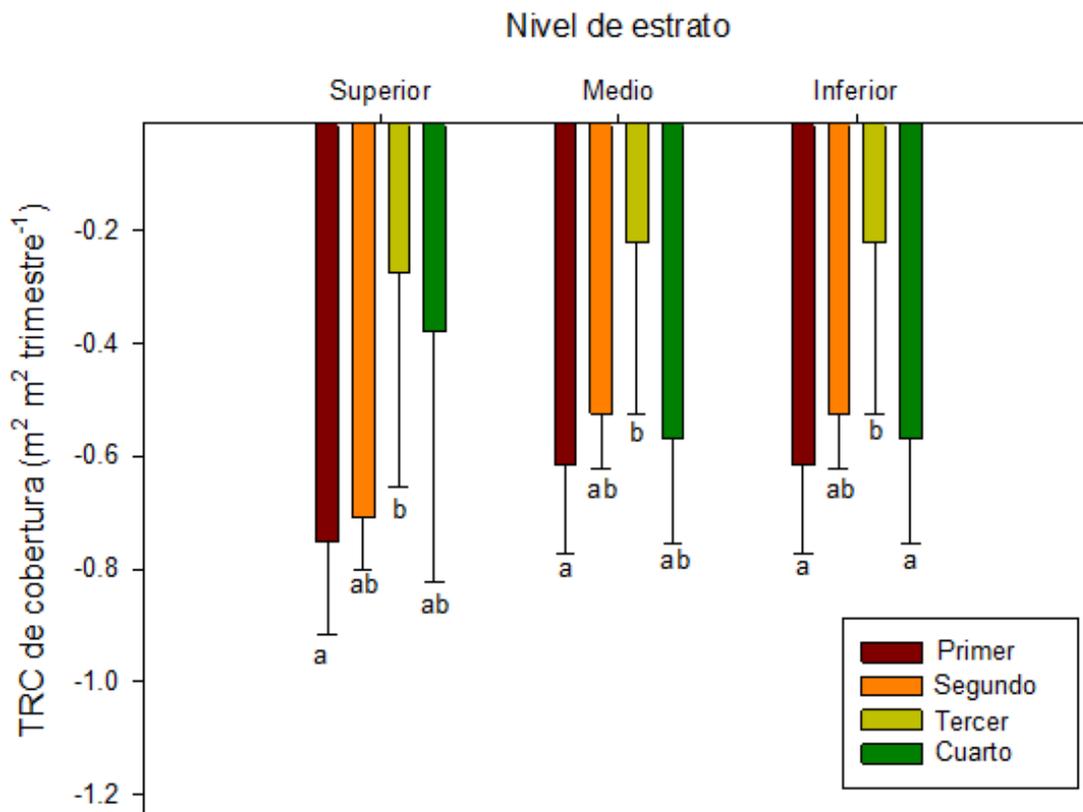


Figura 14. Tasa relativa de crecimiento en la cobertura del sistema de naturación ($\text{m}^2 \text{m}^2 \text{trimestre}^{-1}$).

-Tasa relativa de crecimiento de número de meristemas.

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de los meristemas ($\text{mmo mmo}^{-1} \text{mes}^{-1}$) de las pteridáceas mostraron un decremento en su producción, el efecto observado para esta variable fue mayor en el EI, donde *C. myriophylla* disminuyó su TRC meristemática en el cuarto periodo, el aumento en la aceleración de producción meristemática ocurrió en el cuarto periodo en el EM. En *P. cordifolia* desaceleró su producción meristemática en cuarto periodo solo en el EI y aumentó su producción meristemática en el cuarto periodo en el ES, en ambas especies el efecto con mayor significancia fue el tiempo. Para las crasuláceas hubo disminución en el número de meristemas en el EI. En el tercer periodo y en el ES para *S. moranense* implicó una menor producción de meristemas. Mientras que en *E. halbingeri* disminuyó su producción meristemática en el segundo periodo en el EM. En ambas especies se observó que el EI afectó la producción de meristemas en ambas especies, donde el factor tiempo fue la variable con mayor significancia. En la cactácea *S. hamatus* el periodo de menor producción meristemática fue en el tercer periodo en el ES, mientras que en *E. hookeri* la menor producción meristemática ocurrió en el segundo periodo en el EI, ambas especies aumentaron la TRC del número de meristemas en el cuarto periodo en el ES y los factores con mayor significancia en la TRC de meristemas en *S. hamatus* fueron el tiempo, bloque y estrato. Mientras que en *E. hookeri* el factor con mayor significancia fue el tiempo (fig. 15, tabla 14).

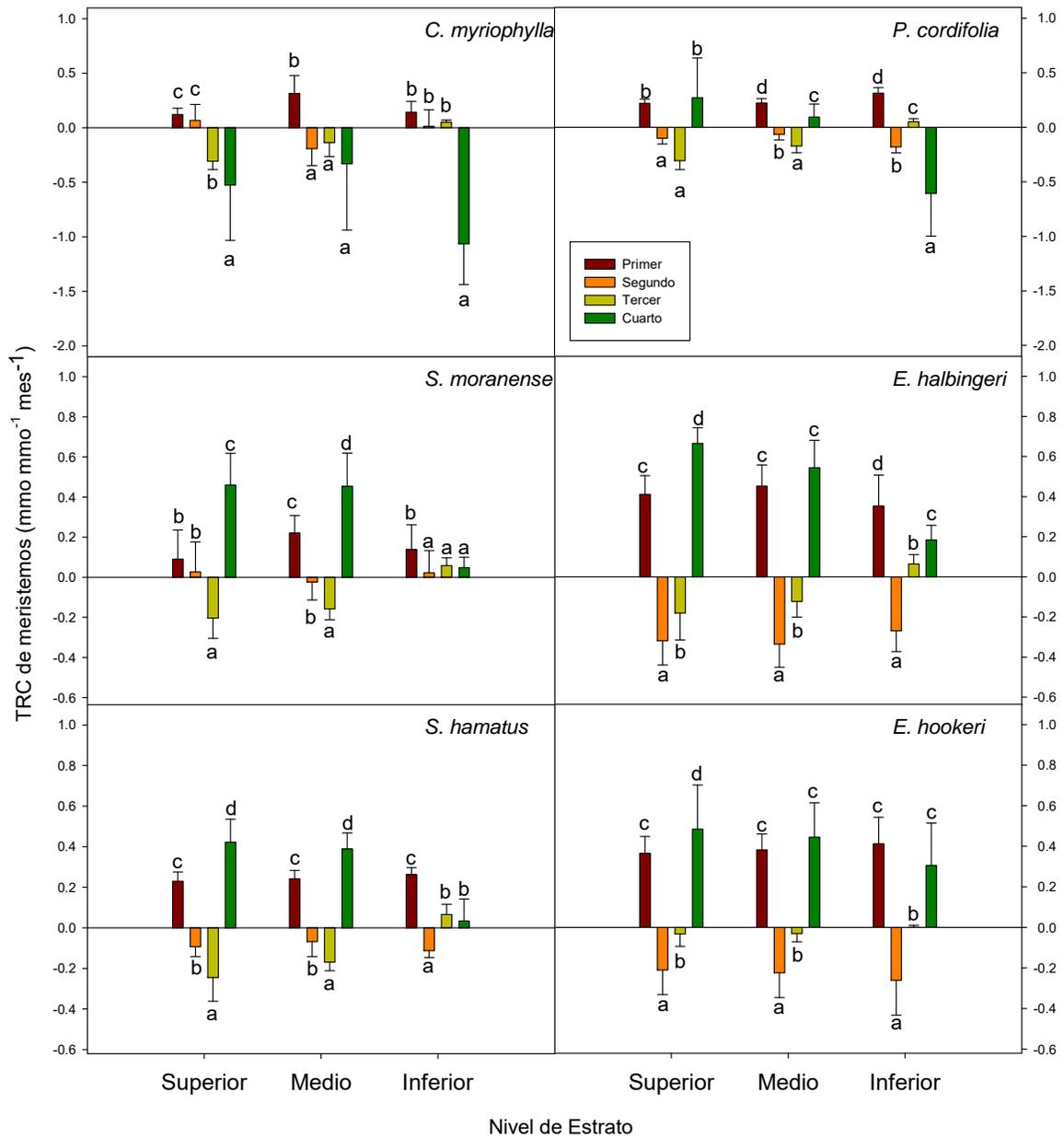


Figura 15. Tasa relativa de crecimiento de meristemos (mmo mmo⁻¹ mes⁻¹) en las seis especies estudiadas.

Tabla 14. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para las especies estudiadas de la variable tasa relativa de crecimiento de meristemos. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	g. l.	Factor	F	P
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	3.3299	0.0001*
	2	E	0.1288	0.0043*
	2	B	0.0097	0.6454
	4	BxE	0.0736	0.1672
	3	txB	0.2162	0.0006*
	3	txE	0.8892	0.0001*
	4	txBxE	0.1675	0.0070*
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	5.1430	0.0001*
	2	E	0.2625	0.0001*
	2	B	0.0173	0.4615
	4	BxE	0.0926	0.0892
	3	txB	0.1864	0.0016*
	3	txE	1.4322	0.0001*
	4	txBxE	0.1648	0.0077*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	4.2886	0.0001*
	2	E	0.0478	0.1309
	2	B	1.3930	0.0001*
	4	BxE	0.1046	0.0674*
	3	txB	2.5423	0.0001*
	3	txE	1.2938	0.0001*
	4	txBxE	0.5611	0.0001*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	5.4469	0.0001*
	2	E	0.2100	0.0002*
	2	B	0.1769	0.0008*
	4	BxE	0.1182	0.0433*
	3	txB	0.3718	0.0001*
	3	txE	1.0344	0.0001*
	4	txBxE	0.2124	0.0020*
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	2.3555	0.0001*
	2	E	0.3376	0.0001*
	2	B	0.3826	0.0001*
	4	BxE	0.3501	0.0001*
	3	txB	0.2163	0.0010*
	3	txE	0.9765	0.0001*
	4	txBxE	0.2583	0.0006*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	8.8609	0.0001*
	2	E	0.0113	0.6228
	2	B	0.0118	0.6100
	4	BxE	0.0573	0.3155
	3	txB	0.2841	0.0001*
	3	txE	0.2155	0.0010*
	4	txBxE	0.3453	0.0001*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

-Tasa relativa de crecimiento de número de apéndices totales.

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de número de apéndices totales ($hvr\ hvr^{-1}\ mes^{-1}$) de las pteridáceas disminuyeron en número en el EI, donde *C. myriophylla* aumentó la TRC de número de hojas ($hvr\ hvr^{-1}\ mes^{-1}$) en el segundo periodo en el EM y ES, en el cuarto periodo, principalmente en EI se presentó disminución. En *P. cordifolia* desaceleró la TRC del número de hojas en el estrato inferior en el primer periodo y disminuyó en el cuarto periodo en todos los estratos, para ambas especies el efecto con mayor significancia fue el tiempo. En las crasuláceas hubo disminución en el número de hojas en el ES, sin embargo, en *S. moranense*, la mayor disminución en el número de hojas fue el segundo periodo en EI y ES. También *E. halbingeri* mostró disminuciones en su número de hojas en el segundo periodo en el EM. En ambas especies se observó que el EI produjo menor número de hojas, donde fue significativo por el factor tiempo y el bloque donde los individuos de cada especie fueron situados. En la cactácea *S. hamatus* la menor producción de ramas fue en el tercer periodo en el ES, mientras que en *E. hookeri* la menor producción de ramas fue durante el segundo periodo en el EI, ambas especies aumentaron la TRC del número de ramas en el cuarto periodo en el ES y los factores con mayor significancia en la TRC del número de ramas en *S. hamatus* fueron el tiempo, bloque y estrato. Mientras que en *E. hookeri* el factor con mayor significancia fue el tiempo (fig. 16, tabla 15).

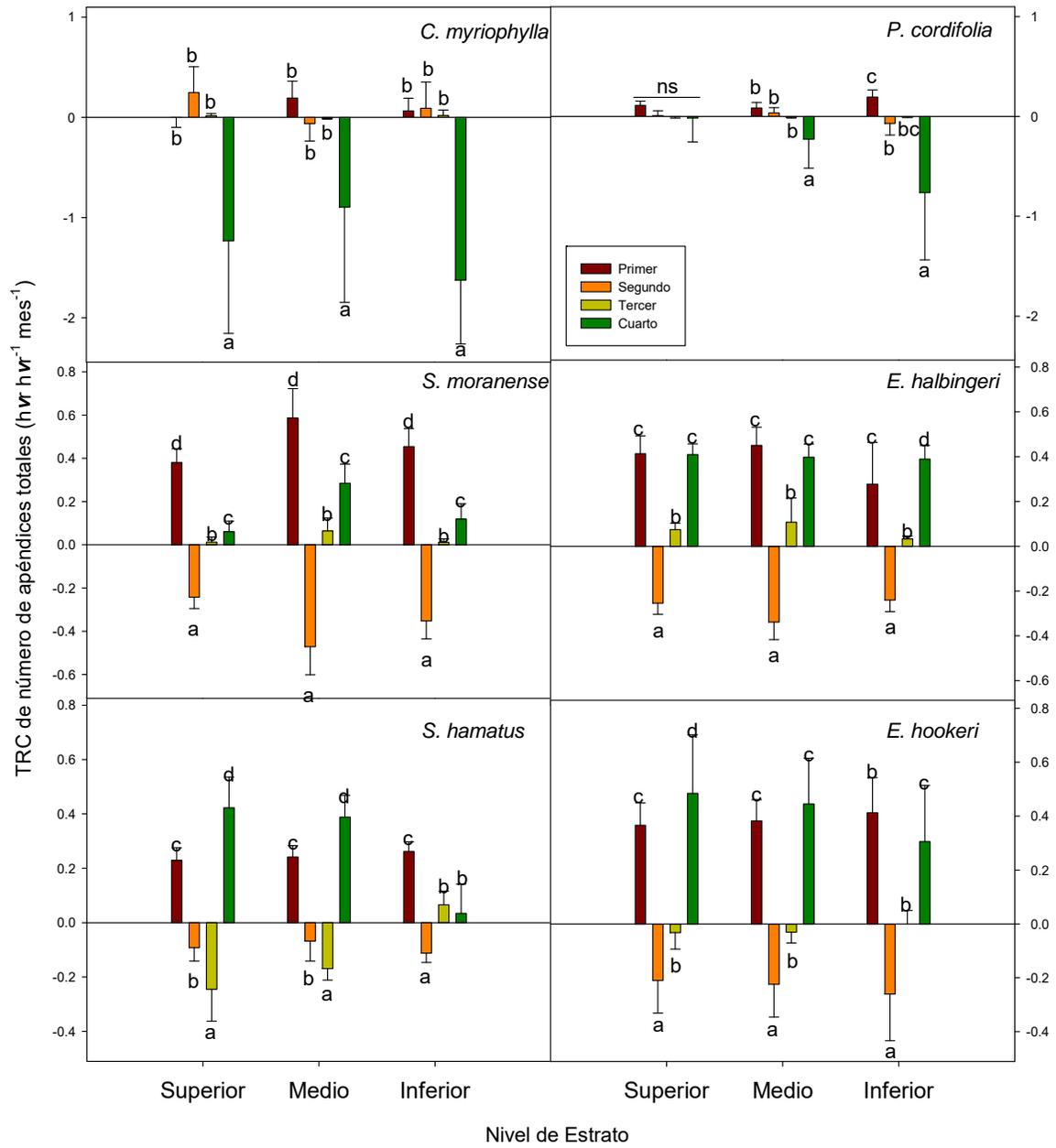


Figura 16. Tasa relativa de crecimiento de apéndices totales ($h\ v\ h\ v^{-1}\ mes^{-1}$) de las seis especies de estudio en sistema de naturación.

Tabla 15. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para las especies estudiadas en la variable tasa relativa de crecimiento de apéndices totales. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	g. l.	Factor	F	P
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	0.7059	0.0001*
	2	E	0.0693	0.0490*
	2	B	0.0024	0.8940
	4	BxE	0.0181	0.8026
	3	txB	0.2721	0.0001*
	3	txE	0.1491	0.0060*
	4	txBxE	0.2479	0.0005*
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	2.8784	0.0001*
	2	E	0.1715	0.0008*
	2	B	0.0013	0.9415
	4	BxE	0.0156	0.8413
	3	txB	0.0218	0.5858
	3	txE	0.8941	0.0001*
	4	txBxE	0.3052	0.0001*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	14.6912	0.0001*
	2	E	0.0099	0.6514
	2	B	0.1152	0.0087*
	4	BxE	0.2914	0.0002*
	3	txB	0.4431	0.0001*
	3	txE	0.2466	0.0003*
	4	txBxE	0.1737	0.0070*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	10.6916	0.0001*
	2	E	0.0238	0.3590
	2	B	0.0898	0.0236*
	4	BxE	0.0482	0.3865*
	3	txB	0.8621	0.0001*
	3	txE	0.1689	0.0037*
	4	txBxE	0.0960	0.0889
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	2.3555	0.0001*
	2	E	0.3376	0.0001*
	2	B	0.3826	0.0001*
	4	BxE	0.3501	0.0001*
	3	txB	0.2163	0.0010*
	3	txE	0.9765	0.0001*
	4	txBxE	0.2583	0.0006*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	8.8609	0.0001*
	2	E	0.0113	0.6228
	2	B	0.0118	0.6100
	4	BxE	0.0573	0.3155
	3	txB	0.2841	0.0001*
	3	txE	0.2155	0.0010*
	4	txBxE	0.3453	0.0001*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

-Tasa relativa de crecimiento de talla máxima.

La Tasa Relativa de Crecimiento (TRC) de talla máxima ($\text{cm cm}^{-1} \text{mes}^{-1}$) de las pteridáceas mostraron un decremento en el EI para *C. myriophylla* y en el ES en *P. cordifolia*. *C. myriophylla* aumentó la TRC de su talla máxima en el tercer periodo en el ES y disminuyó en el segundo periodo en el EI. En *P. cordifolia* desaceleró la TRC la talla máxima de sus hojas en el EI durante el primer periodo y disminuyó en el cuarto periodo en el ES. Hubo efecto significativo en *C. myriophylla* por los factores de tiempo y bloque en el que se situaron los individuos de la especie. Mientras que en *P. cordifolia* hubo efecto significativo de las variables tiempo y estrato de colocación de los individuos. En las crasuláceas hubo disminución en su talla máxima en el ES durante el tercer periodo, sin embargo, en *S. moranense* la mayor disminución en talla máxima fue el primer periodo en el EM y aumentaron sus tallas en el cuarto periodo en el EI. *Echeveria halbingeri* mostró disminuciones en el TRC de su talla máxima durante el primer periodo en el ES, sin embargo, ésta mostró un aumento para el cuarto periodo en el mismo estrato. En *S. moranense* se observaron valores muy significativos de los factores tiempo, bloque y estrato en la variable de talla máxima, mientras que en *E. halbingeri* mostró mayor significancia ante el factor tiempo. En la cactácea *S. hamatus* el periodo de disminución de la TRC de talla máxima ocurrió durante el tercer periodo en el EI y aumentó en el primer periodo en el mismo estrato, mientras que en *E. hookeri* los valores más bajos de talla máxima ocurrieron en el tercer periodo en los tres estratos (EI, EM y ES) y alcanzó su talla máxima para el cuarto periodo de manera similar en los tres estratos, ambas especies aumentaron la TRC de talla máxima en el cuarto periodo, teniendo al tiempo como factor con mayor significancia (fig. 17, tabla 16).

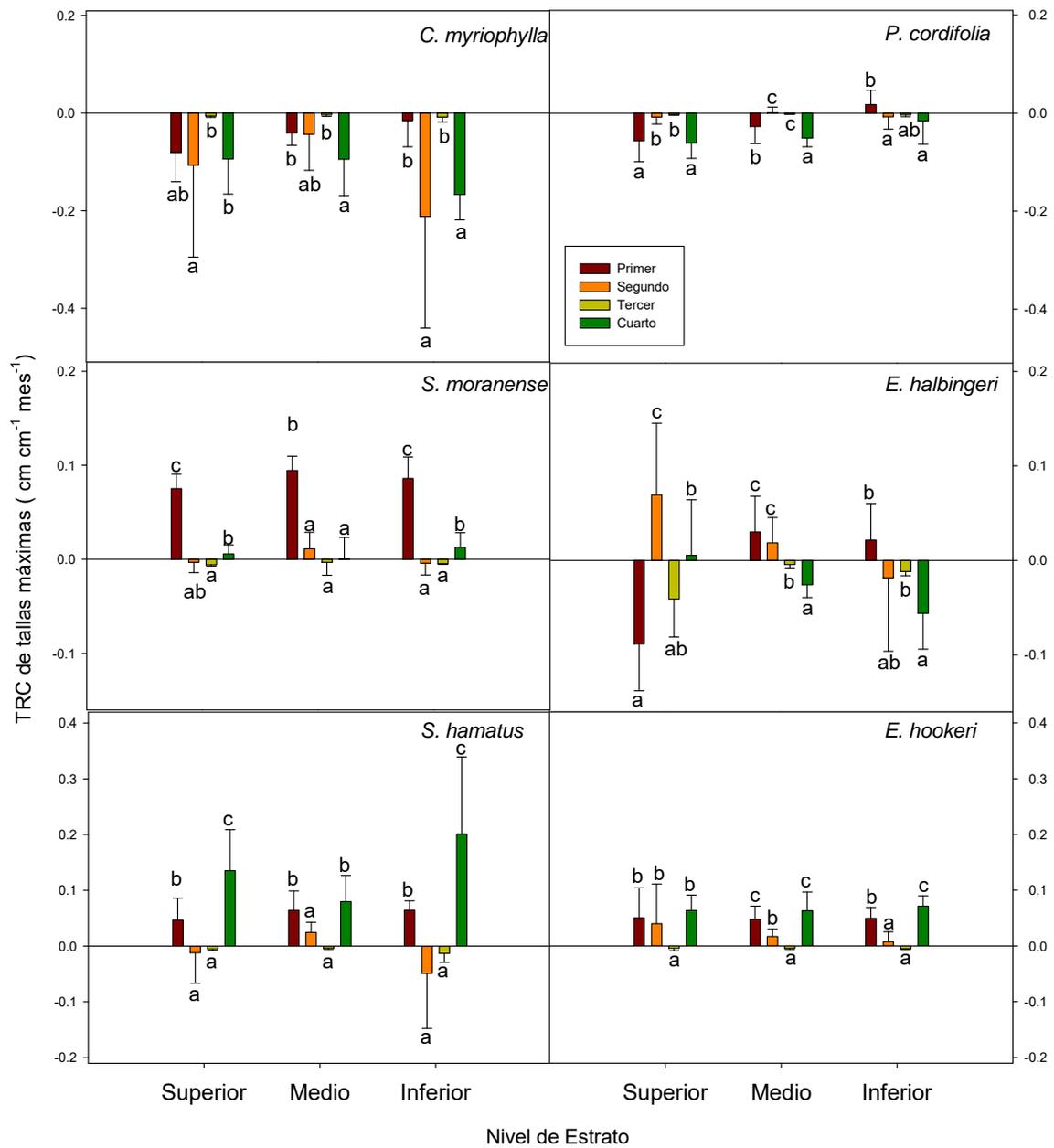


Figura 17. Tasa relativa de crecimiento de talla máxima (cm cm⁻¹ mes⁻¹) de las seis especies de estudio en sistema de naturación.

Tabla 16. ANDEVA múltiple de medidas repetidas para las especies estudiadas en la variable tasa relativa de crecimiento de talla máxima. t= tiempo; E= estrato; B= bloque. La significancia de las interacciones t*E, t*B y t*B*E fueron tomadas del valor de un análisis de Roy's Max Root.

Especie	g. l.	Factor	F	P
<i>Cheilanthes myriophylla</i>	3	t	1.2867	0.0001*
	2	E	0.2079	0.0002*
	2	B	0.0235	0.0001*
	4	BxE	0.1957	0.0027*
	3	txB	0.3115	0.0001*
	3	txE	0.5113	0.0001*
	4	txBxE	0.4176	0.0001*
<i>Pellaea cordifolia</i>	3	t	0.2917	0.0001*
	2	E	0.2695	0.0001*
	2	B	0.0024	0.8951
	4	BxE	0.1543	0.0110*
	3	txB	0.1501	0.0058*
	3	txE	0.3357	0.0001*
	4	txBxE	0.2110	0.0016*
<i>Sedum moranense</i>	3	t	1.5043	0.0001*
	2	E	0.4102	0.0001*
	2	B	0.6517	0.0001*
	4	BxE	0.5162	0.0001*
	3	txB	0.5888	0.0001*
	3	txE	0.2460	0.0003*
	4	txBxE	0.3608	0.0001*
<i>Echeveria halbingeri</i>	3	t	0.1682	0.0040*
	2	E	0.0769	0.0398*
	2	B	0.0723	0.0480*
	4	BxE	0.1644	0.0095*
	3	txB	0.1509	0.0069*
	3	txE	1.1814	0.0001*
	4	txBxE	0.4504	0.0001*
<i>Selenicereus hamatus</i>	3	t	0.9912	0.0001*
	2	E	0.0732	0.0513
	2	B	0.0049	0.8126
	4	BxE	0.1896	0.0052*
	3	txB	0.0937	0.0580
	3	txE	0.4189	0.0001*
	4	txBxE	1.3587	0.0001*
<i>Epiphyllum hookeri</i>	3	t	1.1431	0.0001*
	2	E	0.0329	0.2563
	2	B	0.0055	0.7937
	4	BxE	0.0304	0.6360
	3	txB	0.4865	0.0001*
	3	txE	0.3974	0.0001*
	4	txBxE	0.6092	0.0001*

* Nivel de significancia $P < 0.05$

6.3 Identificación de fauna: Plagas y visitantes.

-Plagas: Se consideraron plagas a aquellos animales que demostraron daño físico (mordedura, fisura o raedura) a los individuos de estudio en el sistema de naturación (ver tabla 17).

Tabla 17. Animales identificados como plagas en el sistema de naturación.

Clasificación	Nombre común	Nivel de impacto	Reporte de daños
Familia: Armadillidiidae <i>Armadillidium vulgare</i>	“Cochinilla”, “cochinilla de la humedad”, “woodlice”.	Bajo	<i>E. halbingeri</i> , hembra con madriguera hecha debajo de las hojas de la planta. Presencia abundante en temporada de lluvias.
Familia: Cicadellidae	“Salta hojas o mosquito verde”	Bajo	Hemípteros que causan daño en hojas. Succionadores de savia propiciando involucramiento de las hojas en <i>P. cordifolia</i> y desecación de las mismas. Adultos presentes en el primer periodo.
Familia: Helicidae <i>Helix aspersa</i>	“Babosa”, “tlaconete”	Alto	Proclive a herbivoría de suculentas principalmente de brotes como <i>S. moranense</i> , <i>E. halbingeri</i> , <i>S. hamatus</i> y <i>E. hookeri</i> . Presencia de abundantes individuos en horarios matutinos y crepusculares en el estrato medio y alto del muro.
Familia: Anyphaenidae <i>Hibana</i> sp.	“Araña fantasma”	Bajo	Daño en folíolos de <i>P. cordifolia</i> , hembra y macho con sacos de huevecillos insertos en folíolo plegado con seda. Se alimenta de plantas ricas en néctar, abundantes en el primer y segundo periodo durante las lluvias.
Familia: Noctuidae Geometridae Hesperiidae	“Larvas”	Alto	Herbivoría en hojas y ramas de <i>P. cordifolia</i> , <i>S. moranense</i> , <i>S. hamatus</i> y <i>E. hookeri</i> en segundo y tercer periodo.
Familia: Sciridae <i>Otospermophilus variegatus</i>	“Ardillón”, “ardillón de roca”	Medio	Especies suculentas inermes, <i>S. moranense</i> , <i>E. halbingeri</i> , y <i>E. hookeri</i> . Presencia de dos individuos en el primer, tercer y cuarto periodo.

-Visitantes: Se le consideró como visitante a todo animal que posara, perchara o se acercara al sistema de naturación sin causar algún tipo de daño físico a los individuos (ver tabla 18).

Tabla 18. Animales identificados como visitantes en el sistema de naturación.

Clasificación	Nombre común	Frecuencia de visita	Reporte de presencia
Familia: Geometridae <i>Heterusia</i> sp.	"Mariposa"	Bajo	Lepidóptero diurno, visitante en la temporada del tercer y cuarto periodo. Presente en zonas de mayor humedad en el sistema de naturación y posando en las plantas. Principalmente en helechos y cactáceas.
Familia: Sphingidae <i>Agreus singulata</i>	"Polilla"	Bajo	Lepidóptero nocturno, visitante en la segunda temporada. Posando detrás de la cobertura de <i>P. cordifolia</i> en el sistema de naturación.
Familia: Noctuidae <i>Trichestra bicatenata</i>	"Polilla"	Bajo	Lepidóptero nocturno, visitante en el segundo periodo. Posando detrás de la cobertura de <i>C. myriophylla</i> en el sistema de naturación.
Familia: Formicidae	"Hormiga negra"	Medio	Himenóptero colonial, se alimenta de porciones pequeñas de las hojas de las plantas, son de actividad diurna y vespertina. Presencia de varios individuos trasladando pedazos pequeños de folíolos de <i>P. cordifolia</i> en el segundo, tercer y cuarto periodo.
Familia: Sclerosomatidae	"Araña pastora o cosechador"	Bajo	Arácnido gregario, epígeo, se alimenta de restos de insectos, caracoles y babosas. Actividad vespertina. Presencia de un individuo en el segundo periodo, aproximadamente a medio día sobre el geotextil del sistema de naturación.
Familia: Sclerosomatidae <i>Leiobunum</i> sp.	"Araña colectora"	Bajo	Viven en grupos, perchan y se alimentan de restos de insectos. Tienen mayor actividad por las noches y evaden depredadores. Presencia de un individuo en el segundo periodo durante horario de crepúsculo.
Familia: Salticidae	"Araña saltarina o saltícido"	Alto	Araña solitaria, presente en cortezas, follaje. Se alimenta de insectos vivos. Actividad diurna. Familia más abundante de arácnidos en el sistema de naturación durante la temporada húmeda. Sobre el geotextil del sistema de naturación y algunas veces asociado a la especie <i>E. halbingeri</i> , <i>S. hamatus</i> y <i>E. hookeri</i> .
Familia: Tetragnathidae	"Araña tejedora"	Medio	Arañas solitarias, tejen telarañas con patrón radial, tienden a ser depredadores periódicos cuando las presas caen en la telaraña. Utilizaron el follaje como soporte para el tendido de la telaraña en temporada húmeda. Presentes en ambas especies de pteridáceas.
Familia: Theridiidae	"Araña tejedora"	Bajo	Arañas solitarias, se alimentan de presas en la telaraña. Presentes a finales de del segundo periodo. Poco abundantes, presentes en la temporada húmeda. Presentes en la especie <i>P. cordifolia</i> .

7. DISCUSIÓN.

En la Ciudad de México se han incorporado con mayor frecuencia los sistemas de naturación, principalmente en espacios públicos (p. ej. Sistemas de transporte colectivo Metrobus) y privados (p. ej. Universidad del Claustro de Sor Juana) donde ha sido incipiente la utilización de los elementos propuestos por Loh (2008) y señalados en los antecedentes de esta tesis. Para entender la dinámica en conjunto de las seis especies estudiadas, fue necesario abordar el efecto de cinco factores ambientales y la respuesta de cuatro variables biológicas que nos permitieron reconocer el desempeño de las especies en un sistema de naturación, como se señala a continuación.

7.1 Factores ambientales

Respecto a los factores ambientales analizados en el sistema de naturación de T° y HR contrastados con los valores reportados por el meteorológico local, indicaron que no hubo modificaciones entre los valores máximos y mínimos de T° y HR a través del periodo experimental. Por lo que las dimensiones del sistema de naturación no evidenciaron modificaciones en las condiciones ambientales de la zona donde se efectuó la instalación. Por otra parte, la variación promedio registrada en el sistema de naturación fue de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ entre el estrato superior (ES) y el inferior (EI). Así mismo, la HR varió en promedio 8% entre el ES y el EI (fig. 1), sin embargo, estas variaciones fueron cruciales para algunas de las especies.

En este tipo de sistemas, el suministro de nutrientes forma parte importante para el mantenimiento de las especies vegetales (Jim, 2015), pero la información sobre el

manejo de las cantidades y la periodicidad de aplicación de nutrientes en los sistemas de naturación vertical aún no han sido abordados. La aplicación de nutrientes (N, P, K) se realizó de forma regular, excepto en el tercer periodo por tratarse de la fase de latencia meristemática. Brentrup *et al.* (2001; 2004) recomiendan suspender la aplicación de nutrientes cuando la temperatura disminuye, ya que existe una disminución en el aprovechamiento de los nutrientes y el crecimiento de las plantas disminuye. Desconocemos las implicaciones de la pérdida de nutrientes en el sistema aquí evaluado, por lo cual es recomendable estudiar la interacción sistema de naturación-nutriente-planta. Por su parte, Jim (2015) recomendó que adicionalmente se realice el drenado de agua en el sistema de riego y aumentar progresivamente las cantidades de nutrientes. Estas recomendaciones se realizaron parcialmente en el sistema de naturación, ya que el pH tendió hacia lo básico (tabla 5), y para evitar cambios severos se aplicó carbón vegetal. La aplicación de carbón vegetal es recomendable en estos sistemas para evitar afectaciones en el desempeño fisiológico, como fue detectado en *Pinus greggii* donde la acidez en el sustrato causó un efecto negativo manifestándose como clorosis (López-Upton *et al.*, 2000).

Nuestros resultados fueron congruentes con las sugerencias de Catita *et al.* (2014) y Jim (2015), respecto al conocimiento de la orientación, ángulo y exposición de la superficie para efectuar la naturación, ya que cambia la incidencia de luz a través del año e influyó en el desarrollo de las especies como restricción en la talla para las cactáceas en el bloque tres donde había poca incidencia de luz directa, restricción en pteridáceas y crasuláceas por sobreexposición. En este sentido son

escasos los trabajos enfocados a conocer la importancia del factor luz sobre el desarrollo de las especies en condiciones de naturación, como los realizados por Pérez *et al.* (2011; 2011). Las condiciones de muro naturado del estudio no fueron homogéneas a lo largo del año (tabla 6), por lo que aquí se sugiere realizar estudios que permitan conocer el tiempo de insolación en el establecimiento y desarrollo de las especies ya que las condiciones de insolación variaron de 0.5 – 3.0 h en muro naturado, mientras que el meteorológico de Ciudad Universitaria reportó de 3 -10 h, donde las repercusiones a mediano plazo por este factor pudieron ser disminución de las TRC de las pteridáceas, provocando aumento en sus tasas de evapotranspiración, menor tasa fotosintética y como consecuencia, menor supervivencia de individuos. En cambio, para crasuláceas y cactáceas la mejoría de las condiciones lumínicas pudieron favorecer el aumento de esta variable y por su tipo de fotosíntesis (CAM) resistir periodos prolongados de insolación de los individuos.

7.2 Respuesta biológica en sistema de naturación

-Análisis exploratorios.

Los análisis exploratorios para evaluar el número de meristemas, el número de apéndices, así como la talla máxima indicaron que la respuesta fue diferencial entre especies. La heterogeneidad de cobertura a través del año fue dependiente de los factores ambientales. Por ejemplo, las dos especies de cactáceas mostraron mayor actividad meristemática en el cuarto periodo donde prevalecieron temperaturas altas, mayor HR, menor concentración de nutrientes, condiciones de pH básico (8.2) y mayor tiempo de insolación, mientras que el resto de las especies lo hicieron entre

el primer y segundo periodo donde las condiciones de temperatura y HR, las concentraciones de nutrientes y condiciones de luz (1 - 2 h por día) se mantuvieron en niveles intermedios con un pH cercano al neutro. El mayor número de hojas producidas por *E. halbingeri* fue en el primer periodo, mientras que las especies restantes produjeron sus apéndices en el segundo periodo. Por su parte la talla máxima fue diferente entre especies; por ejemplo, en el primer y segundo periodo para *C. myriophylla*, segundo y tercer periodo para *P. cordifolia*, tercer periodo para *E. hookeri* y del tercer al cuarto periodo para *S. hamatus*.

Las tres variables de respuesta analizadas (número de meristemos, apéndices y talla máxima) mostraron relación con los factores ambientales. Por ejemplo, la producción de meristemos en *E. halbingeri* estuvo asociada con la humedad relativa y la temperatura mínima. El número de hojas en *S. moranense* se relacionó más con la HR y con la temperatura máxima en *E. halbingeri*, mientras que la talla máxima de *E. halbingeri* se correlacionó con la HR y la temperatura máxima con la cobertura total del muro. Los factores ambientales en condiciones de naturación permitieron la permanencia de los individuos de cuatro especies (*S. moranense*, *E. halbingeri*, *S. hamatus* y *E. hookeri*) por lo que se pueden considerar como especies de resistencia a condiciones de exterior (fig. 6, 7 y 8).

-Análisis comparativos.

Los ANDEVA mostraron que existe un comportamiento diferencial entre estratos, donde cinco especies produjeron mayor cantidad de meristemos en EI, con excepción de *E. halbingeri* quien lo hizo en el EM. Respecto a los periodos se encontró que para las dos especies de Crassulaceae presentaron mayor número de

meristemas en el primer periodo y disminuyó hacia el tercer periodo. Las dos especies de Cactaceae presentaron mayor producción meristemática en el cuarto periodo y disminuyó durante el tercer periodo. Por su parte las dos especies de Pteridaceae tendieron a una disminución en el número de meristemas continuamente. Por lo tanto, el número de meristemas se vio afectado por los estratos y por los periodos de manera distinta en las tres familias.

Respecto al número de apéndices totales producidos en las tres familias se encontró que en el EI se produjo un mayor número, excepto para *C. myriophylla* y *E. halbingeri* quienes lo hicieron en el EM. Por otra parte, en el primer periodo aumentó el número de apéndices en los taxa estudiados, con excepción de las especies de Cactaceae que generaron mayor número de ramas en el cuarto periodo. De forma consistente en el tercer periodo se perdieron apéndices en todas las especies.

Por su parte la talla máxima registrada ocurrió entre el EI o entre EM/EI, pero no entre periodos. Sin embargo, al comparar la talla máxima de las seis especies se encontró que en las dos Pteridaceae fueron mayores.

Para cinco especies estudiadas existen dos periodos de formación de meristemas. Es decir que la Tasa Relativa de crecimiento (TRC) aumenta entre el primer y cuarto periodo, y decae entre segundo y tercer periodo. Sin embargo, en *C. myriophylla* disminuyó la TRC de meristemas conforme transcurrió el tiempo y no mostró un periodo de recuperación. Respecto a la TRC de número de apéndices, los resultados mostraron que en Pteridáceas decaen inicialmente en el tercer periodo y se abaten en el cuarto periodo sin mostrar recuperación. Para las especies de Crassulaceae y Cactaceae la pérdida de apéndices ocurrió entre el segundo y tercer

periodo, mientras que su recuperación fue evidente entre el primer y cuarto periodo. En la TRC de talla máxima la tendencia general de las especies fue mantener la talla máxima de sus individuos durante el primer periodo. Este análisis demostró que existieron variaciones específicas entre estratos y periodos, como se observa entre las dos especies de Cactaceae y Crassulaceae. Nuevamente *C. myriophylla* mostró una tendencia a la disminución de sus tallas a partir del segundo periodo.

-Supervivencia y cobertura en el muro naturado.

En condiciones de muro naturado la supervivencia de las dos especies de Pteridaceae fue menor, mientras que en Crassulaceae y Cactaceae fueron mayores a 90%. Si bien las condiciones fueron homogéneas respecto a los factores ambientales (sustrato, riego, nutrientes y luz) para todas las especies, las proporciones de supervivencia indicaron que las Pteridaceae son más susceptibles. Por otra parte, el análisis de cobertura y su TRC demostraron que las seis especies evaluadas se vieron afectadas por los cambios en los factores ambientales (p. ej. los cambios de temperatura y de humedad relativa) a través de los periodos. En el tercer periodo se registró un decremento en el área de cubierta vegetal y se recuperó en el cuarto periodo. En la composición de especies utilizada se encontró que la pérdida de cobertura se debió principalmente a la alta mortalidad y como consecuencia la disminución del follaje de las Pteridaceae (ambas consideradas especies perennes), mientras que las Crassulaceae y Cactaceae contribuyeron a mantener el área de cobertura en el sistema naturado. De acuerdo con la propuesta de Jim (2015) de sistemas naturados, la cobertura fue baja (<50%) y se mantuvo constante debido a la condición perenne de las familias Crassulaceae y Cactaceae.

En consecuencia, el sistema de naturación fue semideciduo y es congruente con las condiciones climáticas del sitio y donde se llevó a cabo el montaje del sistema de naturación (lluvias durante el primer periodo, bajas temperaturas en el tercer periodo y estiaje durante el tercer y cuarto periodos). Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda que los sistemas de naturación en la Ciudad de México contemplen la condición semidecidua si queremos hacer un uso más eficiente de los recursos naturales y materiales.

8. CONCLUSIONES.

El presente estudio permitió reconocer que de las seis especies evaluadas (Pteridaceae: *Cheilanthes myriophylla*, *Pellaea cordifolia*; Crassulaceae: *Sedum moranense*, *Echeveria halbingeri*; Cactaceae: *Selenicereus hamatus* y *Epiphyllum hookeri*) las cuatro últimas demostraron mejor desempeño ante los factores ambientales y en los cuatro periodos.

Se reconoció que hubo un efecto diferencial de los factores ambientales analizados (T°, HR e insolación) sobre las especies evaluadas. Donde las pteridáceas fueron más susceptibles a mayor insolación, T°, y baja HR. Por lo tanto, el uso de estas especies en naturación deberá controlar la variación de estos factores y las especies de crasuláceas y cactáceas son más recomendables en sistemas de naturación abierto.

El sistema de naturación empleado comercialmente (fieltro, modular y recirculación de agua) fue el adecuado para la mayoría de las plantas estudiadas. La estructura no generó daños secundarios en el muro donde se colocó, sin embargo, la estructura requiere de mantenimiento constante, incluyendo, suministro agua, energía eléctrica, instalaciones hidráulicas y remoción de residuos.

El estudio realizado fue una propuesta pionera para el aprovechamiento, propagación, cultivo y análisis funcional de especies nativas del Centro de México en un sistema de naturación de muros comercial, por lo que es necesario continuar indagando sobre las especies, materiales utilizados y factores a los que está sujeto.

9. LITERATURA CITADA

Bandaranayake, S. 1993. Cap. 1. Among Asia's earliest surviving gardens: The Royal and the Monastic Gardens at Sigiriya and Anuradhapura. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 3-36.

Becerra-Zavaleta, J. 2012. La biodiversidad de México es también la roca, la nieve y la arena. AgroEntorno. Fundación Produce Veracruz. Ed. Octubre-Noviembre 2012. Xalapa, Veracruz. pp. 75-77.

Bhagwat, P. B. 1993. Gardens of India. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. Pp. 54-62.

Blanc, P. 2011. The vertical garden: From Nature to the City. Revised and Updated. W. W. Norton & Company, Inc., New York, E. U. A.

Bolaños-Silva, T. y Moscoso-Hurtado, A. 2011. Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia. No. 10, Vol. 5, Año 5: 5-20.

Bravo-Hollis, H. 1978. Las cactáceas de México. 2ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. pp. 743.

Bray, D. B., L. Merino-Pérez y D. Barry. 2005. The Community Forests of Mexico: Managing for sustainable landscapes. University of Texas Press. USA, Austin. pp. 3-26.

Brenneisen, S. 2006. Space for urban wildlife: Designing green roofs as habitats in Switzerland. Urban habitats. Vol. 4, No. 1, pp. 27-33.

Brentrup, F., J. Küsters, H. Kuhlmann y J. Lammel. 2001. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. European Journal of Agronomy. No. 14, pp. 221-233.

Brentrup, F., J. Küsters, J. Lammel, P. Barraclough y H. Kuhlmann. 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. Europ. J. Agronomy. No. 20, pp. 265-279.

Briz, J. 1999. Evaluación del bienestar urbano mediante la naturación. En J. Briz Ed., Naturación urbana: Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental (pp. 65-80). España: Mundi-Prensa, Madrid.

Brzuszek, R. F., R. L. Harkes y S. J. Mulley. 2007. Landscape Architects' Use of Native Plants in the Southeastern United States. HortTechnology. No. 17 (1).

Camarena, P. 2010. Xerojardinería: Guía para el diseño de los Jardines de Ciudad Universitaria. Secretaría Ejecutiva REPSA, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.

Cameron, R. W. F., J. E. Taylor y M. R. Emmett. 2014. What's 'cool' in the world of Green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. Building and Environment. Vol. 73. pp. 198-207.

Castillo-Argüero, S., Y. Martínez-Orea, M. A. Romero-Romero, P. Guadarrama-Chávez, O. Núñez-Castillo, I. Sánchez-Galén y J. A. Meave. 2007. La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel: Aspectos florísticos y ecológicos. Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel de Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. p. 294.

Castillo-Martínez, F. A. 2014. Hidrosiembra para la naturación vertical de zonas urbanas. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.

Catita, C., P. Redweik, J. Pereira y M. C. Brito. 2014. Extending solar potential analysis in buildings to vertical façades. Comput. Geosci. No. 66. pp. 1-12.

Daneshdoust. 1993. Islamic Gardens in Iran. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 44-53.

De-Araujo, I. A. 1993. The origin of the Patios and Gardens of the Islamic Period in Spain and Portugal. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 63-70.

DGCS, 2015. http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_395.html Última fecha de acceso: 3 de enero de 2017.

García-Albarado, J. C. y N. Dunnett. 2009. Percepción del público hacia plantaciones de herbáceas ornamentales. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México, México. Revista Chapingo Serie Horticultura, Vol. 15, No. 2. pp. 49-55.

García-Villalobos, I. 2011. La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Aragón. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Estado de México.

Gotelli, N. J. y A. M. Ellison. 2004. A primer of Ecological Statistics. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, U. S. A. pp. 3-236.

Grupo Banco Mundial, 2016. Disponible en: <<http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>> Washington, D. C., EUA (fecha de consulta: 2 de diciembre de 2016).

Harris, C. M. 2006. Dictionary of Architecture and Construction: 2300 Illustrations. Cuarta Edición. McGraw Hill Companies, Inc. Nueva York, Estados Unidos. P. 1052.

Hunt, R. 1982. Growth Analysis of individuals. En: Hunt, R. Plant Growth Curves: The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Ed. Edward Arnold (Publishers) Limited, London. pp. 16-29.

Jennings, D. B. y S. T. Jarnagin. 2002. Changes in anthropogenic impervious surfaces, precipitation, and daily streamflow discharge: a historical perspective in a mid-Atlantic subwatershed. Landscape Ecology. Vol. 17. pp. 471-489.

Jim, C. Y. 2015. Greenwall classification and critical design-management assessments. Ecological Engineering. No. 77. pp. 348-362.

Jimeno Sevilla, H. D. 2008. El género *Echeveria* (Crassulaceae) en Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Xalapa.

Kim, S. 1993. The gardens of the Far East, the Garden of Stones and Water; the Translated Landscape of nature. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 37-43.

Köhler, M. 2008. Green Facades –a view back and some visions. Urban Ecosyst. Vol. 11. pp. 423-436.

Lennox-Boyd, A. 1993. Private Gardens of London –A Victorian Garden. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 135-139.

Lennox-Boyd, A. 1993. Private Gardens of London –Lutyens revisited. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 140-144.

Leyva-Trinidad, D. A., A. Pérez-Vázquez, M. de la C. Vargas-Mendoza, F. Gallardo-López, J. C. García-Albarado y S. Pimentel-Aguilar. 2013. Composición florística de jardines vernáculos en tres comunidades rurales de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, No. 5, pp. 991-1003.

Loh, S. 2008. Living Walls –A way to build a green environment. BDEP Environment Design Guide. TEC 26. Summary.

- López-Upton, J., A. J. Mendoza-Herrera, J. Jasso-Mata, J. J. Vargas-Hernández y A. Gómez-Guerrero. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. Madera y Bosques. No. 6, Vol. 2. pp. 81-94.
- Lundholm, J. T., 2006. Green Roofs and facades: A Habitat Template Approach. URBAN HABITATS. Vol. 4 No. 1.
- Mendoza-García, R., A. Pérez-Vázquez, J. C. García-Albarado, E. García-Pérez y J. López-Collado. 2011. Uso y manejo de plantas ornamentales y medicinales en espacios urbanos, suburbanos y rurales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. No. 3, noviembre-diciembre. pp. 525-538.
- Mesa, J., I. D. Rodríguez-Llorente, E. Pajuelo, J. M. B. Piedras, M. A. Caviedes, S. Redondo-Gómez y E. Mateos-Naranjo. 2015. Moving closer towards restoration of contaminated estuaries: Bioaugmentation with autochthonous rhizobacteria improves metal rhizoaccumulation in native *Spartina maritima*. Journal of Hazardous Materials. Vol. 300. pp. 263-271.
- Mickel, J. T. y A. R. Smith. 2004. The Pteridophytes of Mexico. Memoirs of The New York Botanical Garden 88: 1-1054 (328 laminas).
- Micoulina, E. 1993. The History of Gardens and the Evolution of the Environment. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. Pp. 71-79.
- Morales-Folguera, J. M. 2004. Jardines prehispánicos de México en las crónicas de Indias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. AEA, LXXVII, No. 308, pp. 351-373.
- Morris, K. A. 2009. Applications of Mulch Biowalls –Three Cases Studies. Remediation Winter. Wiley Periodicals, Inc. pp. 59-68.
- Ottelé, M., K. Perini, A. L. A. Fraaij, E. M. Haas y R. Raiteri. 2011. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. Energy and buildings. No. 43. p.p. 3419-3429.
- Peralta-Sánchez, M. G. 2008. Pendientes de crecimiento en el desarrollo vertical de ornamentales en paredes vivas. Tesis de maestría Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. p. 75.
- Pérez, G., L. Rincón, A. Vila, J. M. González y L. F. Cabeza. 2011. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. Energy Conversion and Management. Vol. 52. pp. 1861-1867.

Pérez, G., L. Rincón, A. Vila, J. M. González y L. F. Cabeza. 2011. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy* Vol. 88. pp. 4854-4859.

Perini, K., M. Ottele, E. M. Haas y R. Raiteri. 2011. Greening the building envelope, façade greening and living Wall systems. *Open Journal of Ecology*. Vol. 1, No. 1. pp. 1-8.

Perini, K., M. Ottele, E. M. Haas y R. Raiteri. 2013. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosyst*. Vol. 16. pp. 265-277.

Pisanty, I., M. Mazari y E. Ezcurra. 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas. En: *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 719-759.

Ramírez-Hernández, S. G., A. Pérez-Vázquez, J. C. García-Albarado, A. Gómez-González y M. de la Cruz Vargas-Mendoza. 2012. Criterios para la selección de especies herbáceas ornamentales para su uso en paisajismo. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, Vol. 18, No. 1. pp. 71-79.

Rodríguez-Salvador, M. C. 2002. Manejo de áreas verdes en concepción: mejor calidad de vida urbana. *Revista Urbano*, Vol. 5, No. 6. pp. 41-42.

Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2010. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª Ed., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. pp. 30-32.

Sánchez-López, A. S. 2008. Especies ornamentales en paredes vivas e inoculación microbiana. Tesis de maestría Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. p.130.

Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta y J. de la Maza. 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. p. 100.

SEDEMA, 2013 - <<http://www.sma.df.gob.mx/drupc/index.php?opcion=17>> Última fecha de acceso: 7 de noviembre de 2013

SEDEMA, 2017 - <<http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/azoteas-verdes>> Última fecha de acceso: 9 de enero de 2017

Serrato-Gallardo, S. A. 2014. Modelo de muros verdes con plantas crasas para el Oriente de la Ciudad de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal. p. 64.

- Suárez, A., G. Williams-Linera, C. Trejo, J. I. Valdéz-Hernández, V. M. Cetina-Alcalá y H. Vibrans. 2012. Local knowledge helps select species for forest restoration in a tropical dry forest of central Veracruz, Mexico. *Agroforest Syst.* No. 85. pp. 35-55.
- Sue-Hee, K. 1993. The Gardens of the Far east, the garden of stones and Water: the Translated Landscape of nature. En: "Historic Gardens and Sites". Ed. International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). International Scientific Committee (SCI). Charenton-le-Pont, Francia. pp. 37-43.
- Urbano-López, B. 2013. Naturación urbana, un desafío a la urbanización. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del ambiente*, Vol. 19 No. 2. pp. 225-235.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*, Vol. 28. No. 3. pp. 160- 167.
- Vovides, A. P., E. Linares y R. Bye. 2010. Jardines botánicos de México: historia y perspectivas. Secretaría de Educación de Veracruz del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Veracruz, México. pp. 232.
- Yatskievych, G. y R. Moran. 1995. *Cheilanthes* Sw. En: Flora Mesoamericana Vol. 1, Ed. G. Davidse, M. Souza y S. Knapp. Universidad Nacional Autónoma de México, Missouri Botanical Garden y The Natural History Museum. pp. 121-128.
- Yatskievych, G. 1995. *Pellaea* Link. En: Flora Mesoamericana Vol. 1, Ed. G. Davidse, M. Souza y S. Knapp. Universidad Nacional Autónoma de México, Missouri Botanical Garden y The Natural History Museum. pp. 136-137.
- Zar, J. H. 2010. *Bioestatistical Analysis*. 5ª Edición. Engelwood Cliffs, NJ. Prentice Hall, EUA. pp. 944.